

Usporedba elemenata leta zrakoplova tijekom izvođenja GNSS i konvencionalnog prilaza

Ferjančić, Filip

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:319171>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-11**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

Filip Ferjančić

**USPOREDBA ELEMENATA LETA ZRAKOPLOVA TIJEKOM
IZVOĐENJA GNSS I KONVENCIONALNOG PRILAZA**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2020.

Zagreb, 7. travnja 2020.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 5641

Pristupnik: **Filip Ferjančić (0135251219)**
Studij: **Aeronautika**
Smjer: **Pilot**
Usmjerenje: **Civilni pilot**

Zadatak: **Usporedba elemenata leta zrakoplova tijekom izvođenja GNSS i konvencionalnog prilaza**

Opis zadatka:

Opisati i usporediti GNSS i konvencionalne metode navigacije
Opisati navigacijske opreme zrakoplova 9A-DMB
Eksperimentalno i teorijski odrediti navigacijske elemente GNSS i konvencionalnog prilaza
Analizirati dobivene rezultata

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

Petar Andrašić, mag. ing. aeronaut.

**Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti**

ZAVRŠNI RAD

**USPOREDBA ELEMENATA LETA ZRAKOPLOVA TIJEKOM
IZVOĐENJA GNSS I KONVENCIONALNOG PRILAZA
COMPARISON OF AIRCRAFT FLIGHT ELEMENTS DURING GNSS
AND CONVENTIONAL APPROACH**

Mentor: Petar Andrašić, mag. ing. aeronaut.

Student: Filip Ferjančić

JMBAG: 0135251219

Zagreb, srpanj 2020.

SAŽETAK

U ovom radu opisane su specifičnosti i način izvođenja konvencionalnog i GNSS prilaza. Kako bi se ove dvije vrste prilaza mogle usporediti napravljen je teorijski i eksperimentalni izračun prijeđene udaljenosti, potrošenog vremena i potrošenog goriva tijekom pojedinog prilaza. Teorijski izračun napravljen je pomoću poznatih formula za izračunavanje navedenih parametara leta, a eksperimentalni podaci dobiveni su letom na aerodromu Rijeka tijekom kojeg su bilježeni navedeni parametri. Pomoću dobivenih rezultata opisane su prednosti GNSS prilaza nad konvencionalnim prilazom.

KLJUČNE RIJEČI: konvencionalni prilaz; GNSS prilaz; NDB/DME; LPV; ekonomičnost leta

SUMMARY

This paper describes the specifics and methods of performing conventional and GNSS approaches. A theoretical and experimental calculation of the traveled distance, time spent and fuel consumed during each approach was made to compare these two types of approaches. The theoretical calculation was made using known formulas for calculating the above mentioned flight parameters, and the experimental data were obtained in flight at Rijeka airport during which the above mentioned parameters were recorded. The obtained results show the advantages of the GNSS approach over the conventional approach.

KEYWORDS: conventional approach; GNSS approach; NDB/DME; LPV; flight economy

SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
2. Instrumentalni prilazi	2
3. Konvencionalni prilazi.....	5
3.1 NDB	5
3.2 DME	7
4. GNSS prilazi.....	9
4.1 Primjena satelitske navigacije	9
4.2 Načelo rada satelitskih sustava.....	11
4.3 RNP prilazi	13
5. Oprema zrakoplova 9A-DMB	15
6. Teorijski izračun elemenata leta zrakoplova tijekom konvencionalnog i GNSS prilaza.....	18
6.1 Konvencionalni prilaz	21
6.1.1 Dolazni segment konvencionalnog prilaza	21
6.1.2 Konvencionalni prilaz	23
6.2 GNSS prilaz	38
6.2.1 Dolazni segment GNSS prilaza.....	38
6.2.2 GNSS Prilaz	40
7. Eksperimentalno određivanje elemenata leta zrakoplova tijekom konvencionalnog i GNSS prilaza.....	48
7.1 Opis eksperimenta	48
7.2 Dobiveni rezultati	49
8. Usporedba konvencionalnog i GNSS prilaza	51
9. Zaključak	54
Literatura	55
Popis kratica.....	56
Popis slika	58
Popis tablica	59

1. Uvod

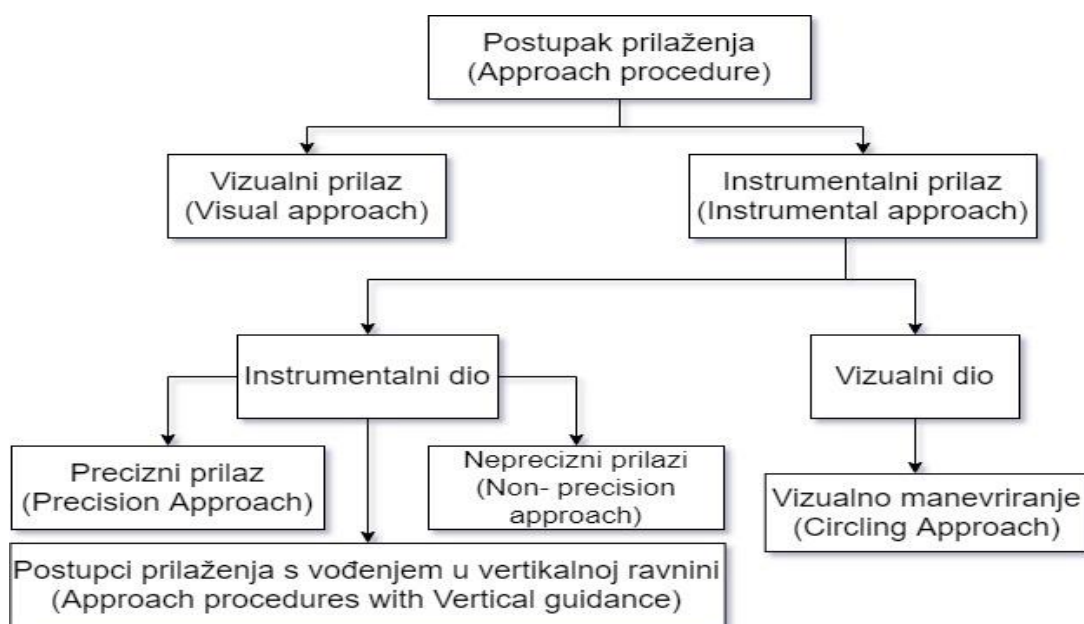
Prilaz i samo slijetanje najzahtjevnije su faze leta jer je radno opterećenje pilota u ovim fazama najveće, a zrakoplov leti malim brzinama na maloj visini. Instrumentalni prilazi prvobitno su se temeljili na radionavigacijskim sredstvima. Razvojem prostorne navigacije razvijani su i prilazi koji se temelje na globalnim navigacijskim satelitskim sustavima (engl. Global Navigation Satellite System- GNSS). Kako bi se usporedile ove dvije vrste prilaza ovom radu napravljena je teorijska i eksperimentalna usporedba GNSS prilaza i konvencionalnog prilaza temeljenog na radionavigacijskom sredstvu. Usporedba je napravljena na primjeru prilaza za zračnu luku Rijeka, a za eksperimentalni let korišten je zrakoplov Cessna 172 registarske oznake 9A-DMB.

Rad je podijeljen u 9 poglavlja. U drugom poglavlju opisani su dijelovi instrumentalnog prilaza. U trećem poglavlju navedene su vrste konvencionalnog prilaza i detaljnije su opisana radionavigacijska sredstva na kojima se temelji konvencionalni prilaz u ovom radu. U četvrtom poglavlju objašnjeno je gdje se u zrakoplovstvu koriste satelitski sustavi, ukratko je objašnjen način rada satelitskih sustava i opisani su prilazi pomoću satelita. U petom poglavlju opisana je oprema zrakoplova 9A-DMB. U šestom poglavlju napravljen je teorijski izračun elemenata leta tijekom izvođenja pojedinog prilaza, a u sedmom poglavlju opisan je način izvođenja eksperimenta i navedeni su rezultati dobiveni eksperimentom. U osmom poglavlju napravljena je usporedba konvencionalnog i GNSS prilaza temeljena na teorijski izračunatim i eksperimentalno izmjerenim rezultatima.

2. Instrumentalni prilazi

Postupak instrumentalnog prilaženja najzahtjevniji je dio instrumentalne navigacije i smatra se kritičnom fazom leta jer se tijekom prilaženja na slijetanje i samog slijetanja događa 64% svih zrakoplovnih nesreća [1]. Tijekom ove faze leta posada mora istovremeno upravljati zrakoplovom i komunicirati s kontrolom zračne plovidbe, a zrakoplov leti malom brzinom blizu površine zemlje s narušenim aerodinamičkim karakteristikama zbog uporabe zakrilaca i izvučenog podvozja.

Podjela postupaka prilaženja prikazana je na slici 1. Postupci prilaženja se dijele na instrumentalne i vizualne. Instrumentalni postupci mogu se cijeli izvesti instrumentalno, a u određenim situacijama moguće je završni dio prilaza izvesti vizualno i tada se taj dio naziva vizualno kruženje (engl. Circling Approach). Iako se završni dio izvodi vizualno, vizualno kruženje pripada instrumentalnim postupcima prilaženja jer se gotovo cijeli prilaz izvodi pomoću instrumenata a samo završni dio vizualno [2].



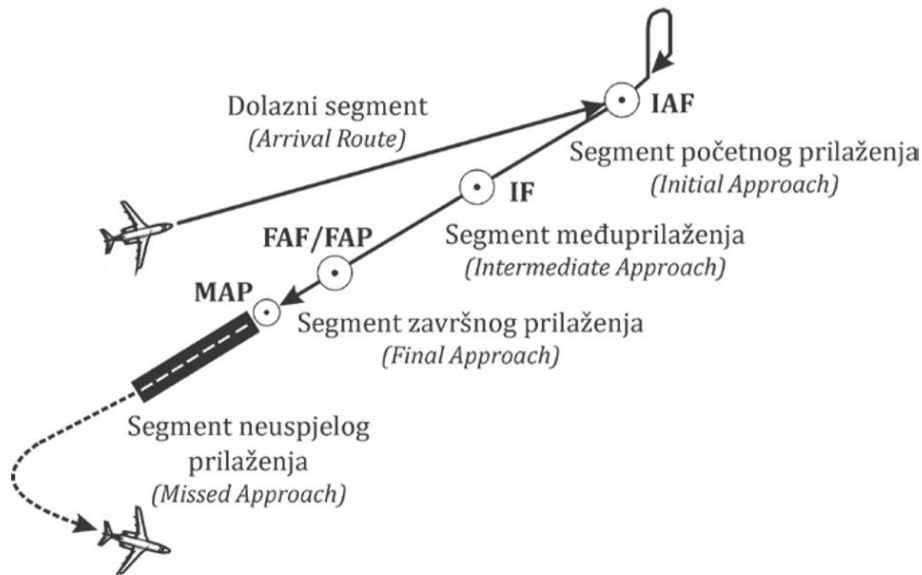
Slika 1 Podjela postupaka prilaženja

Izvor:[3]

Postupci instrumentalnog prilaženja podijeljeni su u 5 segmenata (slika 2):

- dolazni segment (engl. Arrival Route),
- segment početnog prilaženja (engl. Initial Approach),

- segment međuprilaženja (engl. Intermediate Approach),
- segment završnog prilaženja (engl. Final Approach),
- segment neuspjelog prilaženja (engl. Missed Approach).



Slika 2 Segmenti instrumentalnog prilaženja, [2]

Dolazni segment je dio prilaznog postupka koji počinje na zadnjem preletištu rutnog segmenta i završava na preletištu početnog prilaženja – IAF (engl. Initial Approach Fix). Tijekom dolaznog segmenta zrakoplovi najčešće lete unaprijed objavljenim terminalnim dolaznim rutama – STAR (engl. Standard terminal arrival route), koje izrađuje i objavljuje nadležni pružatelj usluge kontrole zračnog prometa.

Segment početnog prilaženja započinje na preletištu početnog prilaženja i završava na preletištu međuprilaženja – IF (engl. Intermediate Fix). U segmentu početnog prilaženja zrakoplov provodi potrebne radnje u vidu promjene konfiguracije, brzine i visine leta kako bi se pripremio za segment međuprilaženja. Ako se kurs dolaznog segmenta ne podudara s kursom međuprilaženja, u segmentu početnog prilaženja se primjenjuju dodatni postupci za korekciju putanje leta kojima se zrakoplov navodi na kurs međuprilaženja.

Segment međuprilaženja započinje na preletištu međuprilaženja i završava na preletištu završnog prilaženja – FAF (engl. Final Approach Fix). Svrha segmenta međuprilaženja je završna priprema zrakoplova za segment završnog prilaženja. U toj fazi leta posada postavlja zrakoplov u konfiguraciju za slijetanje, smanjuje brzinu i

poravnava zrakoplov s putanjom završnog prilaženja i uzdužnom osi uzletno-sletne staze.

Segment završnog prilaženja započinje na točki završnog prilaženja, a tijekom tog segmenta zrakoplov je poravnat s uzdužnom osi uzletno-sletne staze i provodi završno snižavanje i samo slijetanje. Optimalna duljina segmenta završnog prilaženja je 5 nautičkih milja, a najveća duljina bi trebala biti manja od 10 nautičkih milja. Tijekom završnog prilaženja moguća je primjena postupaka nepreciznog i preciznog prilaženja [2,3].

Segment neuspjelog prilaženja se započinje ako nije moguće nastaviti postupak prilaženja, to jest ako pri dostizanju propisanog minimuma za slijetanje nisu ostvareni uvjeti za završetak prilaza i slijetanje. Procedura neuspjelog prilaza mora biti objavljena za svaki instrumentalni prilaz i mora biti određena točka na kojoj procedura počinje i završava. Zadnja točka na kojoj se može započeti postupak neuspjelog prilaza je točka neuspjelog prilaza – MAP (engl. Missed Approach Point) pri nepreciznim prilazima i visina odluke – DA/H (engl. Decision Altitude / Height) pri preciznim prilazima.

Točka neuspjelog prilaza može biti definirana navigacijskim sredstvom, preletište ili vremenom proteklom od točke završnog prilaženja. Optimalna pozicija točke neuspjelog prilaza je prag staze.

Visina odluke se može iskazati kao apsolutna visina (prema QNH postavci tlaka), ili relativna visina (prema QFE postavci tlaka). Visina odluke je određena visina u postupku preciznog prilaza na kojoj se mora započeti postupak neuspjelog prilaza ako nisu uspostavljeni potrebni uvjeti u vidu vidljivosti uzletno-sletne staze. Pri nepreciznim prilazima zrakoplov bez vanjske vidljivosti dopušteno je snižavanje do minimalne apsolutne visine snižavanja – MDA (engl. Minimum Descent Altitude) [2].

Način izvođenja pojedinog Instrumentalnog prilaza opisan je prilaznom kartom. Prilazne karte detaljno opisuju određeni instrumentalni prilaz i sadrže sve podatke koji su pilotu potrebni za sigurno izvođenje prilaza, a konstruira i izdaje ih nadležna kontrola zračnog prometa.

3. Konvencionalni prilazi

U ovom radu pod pojmom konvencionalni prilazi podrazumijevaju se oni koji su trenutno najzastupljeniji u zračnom prometu, a to su prilazi koji se temelje na radionavigacijskim sredstvima. Konvencionalni prilazi se dijele na neprecizne i precizne prilaze.

Postupci nepreciznog prilaženja zrakoplovu osiguravaju horizontalno vođenje na slijetanje ali ne osiguravaju vođenje u vertikalnoj ravnini. Danas se neprecizni prilazi najčešće provode pomoću sljedećih sustava:

- VOR - visokofrekvencijski (VHF) svesmjerni radiofar (engl. VHF Omnidirectional Radio Range)
- NDB - neusmjereni radiofar (engl. Non-Directional Beacon) i lokator (engl. Locator)
- LOC - Odašiljač usmjerivača pravca prilaženja (engl. Localizer).

Tijekom izvođenja nepreciznog prilaza, pilot mora sam proračunavati vertikalni profil prilaza. Zbog toga se, tijekom nepreciznog prilaza, uz VOR, NDB i LLZ sustave vrlo često koristi i radiodaljinomjer – DME (engl. Distance measuring equipment) koji pilotu olakšava proračun i praćenje vertikalnog profila prilaza.

Postupci preciznog prilaženja zrakoplovu osiguravaju vođenje u vertikalnoj i horizontalnoj ravnini. Sustavi koji omogućavaju precizno prilaženje su:

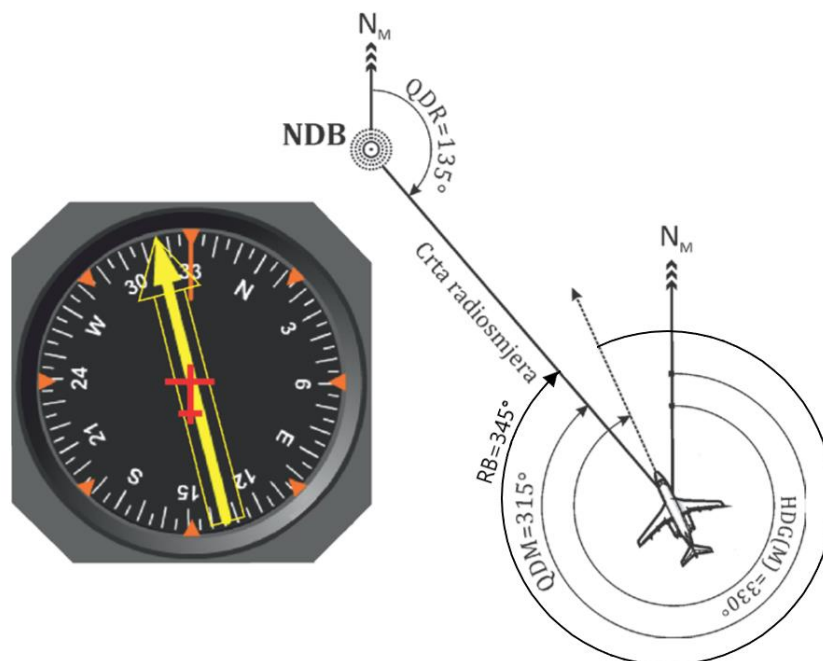
- ILS – sustav za precizno prilaženje prema instrumentima (engl. Instrument Landing System)
- MLS – mikrovalni sustav za precizno prilaženje (engl. Microwave Landing System)
- PAR – radar za precizno prilaženje (engl. Precision Approach Radar) [2].

Kao konvencionalni prilaz u ovom radu koristi se neprecizni prilaz pomoću NDB i DME sustava te su dalje u tekstu opisana samo ta dva sustava.

3.1 NDB

Neusmjereni radiofar (NDB) je zemaljski odašiljač koji odašilje radio valove u svim smjerovima. Prijamnik na zrakoplovu pomoću kojeg se određuje smjer neusmjerenog radiofara naziva se radiokompas – ADF (engl. Automatic Direction Finder) i čine ga

usmjerena i neusmjerena antena, upravljačka kutija i prikaznik. Kako bi pilot znao koristiti ADF prikaznik mora poznavati pojmove stranski kut, QDM i QDR. Stranski kut – RB (engl. Relative Bearing) je horizontalni kutni otklon neusmjerenog radiofara u odnosu na uzdužnu os zrakoplova mjereno u smjeru kretanja kazaljke na satu. QDM je kut od pravca magnetskog sjevera do crte radiosmjera mjereno u smjeru kretanja kazaljke na satu na poziciji zrakoplova, jednak je zbroju magnetskog kursa i stranskog kuta. Kako bi pilot s trenutne pozicije izvršio dolet na NDB stanicu mora održavati magnetski kurs i QDM jednakim. QDR je kut od pravca magnetskog sjevera do crte radiosmjera mjereno u smjeru kretanja kazaljke na satu na poziciji NDB sredstva. Stranski kut, QDM, QDR i njihov odnos prikazani su na slici 3.



Slika 3 Magnetski kurs, QDM, QDR i stranski kut, [2]

ADF sustav, ovisno o vrsti ugrađenog prikaznika, prikazuje stranski kut ili QDM. Na zrakoplovu 9A-DMB ugrađen je prikaznik s pokretnom kompasnom ružom – MDI (engl. Moving Dial Indicator) koji prikazuje QDM. Prikaznik s pokretnom kompasnom ružom, označen brojem 9 na slici 8, koristi se tako što pilot tijekom svake promjene kursa leta ručicom HDG postavlja trenutni kurs leta. Kada je trenutni kurs leta pravilno postavljen, vrh kazaljke pokazuje trenutni QDM. NDB sredstva koriste se na rutnim segmentima i u terminalnim zonama aerodroma. Za prilaženje na slijetanje koriste se

NDB sredstva manje snage koja imaju doomet od oko 25 nautičkih milja. Takva NDB sredstva nazivaju se lokatori.

3.2 DME

Iako ne pruža horizontalno vođenje zrakoplova na prilaz, DME sredstvo se često koristi kao pomoć pri nepreciznom prilazu. DME je sredstvo koje je najčešće kolocirano s odašiljačem usmjerivača pravca prilaženja ili VOR stanicom, a zrakoplovu omogućuje mjerenje udaljenosti od zemaljske stanice. DME je vrsta sekundarnog radara što znači da radi na principu upita i odgovora. Upitivač (engl. Interrogator) na avionu odašilje svesmjerne upite na frekvenciji zemaljskog odgovarača (engl. Transponder). Nakon što zaprimi upit, odgovarač odašilje signal s odgodom od 50 μ s na frekvenciji koja je odmaknuta +/- 63 MHz od frekvencije upitivača. Prijemnik na zrakoplovu prima signal koji je odaslao zemaljski odgovarač. Odašlani i primljeni puls su radiovalovi, a poznato je da se radiovalovi kreću brzinom svjetlosti – c, to jest brzinom od 300 000 000 m/s što je jednako 162 000 NM/s. Prijemnik mjeri vrijeme koje je proteklo između upita upitivača i odgovora kojeg je zaprimio, nakon čega izračunava udaljenost i prikazuje ju na DME prikazniku [4]. Primjer DME prikaznika na zrakoplovu može se vidjeti na slici 9 pod oznakom broj 13.

Prijemnik udaljenost računa pomoću brzine rasprostiranja radiovalova i proteklog vremena pri čemu se od proteklog vremena mora oduzeti 50 μ s zbog odgode odgovarača, a dobiveni rezultat se mora podijeliti s dva kako bi se dobila udaljenost zrakoplova od zemaljskog sredstva. Završna jednadžba kojom prijemnik računa udaljenost je jednadžba (1).

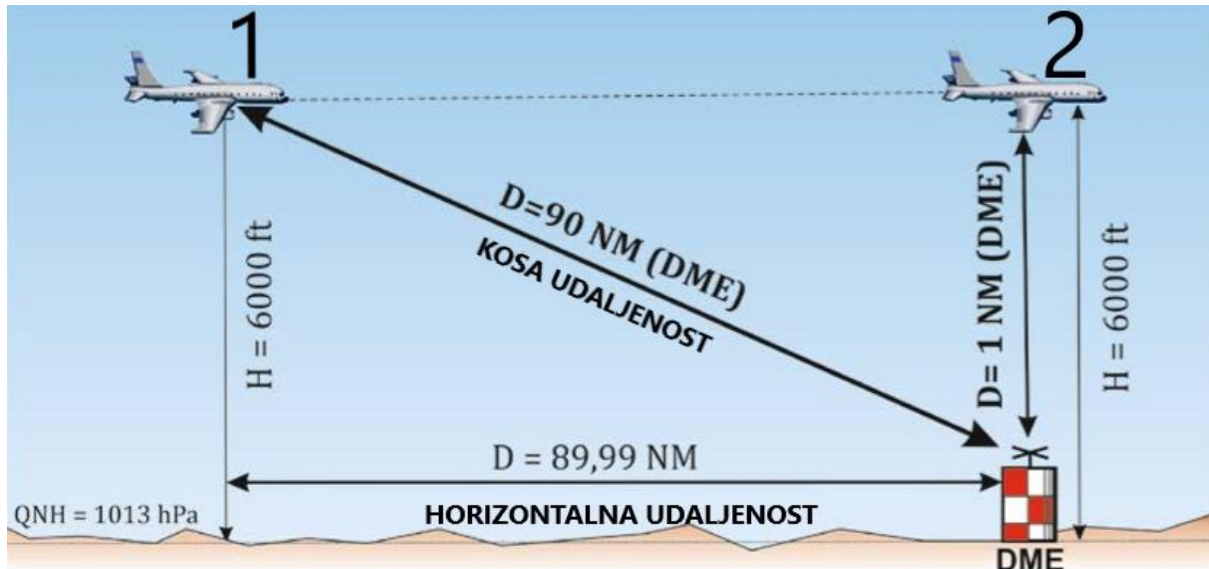
$$D = \frac{1}{2} \times c \times (t - 50\mu s) \quad (1)$$

Pri čemu je:

- D – udaljenost
- c – brzina svjetlosti
- t – proteklo vrijeme između upita i odgovora

DME uređaj mjeri pravocrtnu udaljenost od zemaljske stanice do zrakoplova, a s obzirom na to da se zrakoplov tijekom leta nalazi na određenoj visini, izmjerena udaljenost je kosa (engl. Slant range) a ne horizontalna udaljenost. Te dvije udaljenosti su različite, njihova razlika, a time i greška DME udaljenosti, je veća što je zrakoplov

bliži DME sredstvu. Na slici 4, u slučaju 1 vidljivo je da kada se zrakoplov nalazi na visini od 6000 stopa na horizontalnoj udaljenosti od 89.99 NM, izmjerena DME udaljenost je 90 NM što znači da je pogreška samo 0,011 %. U slučaju 2 zrakoplov se nalazi točno iznad DME sredstva na horizontalnoj udaljenosti 0 NM, a DME uređaj mjeri udaljenost od 1 NM [2].



Slika 4 Razlika između kose i horizontalne udaljenosti od DME sredstva, [2]

Prilikom korištenja DME sredstva za prilaz, zrakoplov se najčešće nalazi na relativno malim udaljenostima od sredstva pa se ova pogreška mora uzeti u obzir. Zbog toga su na prilaznim kartama uneseni podaci o kosoj, a ne horizontalnoj udaljenosti od DME sredstva.

4. GNSS prilazi

Globalni navigacijski satelitski sustav – GNSS (engl. Global Navigation Satellite System) je opći naziv za sustav koji korisniku omogućuje određivanje trenutne pozicije na Zemlji. Trenutno su potpuno operativna dva satelitska sustava: GPS (engl. Global Positioning System) kojim upravljaju Sjedinjene Američke države i GLONASS (engl. Global Orbiting Navigation Satellite System) kojim upravlja Ruska Federacija [5].

4.1 Primjena satelitske navigacije

GNSS sustavi danas se u zrakoplovstvu primjenjuju u metodama prostorne navigacije. Prostorna navigacija – RNAV (engl. Area Navigation) je metoda zrakoplovne navigacije koja zrakoplovima omogućuje navigaciju kroz zračni prostor s definiranom razinom točnosti bez prelijetanja zemaljskih radionavigacijskih sredstava. Zahtjevi za točnošću RNAV sustava rezultirali su kreiranjem dvije vrste prostorne navigacijske kojima su definirani postupci vođenja zrakoplova u letu: Basic RNAV i Precision RNAV. Osnovna prostorna navigacija – Basic RNAV osigurava bočnu točnost u vođenju zrakoplova prema zadanoj putanji leta od najviše 5 nautičkih milja lijevo ili desno tijekom najmanje 95% vremena trajanja leta na definiranoj ruti. Precizna prostorna navigacije – Precision RNAV osigurava bočnu točnost u vođenju zrakoplova prema zadanoj putanji leta od najviše 1 nautičke milje lijevo ili desno tijekom najmanje 95% vremena trajanja leta na definiranoj ruti. U terminalnim zonama aerodroma, pa tako i za GNSS prilaze koriste se Precision RNAV procedure. Performanse koje moraju osiguravati sustavi avionike na zrakoplovu da bi zrakoplov koristio metode precizne prostorne navigacije definirane su konceptom navigacije bazirane na performansama – PBN (engl. Performance Based Navigation) [2]. Da bi se GNSS sustavi koristili u metodama prostorne navigacije PBN koncept propisuje sljedeće zahtjeve:

1. **Točnost** je definirana kao razlika između stvarne i proračunate pozicije.
2. **Cjelovitost i vrijeme za izdavanje upozorenja** Cjelovitost je vjerojatnost pojave pogreške u informaciji koja je dobivena pomoću satelita. Vrijeme za izdavanje upozorenja je najdulje vrijeme koje smije proći od pogreške do trenutka kada sustav obavještava pilote o nastaloj pogrešci.
3. **Kontinuitet** je mogućnost sustava da provodi svoju funkciju tijekom izvođenja namjeravanog postupka, izražava se kao vjerojatnost u postocima.

4. **Raspoloživost** je vremenski okvir tijekom kojeg sustav ispunjava propisane zahtjeve u vidu točnosti i cjelovitosti [5].

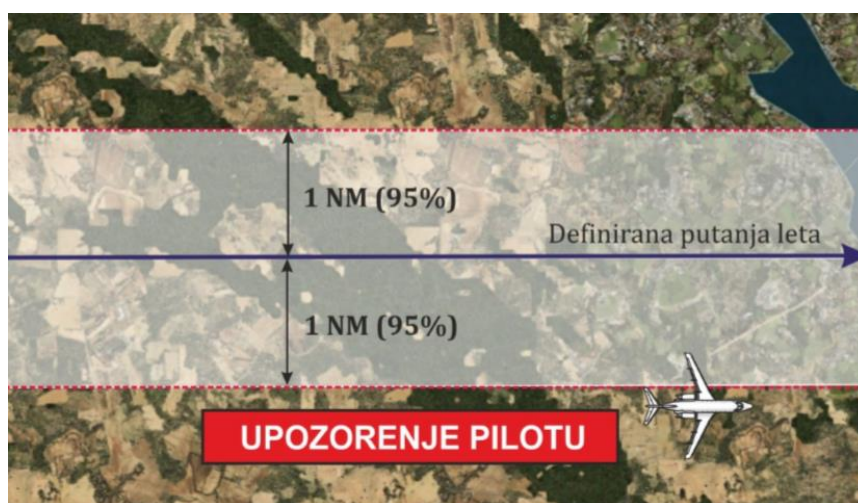
PBN koncept podijeljen je u 3 osnovne komponente.

1. **Navigacijska infrastruktura** koja se odnosi na satelitsku infrastrukturu i zemaljska radionavigacijska sredstva.
2. **Navigacijske specifikacije** kojim su definirani zahtjevi performansi RNAV sustava.
3. **Navigacijske aplikacije** koje se odnose na primjenu navigacijskih specifikacija na pripadajuću infrastrukturu.

Ciljevi uvođenja PBN koncepta su povećanje sigurnosti, kapaciteta, učinkovitosti, pristupačnosti i smanjenje negativnog utjecaja zrakoplovstva na okoliš.

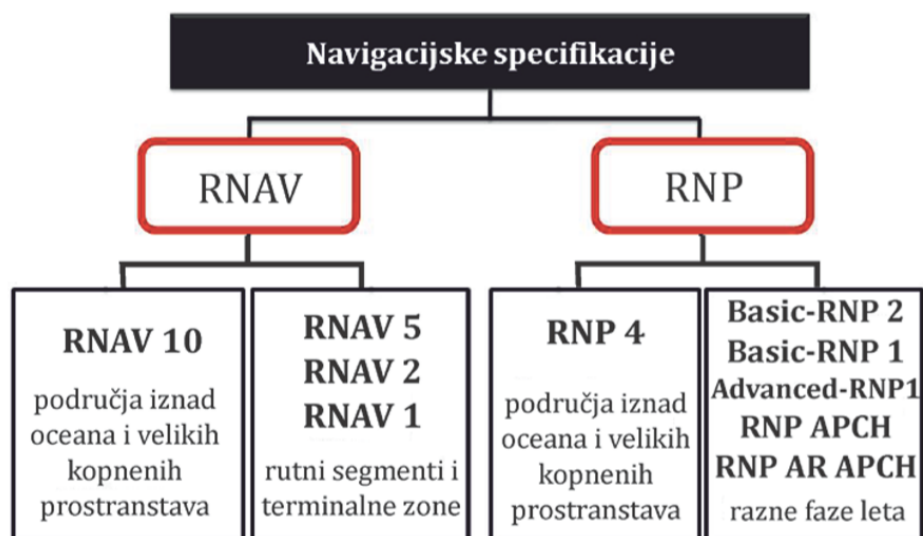
Navigacijske specifikacije dijele se na RNAV i RNP (engl. Required Navigation Performance). Osnovna razlike između ove dvije specifikacije je ta što za razliku od RNAV specifikacije, RNP specifikacija propisuje uporabu sustava na zrakoplovu koji prati poziciju zrakoplova tijekom cijelog leta i daje upozorenje pilotu ako dođe do odstupanja od željene putanje leta kao što je prikazano slikom 5.

Navigacijske specifikacije označavaju se kao RNP-X ili RNAV-X gdje oznaka X definira maksimalno bočno odstupanje, izraženo u nautičkim miljama, u odnosu na zadanu putanju leta tijekom 95% vremena trajanja leta [2]. Iznimke ovakvom načinu označavanja su specifikacije RNP APCH i RNP AR APCH.



Slika 5 RNP-1 specifikacija, [2]

ICAO PBN navigacijske specifikacije i njihova primjena prikazane su slikom 6.



Slika 6 ICAO PBN navigacijske specifikacije i njihova primjena, [2]

Instrumentalnom prilaženju namijenjene su RNP specifikacije. RNP prilazi opisani su u poglavlju 4.3.

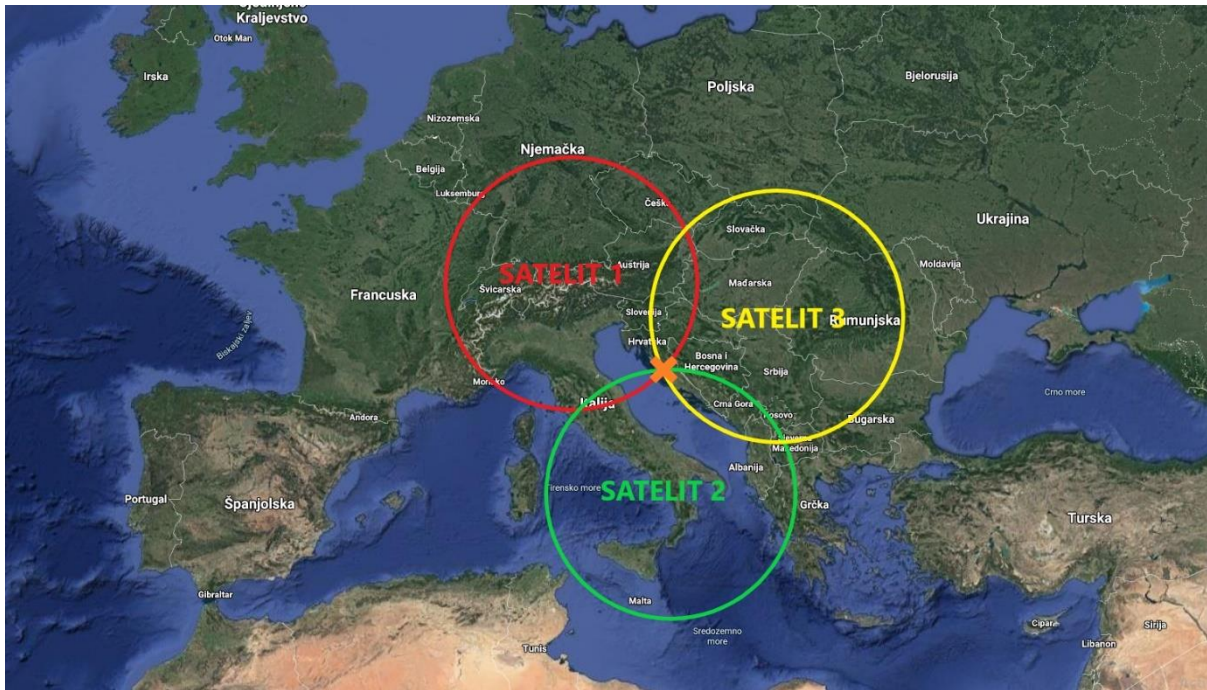
4.2 Načelo rada satelitskih sustava

Satelitski sustav čine tri segmenta: svemirski segment kojeg čine sateliti koji se kreću definiranim orbitama oko Zemlje, upravljački segment kojeg čine upravljačke postaje na zemlji i korisnički segment kojeg čine prijammnici koji služe za primanje i dekodiranje satelitskog signala.

Određivanje pozicije pomoću satelita temelji se na vrlo preciznom mjerenju vremena proteklog između odašiljanja signala sa satelita do prijema signala na prijammniku, pri čemu je nužno poznavati točnu poziciju satelita u svemiru. U svaki satelit ugrađen je ekstremno precizan atomski sat, satelit odašilje signal koji se širi brzinom svjetlosti nakon čega prijammnik prima taj signal i mjeri proteklo vrijeme od kada je signal odaslan. Pomoću izmjerenog vremena i poznate brzine rasprostiranja signala moguće je izračunati udaljenost prijammnika od pojedinog satelita. U satelitske prijammnike ugrađeni su jeftiniji i manje precizni satovi nego u satelite zbog čega postoji pogreška u izmjerenom vremenu a time i u izračunatoj udaljenosti koja se zbog pogreške naziva pseudoudaljenost. Izmjereni udaljenost je polumjer sfere u čijem je središtu satelit, 2D pozicija prijammnika na Zemlji određena je sjecištem sfera triju satelita kao što je prikazano slikom 7. Kako bi se odredila i visina prijammnika to jest njegova 3D pozicija potrebna je i četvrta sfera koja se dobije mjerenjem udaljenosti od četvrtog satelita.

Kada GNSS prijemnik prima signale od četiri satelita pomoću algoritma u prijemniku korigira se pogreška nastala zbog pogreške sata u prijemniku i određuje se točna pozicija prijemnika [2,4].

Kako bi se zadovoljili propisani zahtjevi za navigaciju pomoću GNSS sustava, razvijeni su sustavi dopune satelitskog navigacijskog sustava koji omogućuju kvalitetnije pozicioniranje.



Slika 7 Određivanje 2D pozicije pomoću satelita

Sustavi dopune dijele se u tri kategorije:

- Zrakoplovni sustav dopune – ABAS (engl. Aircraft Based Augmentation System),
- Zemaljski sustav dopune – GBAS (engl. Ground-Based Augmentation System),
- Satelitski sustav dopune – SBAS (engl. Space-Based Augmentation system).

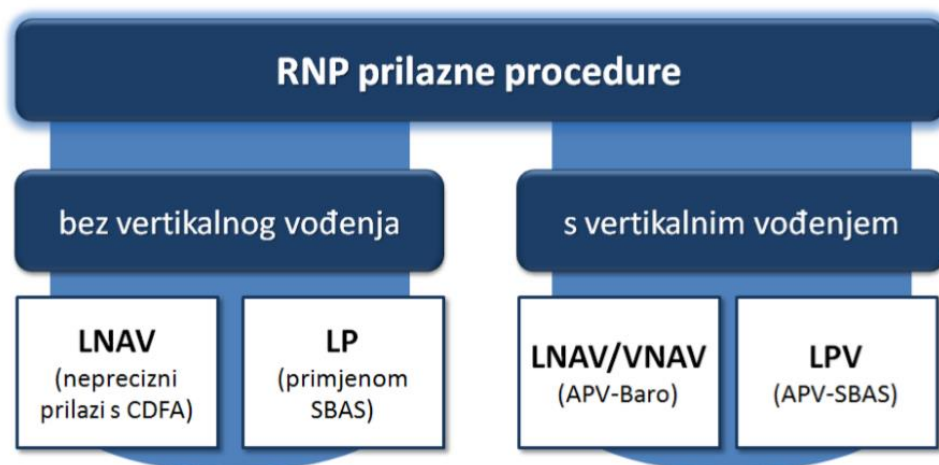
Tijekom prilaza analiziranog u ovom radu koristi se satelitski sustav nadopune stoga je on detaljnije objašnjen.

SBAS sustav čine kontrolne postaje na zemlji, geostacionarni SBAS sateliti i GNSS prijemnik sa SBAS funkcijom na zrakoplovu. Kontrolne postaje na zemlji, čije su pozicije unaprijed precizno određene, primaju signal od satelite i izračunavaju svoju poziciju u odnosu na satelite. Dobivena pozicija se šalje u upravljačku postaju gdje se

usporedbom pozicije dobivene satelitima i stvarne pozicije određuje greška satelita nakon čega se proračunavaju potrebne korekcije koje se šalju prema geostacionarnim satelitima. Geostacionarni sateliti odašilju korekcije prema GNSS prijammnicima koji pri određivanju trenutne pozicije u obzir uzimaju dobivene korekcije i tako prikazuju stvarnu poziciju [4]. SBAS sustav koji pokriva područje Europe naziva se EGNOS (engl. European Geostationary Navigation Overlay Service). EGNOS sustav sastoji se od tri geostacionarna satelita i 36 kontrolnih postaja koje se nalaze u Europi i sjevernoj Africi [2].

4.3 RNP prilazi

RNP prilazi izvode se pomoću GNSS sustava i primarno se uvode kao zamjena za neprecizne instrumentalne prilaze. Dije se na RNP prilaze bez vertikalnog vođenja i RNP prilaze s vertikalnim vođenjem kao što je prikazano slikom 8.



Slika 8 Podjela RNP prilaznih procedura, [2]

RNP prilazi bez vertikalnog vođenja osiguravaju samo bočno odstupanje tijekom prilaza i smatraju se nepreciznim prilazima. Trenutno su u uporabi dvije vrste RNP prilaza bez vertikalnog vođenja: LNAV (engl. Lateral Navigation) i LP (engl. Localizer Performance). Prednosti RNP nepreciznih procedura u odnosu na konvencionalne neprecizne procedure su to što osiguravaju veću preciznost, zahtijevaju manje minimalne visine i ne zahtijevaju zemaljska radionavigacijska sredstva.

RNP prilazi s vertikalnim vođenjem nazivaju se APV (engl. Approach Procedures with Vertical guidance) i dijele se na LNAV/VNAV i LPV procedure. APV prilazi spadaju u neprecizne prilaze iako osiguravaju horizontalno i vertikalno vođenje, ali imaju manje

minimalne visine nego konvencionalni neprecizni prilazi i RNP prilazi s kontrolom bočnog odstupanja. LNAV/VNAV prilazni postupak horizontalno vodi zrakoplov putem GNSS sustava dok se vertikalno vođene odvija pomoću barometarskog visinomjera koji visinu mjeri prema vanjskom tlaku zraka.

Za usporedbu elemenata leta zrakoplova tijekom izvođenja konvencionalnog i GNSS prilaza u ovom radu korišten je RNP LPV prilaz.

LPV (engl. Localizer Performance with Vertical Guidance) je RNP prilazni postupak koji za horizontalno i vertikalno vođenje koristi GNSS sustave uz satelitski sustav dopune. Zbog korištenja satelitskog sustava dopune, LPV prilaz osigurava jednako precizno horizontalno vođenje kao i precizni ILS sustav. Vertikalno vođenje izvodi se u odnosu na referentni elipsoid WGS84, a kako bi se ova vrsta prilaza mogla provoditi zrakoplov mora biti opremljen satelitskim prijemnikom koji može primati SBAS signale [2].

Europski satelitski sustav dopune EGNOS pruža uslugu sigurne uporabe korekcijskog signala - SoL (eng. Safety of Life) koja osigurava definiranu kvalitetu korekcijskog signala koja je potrebna za izvođenje LPV prilaza. Kriteriji i vrijednosti koje EGNOS usluga sigurne uporabe korekcijskog signala pruža za LPV prilaze prikazani su u tablici 1.

Tablica 1 Kriteriji i vrijednosti EGNOS SoL usluge

Kriterij	Parametar	Vrijednost
Točnost	Vertikalna	4m
	Horizontalna	3m
Cjelovitost	Vjerojatnost gubitka cjelovitosti	2×10^{-7} po prilazu
	Vrijeme do upozorenja	Manje od 6 sekundi
Dostupnost	Dostupnost	99%
Kontinuitet	Kontinuitet	$< 1 - 5 \times 10^{-4} / h$ za većinu zemalja ECAC-a

Izvor: [2]

5. Oprema zrakoplova 9A-DMB

Zrakoplov 9A-DMB je Cessna 172N u vlasništvu Fakulteta prometnih znanosti u Zagrebu. Cessna 172N je jednomotorni klipni zrakoplov opremljen i certificiran za instrumentalno letenje. Na slikama 9 i 10 prikazani su instrumenti ugrađeni na zrakoplov 9A-DMB, svaki instrument označen je brojem, i ukratko je opisan u daljnjem tekstu.



Slika 9 Lijevi dio instrument ploče zrakoplova 9A-DMB

Brojem 1 označen je instrument *Davtron M803* koji ovisno o potrebi može služiti kao sat, štoperica, prikaznik vanjske temperature i prikaznik napona [6].

Brojem 2 označen je instrument *EDM-900* koji prikazuje brzinu vrtnje motora, tlak i temperaturu ulja, protok goriva, preostalo gorivo, temperaturu ispušnih plinova i mnoge druge podatke [7].

Brojem 3 označen je mehanički prikaznik indicirane brzine koji brzinu proračunava pomoću razlike ukupnog i statičkog tlaka.

Brojem 4 označen je koordinatorski skretanja.

Brojem 5 označena su dva instrumenta Garmin G5 koji se mogu koristiti kao primarni letni prikaznik – PFD (engl. Primary Flight Display) ili kao prikaznik horizontalne situacije – HSI (engl. Horizontal Situation Indicator). U modu rada PFD Garmin G5 prikazuje sve potrebne parametre leta kao što su indicirana i putna brzina, visina, klizanje, skretanje, nagib, brzina uzdizanja i spuštanja. Kao HSI, Garmin G5 sastoji se

od okretne kompasne ruže koja se okreće sukladno promjeni smjera leta, simbola zrakoplova, prikaznika odstupanja i kazaljke radiokursa. HSI ovisno o potrebi može prikazivati podatke dobivene od VOR stanice ili od satelitskih sustava. HSI također prikazuje i putnu brzinu, udaljenost do sljedeće točke, trenutni smjer leta i crtu puta [8].

Brojem 6 označen je osjetljivi barometarski visinomjer.

Brojem 7 označen je variometar koji mjeri i prikazuje brzinu uzdizanja i spuštanja.

Brojem 8 označen je prikaznik odstupanja od radiokursa – CDI (engl. Course Deviation Indicator) pomoću kojeg se određuje odstupanje od zadanog radiokursa radionavigacijskog sredstva.

Brojem 9 označen je prikaznik s pokretnom kompasnom ružom – MDI koji se sastoji od ručno ugodive kompasne ruže i kazaljke koja prikazuje trenutni QDM.



Slika 10 Desna strana instrument ploče zrakoplova 9A-DMB

Brojem 10 označen je Garmin GMA 345 audio panel koji služi za upravljanje radio stanicama te postavkama zvuka i mikrofona na zrakoplovu [6].

Brojem 11 označen je Garmin GTN750 koji je najvažniji instrument za ovaj rad jer omogućuje navigaciju pomoću GNSS sustava. Garmin GTN 750 je primarni navigacijski sustav opremljen s prijamnikom GPS i SBAS signala zbog čega je certificiran za uporabu na ruti, u terminalnom prostoru aerodroma i u postupku prilaznja. GTN 750 certificiran je za GNSS prilaze s i bez vertikalnog vođenja zbog čega je pogodan za uporabu tijekom LPV prilaza koji se koristi u ovom radu. GTN 750 omogućuje i navigaciju pomoću konvencionalnih sustava kao što su VOR, ILS i LOC gdje na ekranu prikazuje trenutnu poziciju zrakoplova, namjeravanu putanju te udaljenost i kurs do sljedeće točke. Pomoću uređaja GTN750 pilot izabire željene komunikacijske i navigacijske frekvencije [9].

Brojem 12 označen je Garmin GTN 650 koji pruža iste mogućnosti kao i GTN750 ali ima manji ekran zbog čega se GTN650 koristi kao zamjenski sustav u slučaju otkaza GTN750 [6].

Brojem 13 označen je Bendix King KN 62A DME prikaznik na kojem se prikazuje udaljenost od odabranog zemaljskog sredstva [6].

Brojem 14 označena je upravljačka kutija ADF uređaja Bendix King KR87 pomoću koje pilot odabire frekvenciju željenog NDB sredstva [6].

6. Teorijski izračun elemenata leta zrakoplova tijekom konvencionalnog i GNSS prilaza

U poglavljima 3 i 4 opisane su konvencionalne i GNSS metode prilaza, a u ovom poglavlju napravljen je teorijski izračun elemenata leta zrakoplova tijekom konvencionalnog i GNSS prilaza na primjeru prilaza na zračnu luku Rijeka.

Za izračun elementa leta korišteni su sljedeći parametri:

1. Stvarna brzina – TAS (engl. True Airspeed) [KT]

Stvarna brzina je indicirana brzina ispravljena za utjecaj gustoće i temperature zraka. S prihvatljivom točnošću vrijednost TAS u odnosu na IAS može se dobiti formulom za brze izračune (engl. Rule of thumb) tako da se IAS vrijednost poveća 2% na svakih 1000 stopa visine leta (jednadžba 2).

$$TAS = IAS + \frac{0,02 \times H}{1000} \times IAS \quad (2)$$

2. Putna brzina – GS (engl. Ground Speed) [KT]

Putna brzina je brzina zrakoplova u odnosu na zemljinu površinu. Od stvarne brzine razlikuje se za vrijednost uzdužne komponente vjetra - WC. Ako tijekom leta zrakoplov ima čeonu vjetar putna brzina će biti manja od stvarne, a ako ima leđni vjetar, putna brzina će biti veća od stvarne. Putna brzina izračunava se jednadžbom 3, a uzdužna komponenta vjetra jednadžbom 4.

$$GS = TAS \pm WC \quad (3)$$

$$WC = w \times \cos \beta \quad (4)$$

Pri čemu je:

- w – intenzitet vjetra

- β – upadni kut vjetra

3. Prijedena udaljenost – D (engl. Distance) [NM]

Prijedena udaljenost se izračunava jednadžbom 5.

$$D = GS \times T \quad (5)$$

4. Vrijeme – T (engl. Time)

Protoklo vrijeme se izračunava jednadžbom 6 i izražava se u minutama i sekundama [mm:ss]

$$T = \frac{D}{GS} \quad (6)$$

5. Potrošeno gorivo – FR (engl. Fuel Required) [GAL]

Cessna 172 je jednomotorni klipni zrakoplov. Za takvu vrstu zrakoplova regulativa od proizvođača ne zahtjeva izdavanje podataka za režim spuštanja zbog čega su ovom radu za izračun goriva pri spuštanju korišteni podaci iz tablice za krstarenje koja je prikazana na slici 11. Tablica je dana u letačkom priručniku za Cessnu 172 – POH (engl. Pilot's Operating Handbook) i sadrži podatke o:

- broju okretaja motora po minuti – RPM (engl. Revolutions Per Minute),
- stvarnoj brzini – TAS,
- postotku snage motora – BHP (engl. Brake Horsepower) i
- potrošnji goriva u galonima po satu – GPH (engl. Gallons Per Hour).
- Visina – H (engl. Height) [FT].

6. Visine za pojedini segment prilaza unaprijed su određene i iščitavaju se s prilaznih karata.

Za teorijski izračun vrijede sljedeće pretpostavke:

1. indicirana brzina tijekom cijelog prilaza iznosi 100 čvorova (IAS=100KT).
2. svi izvedeni zaokreti su standardni (tempo promjene smjera leta je 3°/s).
3. vjetar je jednak onome koji je prevladavao tijekom eksperimentalnog određivanja elemenata leta. Podaci o vjetru na visinama, koji su prikazani tablicom 2, iščitani su sa karte vjetrova koju izdaje zrakoplovna meteorološka služba Hrvatske kontrole zračne plovitbe. Na karti vjetrova dani su podaci o vjetru na 2000, 5000 i 10 000 stopa. Intenzitet i smjer vjetra na visini aerodroma (300 stopa) iščitani su sa aerodromskog meteorološkog izvještaja (METAR).

Tablica 2 Intenzitet i smjer vjetra tijekom prilaza

Visina [FT]	Smjer vjetra [°]	Intenzitet vjetra [KT]
300	VRB	2
2000	240	5
5000	220	10
10 000	250	10

SECTION 5
PERFORMANCE

CESSNA
MODEL 172N

CRUISE PERFORMANCE

CONDITIONS:
2300 Pounds
Recommended Lean Mixture

PRESSURE ALTITUDE FT	RPM	20°C BELOW STANDARD TEMP			STANDARD TEMPERATURE			20°C ABOVE STANDARD TEMP		
		% BHP	KTAS	GPH	% BHP	KTAS	GPH	% BHP	KTAS	GPH
2000	2500	---	---	---	75	116	8.4	71	115	7.9
	2400	72	111	8.0	67	111	7.5	63	110	7.1
	2300	64	106	7.1	60	105	6.7	56	105	6.3
	2200	56	101	6.3	53	100	6.1	50	99	5.8
	2100	50	95	5.8	47	94	5.6	45	93	5.4
4000	2550	---	---	---	75	118	8.4	71	118	7.9
	2500	76	116	8.5	71	115	8.0	67	115	7.5
	2400	68	111	7.6	64	110	7.1	60	109	6.7
	2300	60	105	6.8	57	105	6.4	54	104	6.1
	2200	54	100	6.1	51	99	5.9	48	98	5.7
2100	48	94	5.6	46	93	5.5	44	92	5.3	
6000	2600	---	---	---	75	120	8.4	71	120	7.9
	2500	72	116	8.1	67	115	7.6	64	114	7.1
	2400	64	110	7.2	60	109	6.8	57	109	6.4
	2300	57	105	6.5	54	104	6.2	52	103	5.9
	2200	51	99	5.9	49	98	5.7	47	97	5.5
2100	46	93	5.5	44	92	5.4	42	91	5.2	
8000	2650	---	---	---	75	122	8.4	71	122	7.9
	2600	76	120	8.6	71	120	8.0	67	119	7.5
	2500	68	115	7.7	64	114	7.2	60	113	6.8
	2400	61	110	6.9	58	109	6.5	55	108	6.2
	2300	55	104	6.2	52	103	6.0	50	102	5.8
2200	49	98	5.7	47	97	5.5	45	96	5.4	
10,000	2650	76	122	8.5	71	122	8.0	67	121	7.5
	2600	72	120	8.1	68	119	7.6	64	118	7.1
	2500	65	114	7.3	61	114	6.8	58	112	6.5
	2400	58	109	6.5	55	108	6.2	52	107	6.0
	2300	52	103	6.0	50	102	5.8	48	101	5.6
2200	47	97	5.6	45	96	5.4	44	95	5.3	
12,000	2600	68	119	7.7	64	118	7.2	61	117	6.8
	2500	62	114	6.9	58	113	6.5	55	111	6.2
	2400	56	108	6.3	53	107	6.0	51	106	5.8
	2300	50	102	5.8	48	101	5.6	46	100	5.5
	2200	46	96	5.5	44	95	5.4	43	94	5.3

Figure 5-7. Cruise Performance

6.1 Konvencionalni prilaz

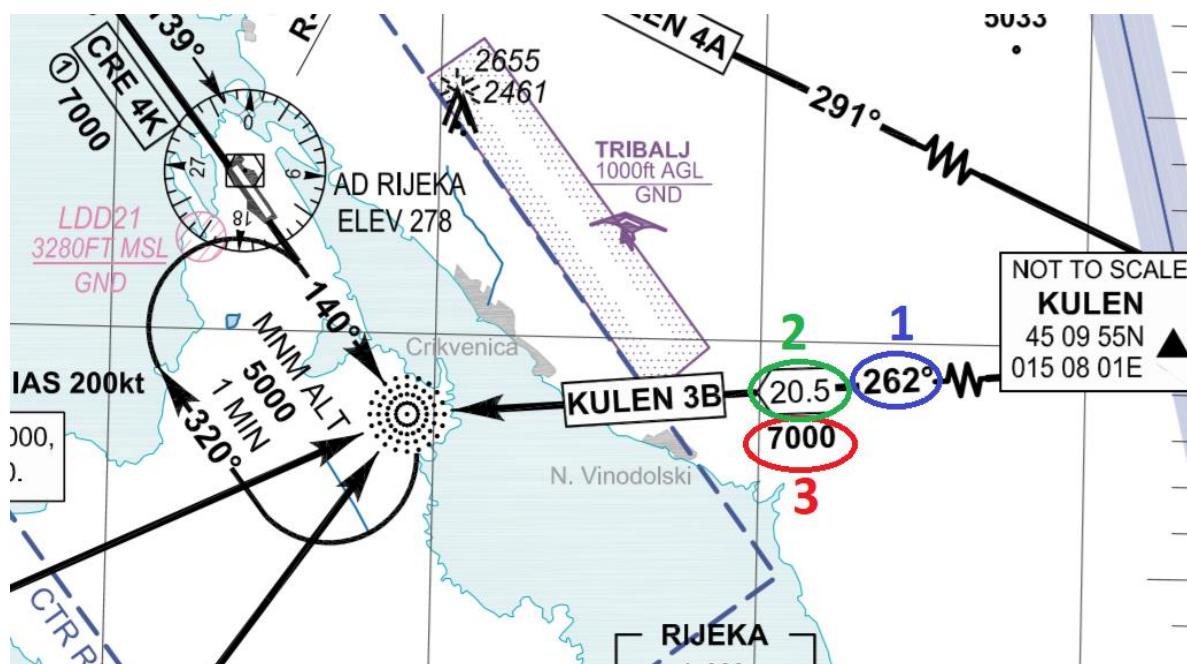
Kao konvencionalan prilaz, na čijem su primjeru teorijski izračunati i praktično izmjereni elementi leta zrakoplova, u ovom radu se koristi dolazni segment KULEN3B koji je prikazan na slici 12, i prilaz Lokator Z za stazu 32, prikazan na slici 13.

6.1.1 Dolazni segment konvencionalnog prilaza

KULEN3B je standardni instrumentalni dolazak (STAR) koji povezuje rutnu točku KULEN s početnom točkom prilaženja za Locator Z prilaz, to jest NDB sredstvom RI. Način na koji pilot izvodi proceduru opisan je na karti standardnog instrumentalnog dolaska.

Na slici 12 brojem 1 prikazana je oznaka koja pilotu određuje da se dolazak od točke KULEN do NDB RI izvodi tako što pilot prati QDM 262°.

Na slici 12 brojem 2 označena je udaljenost između točke KULEN i NDB RI, ona iznosi 20,5 nautičkih milja.



Slika 12 KULEN3B STAR, [10]

Oznakom 3 na slici 12 zadana je minimalna visina koju zrakoplov treba imati tijekom ovog segmenta. U ovom slučaju ona iznosi 7000 stopa i ta je visina korištena za izračun elemenata leta zrakoplova u ovom segmentu.

Stvarna brzina izračunava se uvrštavanjem navedene visine u jednadžbu 2.

$$TAS = 100 + \frac{0,02 \times 7000}{1000} \times 100 = 114 \text{ KT}$$

Vjetar na visini od 7000 stopa dobiven je interpolacijom podatak iz tablice 2 i njegov smjer iznosi 232° a intenzitet mu je 10 čvorova. Ako zrakoplov leti u kursu 262° , a vjetar puše iz smjera 232° upadni kut iznosi 30° . Uzdužna komponenta vjetra izračunava se jednadžbom 4.

$$WC = 10 \times \cos 30 = 8,66 \approx 9 \text{ KT}$$

Putna brzina, izračunata jednadžbom 3 i manja je od stvarne brzine zbog čeonog vjetra.

$$GS = 114 - 9 = 105 \text{ KT}$$

Vrijeme potrebno da se prijeđe udaljenost od 20,5NM izračunava se uvrštavanjem putne brzine i navedene udaljenosti u jednadžbu 6.

$$T = \frac{20,5}{105} = 0,19524 \text{ sata} = 11 \text{ minuta i } 43 \text{ sekunde}$$

Potrošeno gorivo se računa pomoću tablice na slici 11. Kako u tablici nema podataka za performanse na visini od 7000 stopa, do njih se dolazi interpolacijom podataka za 6000 i 8000 stopa. Interpolacija vrijednosti za 7000 stopa prikazana je u tablici 3.

Ako pilot tijekom leta na 7000 stopa održava indiciranu brzinu od 100 čvorova, letjet će stvarnom brzinom od 114 čvorova. U tablici 3 za 7000 stopa nisu prikazani podaci za stvarnu brzinu od 114 čvorova pa se s dovoljno velikom točnošću uzimaju podaci za stvarnu brzinu od 114,5 čvorova.

Iz tablice slijedi, da bi zrakoplov održavao stalnu indiciranu brzinu od 100 čvorova, a time i stvarnu brzinu od 114,5 čvorova mora letjeti s postavkom snage od 2500 okretaja po minuti što je 65,5% snage motora.

Iz tablice je vidljivo da pri toj postavci snage potrošnja goriva iznosi 7,4 galona po satu. Kako bi se dobilo potrošeno goriva u ovom segmentu prilaza, potrošnju goriva po satu je potrebno pomnožiti s trajanjem segmenta u satima.

$$FR = 7,4 \times 0,19524 = 1,44 \text{ GAL}$$

Izračunati podaci za dolazni segment konvencionalnog prilaza prikazani su u tablici 4.

Tablica 3 Interpolacija performansi na 7000 stopa

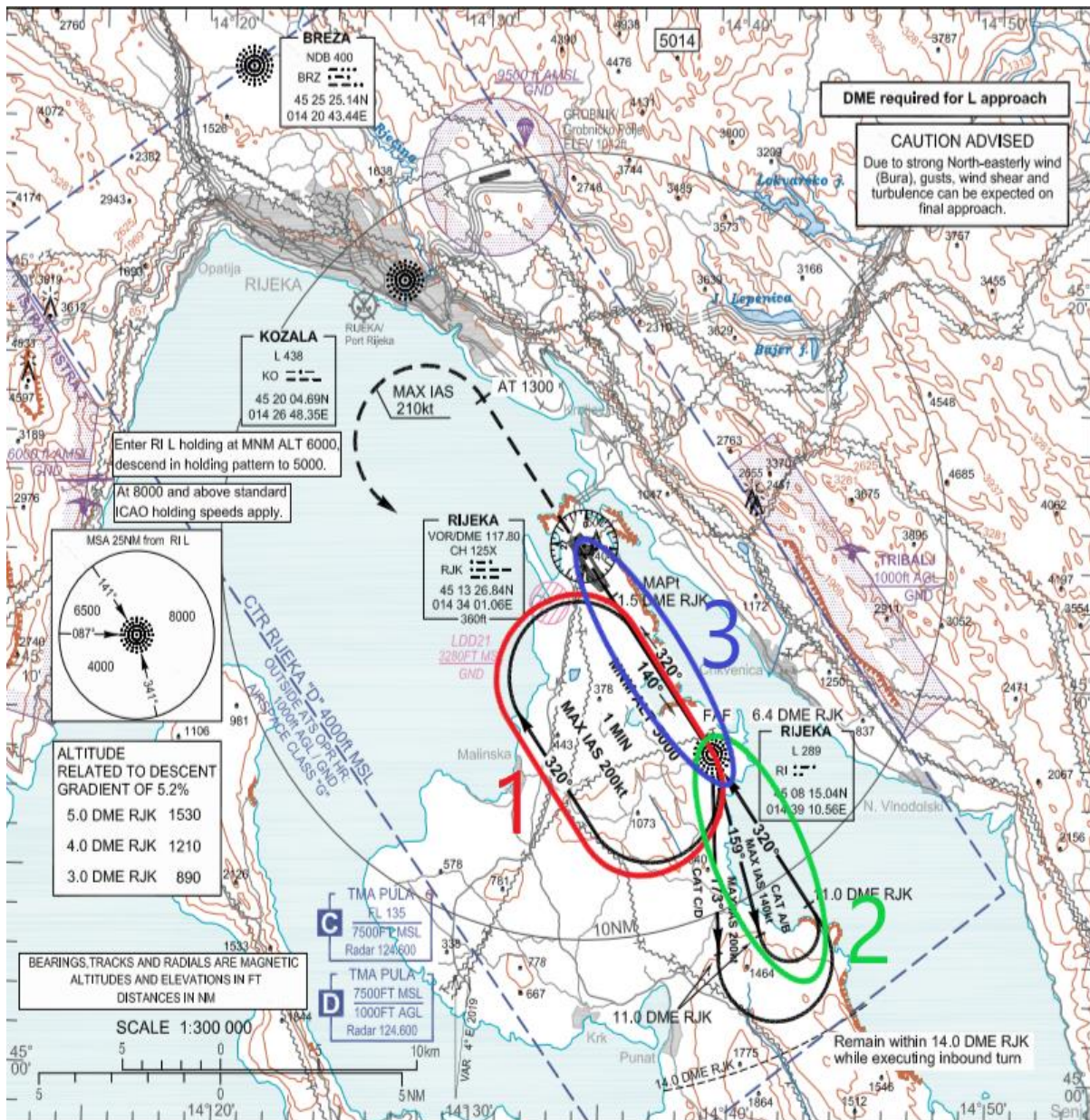
Visina	RPM	BHP [%]	TAS [KT]	GPH
6000	2600	75	120	8,4
	2500	67	115	7,6
	2400	60	109	6,8
7000	2600	73	120	8,2
	2500	65,5	114,5	7,4
	2400	59	109	6,65
8000	2600	71	120	8,0
	2500	64	114	7,2
	2400	58	109	6,5

Tablica 4 Elementi leta u dolaznom segmentu

Segment	D [NM]	T [MM:SS]	FR [GAL]
Dolazni	20,5	11:43	1,44

6.1.2 Konvencionalni prilaz

Lokator Z je neprecizni prilaz za stazu 32 na zračnoj luci Rijeka. Prilaz se izvodi pomoću NDB sredstva RI koje označava segment početnog i završnog prilaženja i DME sredstva koji se nalazi u blizini aerodroma i kolociran je s VOR sredstvom. Prilazna karta za Lokator Z prilaz prikazana je na slici 13. Prilaz je podijeljen u 3 dijela kao što je prikazano slikom 13. Prvi dio, označen crvenom bojom i brojem jedan je krug čekanja u kojem zrakoplov spušta visinu kako bi mogao nastaviti s prilazom. Drugi dio, označen zelenom bojom i brojem 2 je osnovni zaokret (engl. Base Turn) pomoću kojeg se zrakoplov dovodi na putanju završnog prilaženja, a treći dio je segment završnog prilaženja u kojem zrakoplov provodi završno snižavanje.



Slika 13 Locator Z prilaz, [10]

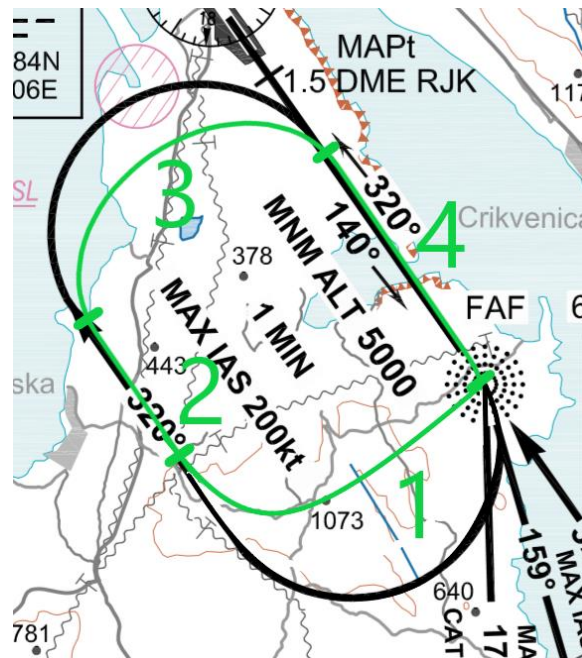
1. Krug čekanja

Krug čekanja je unaprijed utvrđeni manevar pomoću kojeg zrakoplov ostaje unutar definiranog prostora dok čeka daljnje odobrenje kontrole leta ili snižava visinu što je slučaj u ovom primjeru. Početak kruga čekanja označava preletište u postupku čekanja (engl. Holding Fix), u ovom slučaju je to NDB RI. Segmenti kruga čekanja prikazani su na slici 14. Prvi segment naziva se prvi zaokret (engl. Fix end), započinje na NDB RI i završava kada zrakoplov promjeni smjer leta za 180° to jest u traverzi. Nakon prvog zaokreta slijedi odlazni krak (engl. Outbound leg) koji traje jednu minutu nakon čega slijedi drugi zaokret (engl. Outbound end) u kojem zrakoplov opet mijenja smjer leta za 180° i dolazi na dolazni krak (engl. Inbound leg) koji traje 1 minutu to jest do preleta preletišta u postupku čekanja – NDB RI. Zaokreti u krugu čekanja su standardni što znači da je promjena smjera leta $3^\circ/s$. Kako se u svakom zaokretu smjer leta mijenja za 180° , vrijeme trajanja pojedinog zaokreta je $T = \frac{180}{3} = 60s$, to jest jednu minutu. Vrijeme trajanja cijelog kruga čekanja jednako je zbroju sva četiri segmenta, a kako svaki segment traje jednu minutu cijeli krug čekanja traje četiri minute.



Slika 14 Segmenti kruga čekanja, [10]

Ovisno o smjeru iz kojeg zrakoplov dolazi na preletište koje označava početak kruga čekanja unaprijed su definirani načini ulaska u krug čekanja. U ovom primjeru koristi se izravan ulaz u krug čekanja koji se sastoji od četiri dijela koji su prikazani zelenom bojom na slici 15.



Slika 15 Izravni ulaz u krug čekanja, [10]

Tijekom izravnog ulaza zrakoplov prvo leti 19 sekundi u kursu okomitim na dolazni krak što je u ovom slučaju kurs 230° , zatim skreće desno u kurs 320° i tako se uključuje u krug čekanja. Zrakoplov u kursu 320° leti 40 sekundi nakon čega skreće desno u kurs 140° i leti do preletišta RI koje označava kraj izravnog ulaza i početak kruga čekanja. Tijekom ulaska u krug čekanja zrakoplov mora sniziti visinu sa 7000 na 5000 stopa. Za proračun stvarne brzine i potrošenog goriva tijekom ulaska u krug čekanja koristi se srednja visina koja u ovom segmentu iznosi 6000 stopa.

$$H_{sr} = \frac{7000 + 5000}{2} = 6000 \text{ FT}$$

Stvarna brzina izračunava se uvrštavanjem visine H_{sr1} u jednadžbu 2.

$$TAS = 100 + \frac{0,02 \times 6000}{1000} \times 100 = 112 \text{ KT}$$

Vjetar na visini od 6000 stopa dobiven je interpolacijom podatak iz tablice 2 i njegov smjer iznosi 226° a intenzitet mu je 10 čvorova.

Prvi dio ulaska sastoji se od segmenta gdje zrakoplov 19 sekundi održava stalan kurs 230° i desnog zaokreta od 90° koji traje 30 sekundi. Za prvi dio ulaska upadni kut vjetra iznosi 4°. Uzdužna komponenta vjetra izračunava se jednadžbom 4.

$$WC_1 = 10 \times \cos 4 = 9,97 \approx 10 \text{ KT}$$

Putna brzina segmenta u kojem je kurs stalan izračunava se jednadžbom 3 i manja je od stvarne brzine zbog čeonog vjetra.

$$GS_1 = 112 - 10 = 102 \text{ KT}$$

U zaokretu se zbog konstantne promjene smjera leta ne može izračunati upadni kut vjetra pa se za izračun prijeđene udaljenosti koristi stvarna brzina.

Prijeđena udaljenost u prvom dijelu jednaka je zbroju segmenta u kojem zrakoplov održava stalan kurs i zaokreta.

$$D_1 = 102 \times \frac{19}{3600} + 112 \times \frac{30}{3600} = 1,47 \approx 1,5 \text{ NM}$$

Ukupno trajanje prvog dijela jednako je zbroju vremena provedenog u kursu 230° i vremena provedenog u zaokretu.

$$T_1 = 19 + 30 = 49 \text{ sekundi}$$

Trajanje drugog dijela unaprijed je određeno i iznosi 40 sekundi. Za ovaj dio upadni kut vjetra iznosi 86°. Uzdužna komponenta vjetra izračunava se jednadžbom 4.

$$WC_2 = 10 \times \cos 86 = 0,7 \approx 1 \text{ KT}$$

Putna brzina izračunava se jednadžbom 3 i veća je od stvarne brzine zbog leđnog vjetra.

$$GS_2 = 112 + 1 = 113 \text{ KT}$$

Prijeđena udaljenost u drugom dijelu izravnog ulaza izračunava se uvrštavanjem putne brzine i vremena u satima u jednadžbu 5.

$$D_2 = 113 \times \frac{40}{3600} = 1,26 \approx 1,3 \text{ NM}$$

Treći dio izravnog ulaza je desni zaokret od 180° koji traje 1 minutu jer brzina promjene smjera leta iznosi 3°/s. Kako se u zaokretu konstantno mijenja smjer leta upadni kut,

a time i uzdužna komponenta vjetra ne mogu se izračunati. Zbog toga se prijeđena udaljenost u trećem segmentu ulaza izračunava uvrštavanjem stvarne brzine i vremena u jednadžbu 5.

$$D_3 = 112 \times \frac{1}{60} = 1,867 \approx 1,9 \text{ NM}$$

Za četvrti dio ulaska vrijednost uzdužne komponente vjetra jednaka je uzdužnoj komponenti u drugom dijelu (WC_2), ali je u ovom slučaju vjetar čeon jer se kurs razlikuje za 180° . Putna brzina izračunava se jednadžbom 3 i manja je od stvarne brzine zbog čeonog vjetra.

$$GS_3 = 112 - 1 = 111 \text{ KT}$$

Duljina četvrtog segmenta jednaka je duljini odlaznog kraka kruga čekanja u zadanim uvjetima. Putna brzina u odlaznom kraku jednaka je putnoj brzini u drugom dijelu i iznosi 113 čvorova, a vrijeme trajanja odlaznog kraka je 60 sekundi. Uvrštavanjem navedenih vrijednosti u jednadžbu 5 izračunava se duljina četvrtog dijela.

$$D_4 = 113 \times \frac{1}{60} = 1,88 \approx 1,9 \text{ NM}$$

Vrijeme trajanja četvrtog segmenta izračunava se uvrštavanjem udaljenosti četvrtog dijela i putne brzine u četvrtom dijelu u jednadžbu 6.

$$T_4 = \frac{1,9}{111} = 0,017 \text{ sati} \approx 1 \text{ minuta i 1 sekunda}$$

Ukupna prijeđena udaljenost tijekom izravnog ulaza u krug čekanja jednaka je zbroju duljina sva četiri segmenta.

$$D_u = 1,5 + 1,3 + 1,9 + 1,9 = 6,6 \text{ NM}$$

Ukupno vrijeme trajanja izravnog ulaza u krug čekanja jednako je zbroju trajanja sva četiri segmenta.

$$T_u = 49 + 40 + 60 + 61 = 210 \text{ sekundi} = 3 \text{ minute i 30 sekundi}$$

Za izračun potrošenog goriva tijekom ulaza u krug čekanja koriste se podaci iz tablice na slici 11. U tablici nisu zadani podaci za stvarnu brzinu od 112 čvorova pa se koriste podaci za brzinu od 109 čvorova. Iz tablice slijedi, da bi zrakoplov na 6000 stopa održavao stalnu indiciranu brzinu od 100 čvorova i time stvarnu brzinu od 109 čvorova

mora letjeti s postavkom snage od 2400 okretaja po minuti što je 60% snage motora. Iz tablice je vidljivo da pri toj postavci snage potrošnja goriva iznosi 6,8 galona po satu. Potrošeno gorivo izračunava se množenjem potrošnje goriva i trajanjem u satima.

$$FR = 6,8 \times \frac{210}{3600} = 0,396 \approx 0,4 \text{ galona}$$

Nakon što je napravio izravan ulaz i doletio do točke RI zrakoplov ulazi u krug čekanja u kojem mora sniziti visinu s 5000 na 4200 stopa kao što je prikazano prilaznom kartom na slici 13. Za proračun stvarne brzine i potrošenog goriva u krugu čekanja koristi se srednja visina.

$$H_{sr} = \frac{5000 + 4200}{2} = 4600 \text{ FT}$$

Stvarna brzina izračunava se uvrštavanjem srednje visine u jednadžbu 2.

$$TAS = 100 + \frac{0,02 \times 4600}{1000} \times 100 = 109,2 \approx 109 \text{ KT}$$

Za izračun prijeđene udaljenosti potrebno je izračunati putnu brzinu za odlazni i dolazni krak, a za izračun prijeđene udaljenosti u zaokretima koristi se stvarna brzina. Kako se kurs u dolaznom i odlaznom kraku razlikuje za 180° vrijednost uzdužne komponente vjetra jednaka je u oba kraka. Vjetar na visini od 4600 stopa dobiven je interpolacijom podataka iz tablice 2 i njegov smjer iznosi 223°, a intenzitet mu je 9 čvorova. Upadni kut vjetra iznosi 83°. Uzdužna komponenta vjetra izračunava se jednadžbom 4.

$$WC = 9 \times \cos 83 = 1,097 \approx 1 \text{ KT}$$

U odlaznom kraku vjetar je leđni pa je putna brzina veća od stvarne.

$$GS_o = 109 + 1 = 110 \text{ KT}$$

Prijeđena udaljenost u odlaznom kraku izračunava se uvrštavanjem brzine u odlaznom kraku i njegovog trajanja u jednadžbu 5.

$$D_o = 110 \times \frac{1}{60} = 1,83 \approx 1,8 \text{ NM}$$

Duljina dolaznog kraka jednaka je duljini odlaznog kraka i iznosi 1,8 nautičkih milja ($D_o = D_d = 1,8 \text{ NM}$). Za izračun trajanja dolaznog kraka potrebno je izračunati putnu

brzinu u dolaznom kraku. U dolaznom kraku, uzdužna komponenta vjetra također iznosi 1 čvor ali je vjetar čeon pa je putna brzina manja od stvarne.

$$GS_d = 109 - 1 = 108 \text{ čvorova}$$

Trajanje dolaznog kraka izračunava se uvrštavanjem putne brzine i duljine u jednadžbu 6.

$$T = \frac{1,8}{108} = 0,0167 \text{ sati} \approx 1 \text{ minuta}$$

U zaokretu se prijeđena udaljenost računa sa putnom brzinom. Krug čekanja se sastoji od 2 zaokreta koji zajedno traju 2 minute, a stvarna brzina tijekom zaokreta je 109 čvorova. Prijeđena udaljenost u zaokretima računa se uvrštavanjem stvarne brzine i vremena trajanja oba zaokreta u jednadžbu 5.

$$D_z = 109 \times \frac{2}{60} = 3,63 \approx 3,6 \text{ NM}$$

Ukupno vrijeme trajanja kruga čekanja jednako je zbroju vremena trajanja sva četiri segmenta.

$$T_k = 60 + 60 + 60 + 60 = 240 \text{ sekunda} = 4 \text{ minute}$$

Ukupna udaljenost prijeđena u krugu čekanja jednaka je zbroju svih udaljenosti u krugu čekanja.

$$D_k = 1,8 + 1,8 + 3,6 = 7,2 \text{ NM}$$

Za izračun potrošenog goriva u krugu čekanja potrebni su podaci za 4600 stopa do kojih se dolazi interpolacijom podataka za visine od 4000 i 5000 stopa. Interpolirani podaci za 6600 stopa prikazani su u tablici 5. U tablici 5 nisu prikazani podaci za stvarnu brzinu od 109 čvorova, najbliže toj vrijednosti je stvarna brzina od 109,7 čvora pa se za izračun potrošenog goriva koriste vrijednosti za tu brzinu. Iz tablice slijedi, da bi zrakoplov na 4600 stopa održavao stalnu indiciranu brzinu od 100 čvorova i time stvarnu brzinu od 109,7 čvorova mora letjeti s postavkom snage od 2400 okretaja po minuti što je 62,8% snage motora. Iz tablice je vidljivo da pri toj postavci snage potrošnja goriva iznosi 7,01 galona po satu.

Tablica 5 Interpolacija performansi na 4600 stopa

VISINA	RPM	BHP [%]	TAS [KT]	GPH
4000	2500	71	115	8,0
	2400	64	110	7,1
	2300	57	105	6,4
4600	2500	69,8	115	7,88
	2400	62,8	109,7	7,01
	2300	56,1	104,7	6,34
5000	2500	69	115	7,8
	2400	62	109,5	6,95
	2300	55,5	104,5	6,3

Kako bi se dobilo potrošeno gorivo u ovom segmentu potrebno je pomnožiti potrošnju goriva po satu s trajanjem segmenta u satima.

$$FR = 7,01 \times \frac{240}{3600} = 0,467 \approx 0,47 \text{ galona}$$

Ukupni podaci o duljini, trajanju i potrošenom gorivu za krug čekanja i ulazak u njega prikazani su u tablici 6.

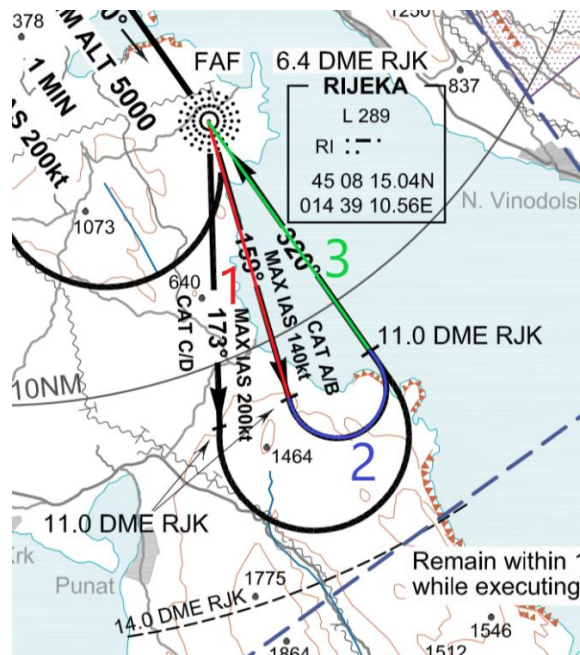
Tablica 6 Elementi leta u krugu čekanja

Segment	D [NM]	T [MM:SS]	FR [GAL]
Krug čekanja	13,8	07:30	0,87

2. Osnovni zaokret

Osnovni zaokret je podijeljen u tri segmenta koji su prikazani na slici 16. Prvi segment, označen crvenom bojom i brojem 1, započinje na NDB RI i traje do DME udaljenosti od 11 NM. U njemu zrakoplov održava stalan kurs od 159° i snižava s visine od 4200 stopa na visinu od 3000 stopa kao što je prikazano na prilaznoj karti. Drugi segment, označen plavom bojom i brojem 2, je lijevi zaokret od 199° koji započinje u kursu 159° na DME udaljenosti od 11 NM i završava u kursu 320° na DME udaljenosti također od 11 NM što je prikazano na prilaznoj karti. Treći segment, označen zelenom bojom i brojem 3, započinje na udaljenosti od 11NM i završava na

preletištu početnog prilaznja RI. Tijekom njega zrakoplov leti stalnim kursom 320° i snižava visinu na 2000 stopa.



Slika 16 Dijelovi osnovnog zaokreta, [10]

Duljina prvog segmenta jednaka je razlici DME udaljenosti na kraju i početku ovog dijela. Početna i krajnja udaljenost iznose 6,4 i 11 nautičkih milja respektivno a iščitane su s prilazne karte.

$$D_1 = 11 - 6,4 = 4,6NM$$

S obzirom da tijekom prvog segmenta zrakoplov smanjuje visinu, za izračun stvarne brzine koristi se srednja visina (H_{sr1}) koja u ovom segmentu iznosi 3600 stopa.

$$H_{sr1} = \frac{4200 + 3000}{2} = 3600FT$$

Stvarna brzina prvog segmenta (TAS_1) izračunava se uvrštavanjem visine H_{sr1} u jednadžbu 2.

$$TAS_1 = 100 + \frac{0,02 \times 3600}{1000} \times 100 = 107,2 \approx 107 KT$$

Vjetar na visini od 3600 stopa dobiven je interpolacijom podataka iz tablice 2 i njegov smjer iznosi 229°, a intenzitet mu je 8 čvorova. Upadni kut vjetra u prvom segmentu iznosi 70°. Uzdužna komponenta vjetra izračunava se jednadžbom 4.

$$WC = 8 \times \cos 70 = 2,74 \approx 3 \text{ KT}$$

Putna brzina izračunava se jednadžbom 3 i manja je od stvarne brzine zbog čeonog vjetra.

$$GS_2 = 107 - 3 = 104$$

Trajanje prvog segmenta izračunava se uvrštavanjem udaljenosti (D_1) i putne brzine u jednadžbu 6.

$$T_1 = \frac{4,6}{104} = 0,04423 \text{ sata} \approx 2 \text{ minute i } 39 \text{ sekundi}$$

Drugi segment konstruiran je za zrakoplov koji leti indiciranom brzinom od 140 čvorova, pa se duljina segmenta izračunava pomoću podataka za takav zrakoplov. Iz prilazne karte je vidljivo da zrakoplov u drugom segmentu mijenja smjer leta za 199° . Ako zrakoplov skreće standardnim zaokretom, vrijeme potrebno da izvrši zaokret (T_z) iznosi 66 sekundi.

$$T_z = \frac{199}{3} = 66,3 \approx 66 \text{ sekundi}$$

Dakle, kako bi se izračunala duljina drugog segmenta potrebno je u jednadžbu 5 uvrstiti brzinu od 140 čvorova i vrijeme trajanja zaokreta T_z u satima.

$$D_2 = 140 \times \frac{66}{3600} = 2,57 \approx 2,6 \text{ NM}$$

U drugom segmentu zrakoplov leti na visini od 3000 stopa, uvrštavanjem te visine u jednadžbu 2 izračunava se stvarna brzina drugog segmenta (TAS_2)

$$TAS_2 = 100 + \frac{0,02 \times 3000}{1000} \times 100 = 106 \text{ KT}$$

Zbog nemogućnosti izračunavanja putne brzine u zaokretu trajanje drugog segmenta izračunava se uvrštavanjem udaljenosti D_2 i stvarne brzine TAS_2 u jednadžbu 6.

$$T_2 = \frac{2,6}{106} = 0,0245283 \text{ sata} \approx 1 \text{ minuta i } 28 \text{ sekundi}$$

Duljina trećeg segmenta D_3 jednaka je razlici DME udaljenosti na početku i na kraju segmenta. Početna udaljenost je 11, a krajnja udaljenost 6,4 nautičkih milja što je očitano s prilazne karte.

$$D_3 = 11 - 6,4 = 4,6 \text{ NM}$$

Tijekom trećeg segmenta zrakoplov smanjuje visinu s 3000 na 2000 stopa, za izračun stvarne brzine koristi se srednja visina (H_{sr3}) koja u ovom segmentu iznosi 2500 stopa.

$$H_{sr3} = \frac{2000 + 3000}{2} = 2500 \text{ FT}$$

Stvarna brzina u trećem segmentu izračunava se uvrštavanjem visine H_{sr3} u jednadžbu 2.

$$TAS_3 = 100 + \frac{0,02 \times 2500}{1000} \times 100 = 105 \text{ KT}$$

Vjetar na visini od 2500 stopa dobiven je interpolacijom podataka iz tablice 2 i njegov smjer iznosi 237° , a intenzitet mu je 6 čvorova. Upadni kut u trećem segmentu iznosi 83° . Uzdužna komponenta vjetra izračunava se jednadžbom 4.

$$WC = 6 \times \cos 83 = 0,73 \approx 1 \text{ KT}$$

Putna brzina izračunava se jednadžbom 3 i manja je od stvarne brzine zbog čeonog vjetra.

$$GS_3 = 105 - 1 = 104 \text{ KT}$$

Trajanje trećeg segmenta izračunava se uvrštavanjem udaljenosti D_3 i putne brzine GS_3 u jednadžbu 4.

$$T_3 = \frac{4,6}{104} = 0,0442 \text{ sata} \approx 2 \text{ minute i } 39 \text{ sekundi}$$

Za izračun potrošnje goriva u osnovnom zaokretu koriste se vrijednosti na srednjoj visini zaokreta. Kako zaokret započinje na visini od 4200 stopa a završava na visini od 2000 stopa. Srednja visina zaokreta H_{srz} iznosi 3100 stopa.

$$H_{srz} = \frac{4200 + 2000}{2} = 3100 \text{ FT}$$

Srednja stvarna brzina TAS_{sr} izračunava se uvrštavanjem srednje visine zaokreta u jednadžbu 2.

$$TAS_{sr} = 100 + \frac{0,02 \times 3100}{1000} \times 100 = 106,2 \approx 106 \text{ KT}$$

Kako bi se dobili podaci za visinu od 3100 stopa, potrebno je interpolirati vrijednosti za 3000 i 4000 stopa. Interpolirani podaci prikazani su u tablici 7.

U tablici 7 nisu zadani podaci za stvarnu brzinu od 106 čvorova. Najbliža vrijednost stvarne brzine je 105 čvorova pa se za potrošeno gorivo koriste podaci za tu brzinu. Iz tablice slijedi da ako zrakoplov na 3100 stopa leti stalnom indiciranom brzinom od 100 čvorova, a time i stvarnom brzinom od 105 čvorova mora letjeti s postavkom snage od 2300 okretaja po minuti što je 59,7% snage motora. Iz tablice je vidljivo da pri toj postavci snage potrošnja goriva iznosi 6,67 galona po satu. Kako bi se izračunalo potrošeno gorivo u osnovnom zaokretu potrebno je pomnožiti potrošnju goriva u satima s trajanjem osnovnog zaokreta u satima. Ukupno vrijeme trajanja osnovnog zaokreta (T_u) jednako je zbroju T_1 , T_2 i T_3 i iznosi 6 minuta i 46 sekundi.

$$T_u = T_1 + T_2 + T_3 = 2,65 + 1,4667 + 2,65 = 6,7667 \text{ minuta} = 6 \text{ minuta i } 46 \text{ sekundi}$$

$$FR = 6,67 \times \frac{6,7667}{60} = 0,75 \text{ galona}$$

Ukupno vrijeme i potrošnja goriva u osnovnom zaokretu su prethodno izračunati, a ukupna udaljenost prijeđena u osnovnom zaokretu izračunava se zbrojem udaljenosti sva 3 pojedina segmenta.

$$D = D_1 + D_2 + D_3 = 4,6 + 2,6 + 4,6 = 11,8 \text{ NM}$$

Tablica 7 Interpolacija performansi na 3100 stopa

VISINA	RPM	BHP [%]	TAS [KT]	GPH
3000	2400	67	111	7,5
	2300	60	105	6,7
	2200	53	100	6,1
3100	2400	66,7	110,9	7,46
	2300	59,7	105	6,67
	2200	52,8	99,9	6,08
4000	2400	64	110	7,1
	2300	57	105	6,4
	2200	51	99	5,9

Podaci za cijeli osnovni zaokret prikazani su u tablici 8.

Tablica 8 Elementi leta u osnovnom zaokretu

Segment	D [NM]	T [MM:SS]	FR [GAL]
Osnovni zaokret	11,8	06:46	0,75

3. Segment završnog prilaznja

Segment završnog prilaznja, označen crvenom bojom na slici 17, započinje na preletištu završnog prilaznja – NDB RI i završava na točki neuspjelog prilaza (MAP) koja je na ovom prilazu određena DME udaljenošću.

Na karti je prikazano da se točka neuspjelog prilaza nalazi na udaljenosti 1.5 NM od DME sredstva, a preletišta završnog prilaznja na udaljenosti 6.4 NM od DME sredstva. Duljina segmenta završnog prilaznja (D) izračunava se oduzimanjem udaljenosti točke neuspjelog prilaza od udaljenosti preletišta završnog prilaznja.

$$D = 6,4 - 1,5 = 4,9 \text{ NM}$$

Visina na kojoj se nalazi točka neuspjelog prilaza određena je minimalnom apsolutnom visinom snižavanja, a na prilaznoj karti se može iščitati da ona za ovaj prilaz iznosi 830 stopa. Za izračun stvarne brzine u ovom dijelu prilaza koristi se srednja visina (H_{sr}).

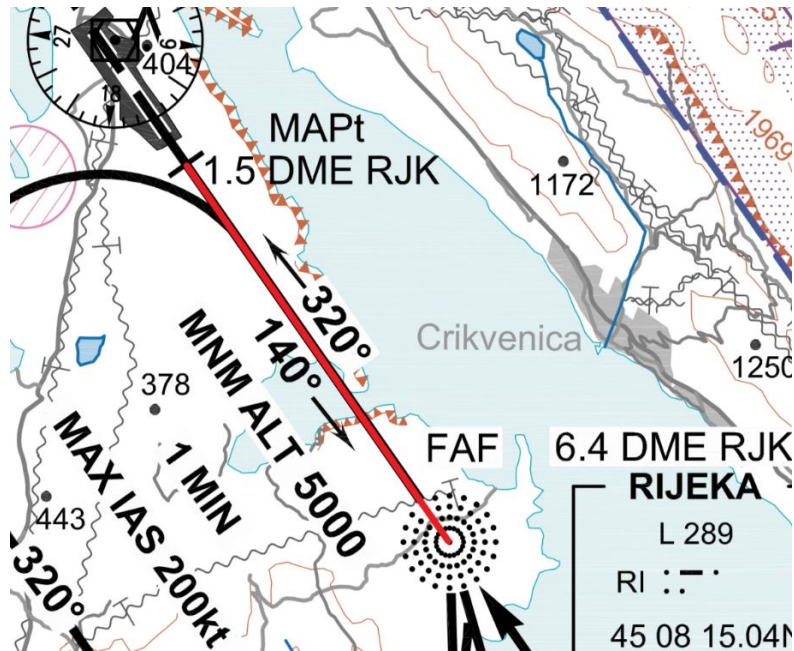
$$H_{sr} = \frac{2000 + 830}{2} = 1415 \text{ FT}$$

Stvarna brzina izračunava se uvrštavanjem visine H_{sr} u jednadžbu 2.

$$TAS = 100 + \frac{0,02 \times 1415}{1000} \times 100 = 102,83 \approx 103 \text{ KT}$$

Na visini aerodroma (300 stopa) smjer vjetra je varijabilan pa se za smjer vjetra u završnom prilazu koristi onaj na 2000 stopa i iznosi 240° , a intenzitet je dobivena interpolacijom vjetra na 2000 i 300 stopa i iznosi 4 čvora. Upadni kut vjetra u segmentu završnog prilaznja iznosi 80° . Uzdužna komponenta vjetra izračunava se jednadžbom 4.

$$WC = 4 \times \cos 80 = 0,69 \approx 1 \text{ KT}$$



Slika 17 Segment završnog prilaženja, [10]

Putna brzina izračunava se jednadžbom 3 i manja je od stvarne brzine zbog čeonog vjetra.

$$GS = 103 - 1 = 102 \text{ KT}$$

Trajanje segmenta završnog prilaženja izračunava se jednadžbom 6.

$$T = \frac{4,9}{102} = 0,04804 \text{ sata} \approx 2 \text{ minute i } 53 \text{ sekunde}$$

S obzirom da najmanja visina za koju su dati podaci o potrošni goriva u tablici na slici 5 iznosi 2000 stopa, za izračun potrošenog goriva u segmentu završnog prilaženja korištene su te vrijednosti.

Stvarna brzina na 2000 stopa izračunava se pomoću jednadžbe 2.

$$TAS = 100 + \frac{0,02 \times 2000}{1000} \times 100 = 104 \text{ KT}$$

U tablici na slici 11 nisu zadane vrijednosti za brzinu od 104 čvora pa se za proračun uzimaju vrijednosti za najbližu brzinu a to je 105 čvorova. Iz tablice slijedi da ako zrakoplov na 2000 stopa leti stalnom indiciranom brzinom od 100 čvorova, a time i stvarnom brzinom od 104 čvora, mora letjeti s postavkom snage od 2300 okretaja po minuti što je 60% snage motora. Iz tablice je vidljivo da pri toj postavci snage potrošnja goriva iznosi 6,7 galona po satu. Kako bi se izračunalo potrošeno gorivo u segmentu

završnog prilaženja potrebno je pomnožiti potrošnju goriva u satima s trajanjem segmenta.

$$FR = 6,7 \times 0,04804 = 0,32 \text{ galona}$$

Izračunati podaci za segment završnog prilaženja dani su u tablici 9.

Tablica 9 Elementi leta u segmentu završnog prilaženja

Segment	D [NM]	T [MM:SS]	FR [GAL]
Završnog prilaženja	4,9	02:53	0,32

U tablici 10 prikazani su elementi leta zrakoplova za pojedini segment i za cijeli konvencionalni prilaz. Vrijednosti za konvencionalni prilaz dobivene su zbrojem svih četiri segmenta.

Tablica 10 Teorijski izračunati elementi leta tijekom konvencionalnog prilaza

Segment	D [NM]	T [MM:SS]	FR [GAL]
Dolazni segment	20,5	11:43	1,44
Krug čekanja	13,8	07:30	0,87
Osnovni zaokret	11,8	06:46	0,75
Segment završnog prilaženja	4,9	02:53	0,32
Konvencionalni prilaz	51,0	28:52	3,38

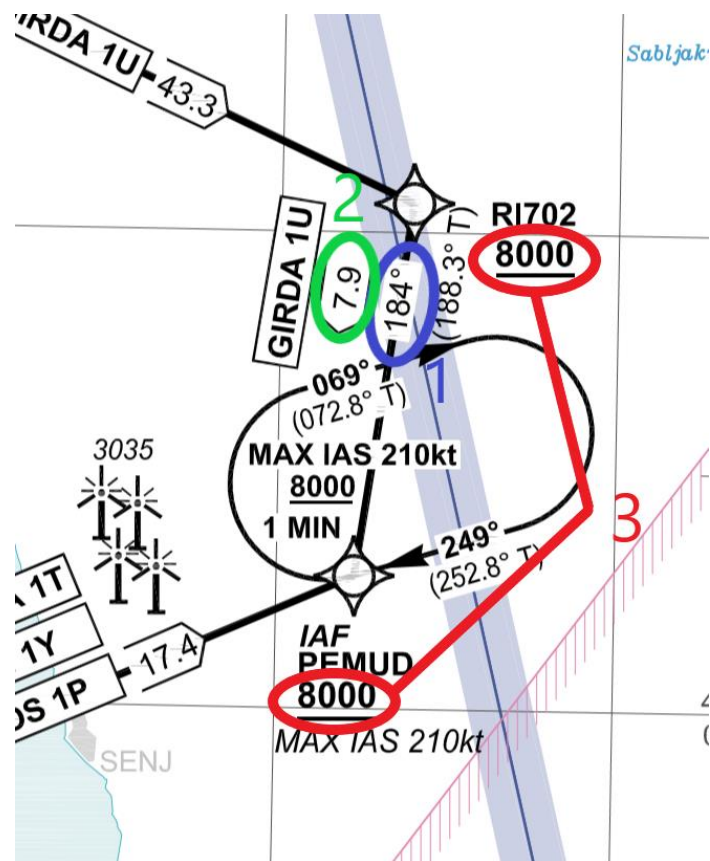
6.2 GNSS prilaz

Kao GNSS prilaz, na čijem su primjeru teorijski izračunati i praktično izmjereni elementi leta zrakoplova, u ovom radu se koristi dolazni segment GIRDA1U koji je prikazan na slici 18, i RNP LPV prilaz za stazu 32, prikazan na slici 19.

6.2.1 Dolazni segment GNSS prilaza

GIRDA1U je standardni instrumentalni RNAV dolazak koji povezuje rutnu točku GIRDA s točkom PEMUD koja predstavlja preletišta početnog prilaženja za RNP prilaz za stazu 32. Točka GIRDA je ulazna točka u zračni prostor Republike Hrvatske i nalazi se sjeverozapadno od aerodroma. S obzirom da zrakoplov aerodromu Rijeka prilazi s istoka, u praksi se ne bi koristio cijeli GIRDA1U instrumentalni dolazak nego bi se

zrakoplov u instrumentalni dolazak uključio u točki RI702 koja se nalazi jugoistočno od aerodroma. Zbog toga se i u teorijskom izračunu koristi segment standardnog instrumentalnog dolaska koji počinje na točki RI702 i prikazan je na slici 18.



Slika 18 GIRDA1U standardni instrumentalni dolazak, [10]

Plavom bojom i brojem jedan na slici 18 označen je kurs koji pilot mora letjeti kako bi došao od točke RI702 do točke PEMUD.

Duljina (D) dolaznog segmenta označena je zelenom bojom i brojem 2 na slici 18 i iznosi 7,9 nautičkih milja.

Crvenom bojom i brojem 3 na slici 18 označena je minimalna visina na točkama RI702 i PEMUD. Ona za obje točke iznosi 8000 stopa što znači da zrakoplov tijekom cijelog segmenta mora biti na najmanjoj visini od 8000 stopa. Za izračun stvarne brzine i potrošnje goriva u ovom segmentu koristi se upravo ta visina od 8000 stopa.

Stvarna brzina izračunava se uvrštavanjem navedene visine u jednadžbu 2.

$$TAS = 100 + \frac{0,02 \times 8000}{1000} \times 100 = 116 \text{ KT}$$

Vjetar na visini od 8000 stopa dobiven je interpolacijom podataka iz tablice 2 i smjer mu je 238° , a intenzitet 10 čvorova. Ako zrakoplov leti u kursu 184° , a vjetar puše iz smjera 238° upadni kut iznosi 54° . Uzdužna komponenta vjetra izračunava se jednadžbom 4.

$$WC = 10 \times \cos 54 = 5,88 \approx 6 \text{ KT}$$

Putna brzina izračunava se jednadžbom 3 i manja je od stvarne brzine zbog čeonog vjetra.

$$GS = 116 - 6 = 110 \text{ KT}$$

Trajanje dolaznog segmenta izračunava se jednadžbom 6.

$$T = \frac{7,9}{110} = 0,0718 \text{ sata} = 4 \text{ minute i } 19 \text{ sekundi}$$

U tablici na slici 11 nisu zadani podaci za stvarnu brzinu od 116 čvorova. Najbliža vrijednost stvarne brzine je 114 čvorova pa se za potrošeno gorivo koriste podaci za tu brzinu. Iz tablice slijedi da ako zrakoplov na 8000 stopa leti stalnom indiciranom brzinom od 100 čvorova, a time i stvarnom brzinom od 114 čvorova, mora letjeti s postavkom snage od 2500 okretaja po minuti što je 64% snage motora. Iz tablice je vidljivo da pri toj postavci snage potrošnja goriva iznosi 7,2 galona po satu. Kako bi se izračunalo potrošeno gorivo u dolaznom segmentu potrebno je pomnožiti potrošnju goriva s trajanjem dolaznog segmenta u satima

$$FR = 7,2 \times 0,0718 = 0,52 \text{ galona}$$

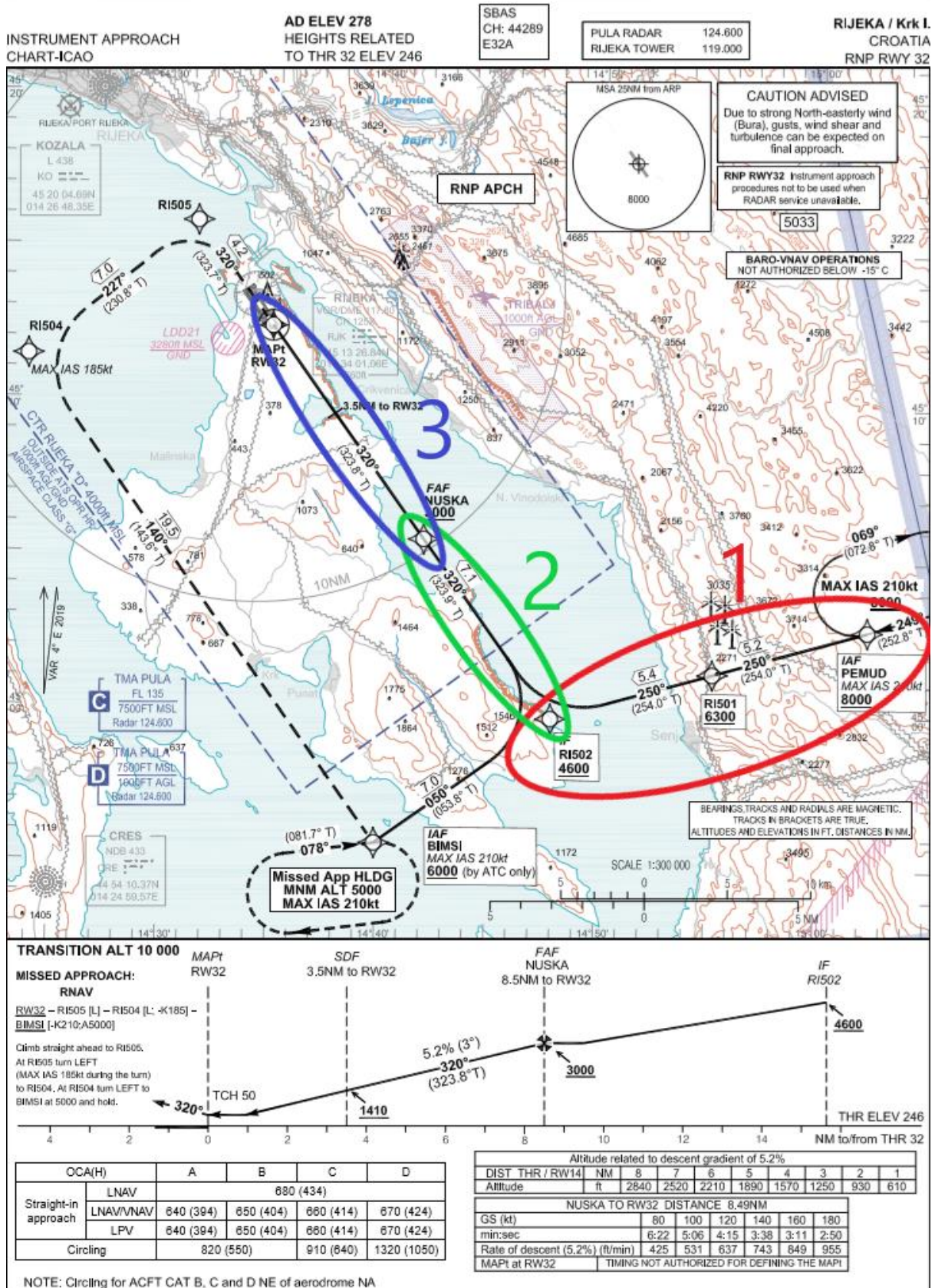
Izračunati podaci za dolazni segment GNSS prilaza prikazani su u tablici 11.

Tablica 11 Dolazni segment GNSS prilaza

Segment	D [NM]	T [MM:SS]	FR [GAL]
Dolazni	7,9	04:19	0,52

6.2.2 GNSS Prilaz

RNP prilaz za stazu 32 podijeljen je u 3 segmenta. Prvi segment označen je crvenom bojom i brojem 1 na slici 19, drugi segment označen je zelenom bojom i brojem 2, a treći segment je prikazan plavom bojom i brojem 3.



Slika 19 RNP prilaz, [10]

1. Segment početnog prilaženja

Segment početnog prilaženja sastoji se od 2 dijela. Prvi dio započinje na preletištu početnog prilaženja PEMUD i završava na točki RI501, a drugi dio započinje na točki RI501 i završava na točki RI502. Duljine prvog i drugog djela očitane su s prilazne karte i iznose 5,2 i 5,4 nautičke milje respektivno. Ukupna duljina segmenta početnog prilaženja jednaka je zbroju ta dva segmenta i iznosi 10,6 nautičkih milja.

$$D = 5,2 + 5,4 = 10,6 \text{ NM}$$

Zrakoplov u segmentu početnog prilaženja snižava visinu s 8000 na 4600 stopa. Srednja visina (H_{sr}) iznosi 6300 stopa.

$$H_{sr} = \frac{8000 + 4600}{2} = 6300 \text{ FT}$$

Stvarna brzina na 6300 stopa izračunava se uvrštavanjem visine u jednadžbu 2.

$$TAS = 100 + \frac{0,02 \times 6300}{1000} \times 100 = 112,6 \approx 113 \text{ KT}$$

Vjetar na visini od 6300 stopa dobiven je interpolacijom podataka iz tablice 2 i smjer mu je 228° , a intenzitet 10 čvorova. Ako zrakoplov leti u kursu 250° , a vjetar puše iz smjera 228° upadni kut iznosi 25° . Uzdužna komponenta vjetra izračunava se jednadžbom 4.

$$WC = 10 \times \cos 25 = 9,06 \approx 9 \text{ KT}$$

Putna brzina izračunava se jednadžbom 3 i manja je od stvarne brzine zbog čeonog vjetra.

$$GS = 113 - 9 = 104 \text{ KT}$$

Trajanje segmenta početnog prilaženja izračunava se jednadžbom 6.

$$T = \frac{10,6}{104} = 0,102 \text{ sata} \approx 6 \text{ minuta i } 7 \text{ sekundi}$$

Kako bi se izračunala potrošnja goriva potrebno je napraviti interpolaciju podataka iz tablice sa slike 11 za visinu od 6300 stopa. Interpolacija podataka za 6300 stopa prikazana je u tablici 12.

Tablica 12 Interpolacija performansi na 6300 stopa

VISINA	RPM	BHP [%]	TAS [KT]	GPH
6000	2500	67	115	7,6
	2400	60	109	6,8
6300	2500	66,55	114,85	7,54
	2400	59,7	109	6,755
7000	2500	65,5	114,5	7,4
	2400	59	109	6,65

U tablici 12 nisu zadani podaci za stvarnu brzinu od 113 čvorova. Najbliža vrijednost stvarne brzine je 114,85 čvorova pa se za potrošeno gorivo koriste podaci za tu brzinu. Iz tablice slijedi da ako zrakoplov na 6300 stopa leti stalnom indiciranom brzinom od 100 čvorova, a time i stvarnom brzinom od 114,85 čvorova, mora letjeti s postavkom snage od 2500 okretaja po minuti što je 66,55% snage motora. Iz tablice je vidljivo da pri toj postavci snage potrošnja goriva iznosi 7,54 galona po satu. Kako bi se izračunalo potrošeno gorivo u segmentu početnog prilaženja potrebno je pomnožiti potrošnju goriva s trajanjem segmenta u satima.

$$FR = 7,54 \times 0,102 = 0,77 \text{ galona}$$

Izračunati podaci za segment početnog prilaženja GNSS prilaza prikazani su u tablici 13.

Tablica 13 Segment početnog prilaženja GNSS prilaza

Segment	D [NM]	T [MM:SS]	FR [GAL]
Početnog prilaženja	10,6	06:07	0,77

2. Segment međuprilaženja

Segment međuprilaženja započinje na preletištu međuprilaženja RI502 i završava na točki NUSKA. Duljina segmenta međuprilaženja (D) prikazana je na prilaznoj karti i iznosi 7,1 nautičku milju. Segment započinje na visini od 4600 stopa i završava na visini od 3000 stopa. Srednja visina segmenta međuprilaženja (H_{sr}) iznosi 3800 stopa.

$$H_{sr} = \frac{4600 + 3000}{2} = 3800 \text{ FT}$$

Stvarna visina na 3800 stopa izračunava se uvrštavanjem visine u jednadžbu 2.

$$TAS = 100 + \frac{0,02 \times 3800}{1000} \times 100 = 107,6 \approx 108 \text{ KT}$$

Vjetar na visini od 3800 stopa dobiven je interpolacijom podataka iz tablice 2 i smjer mu je 228° , a intenzitet 8 čvorova. Ako zrakoplov leti u kursu 320° , a vjetar puše iz smjera 228° upadni kut iznosi 88° . Uzdužna komponenta vjetra izračunava se jednadžbom 4.

$$WC = 8 \times \cos 88 = 0,28 \approx 0 \text{ KT}$$

Uzdužna komponenta vjetra jednaka je nuli pa je putna brzina jednaka stvarnoj brzini.

$$GS = TAS = 108 \text{ KT}$$

Trajanje segmenta međuprilaženja izračunava se jednadžbom 6.

$$T = \frac{7,1}{108} = 0,06574 \text{ sata} \approx 3 \text{ minute i } 57 \text{ sekundi}$$

Kako bi se izračunala potrošnja goriva potrebno je napraviti interpolaciju podataka iz tablice sa slike 11 za visinu od 3800 stopa. Interpolacija podataka za 3800 stopa prikazana je u tablici 14 u kojoj nisu zadani podaci za stvarnu brzinu od 108 čvorova. Najbliža vrijednost stvarne brzine je 110,1 čvor pa se za potrošeno gorivo koriste podaci za tu brzinu. Iz tablice slijedi da ako zrakoplov na 3800 stopa leti stalnom indiciranom brzinom od 100 čvorova, a time i stvarnom brzinom od 110,1 čvorova, mora letjeti s postavkom snage od 2400 okretaja po minuti što je 64,3% snage motora. Iz tablice je vidljivo da pri toj postavci snage potrošnja goriva iznosi 7,14 galona po satu.

Kako bi se izračunalo potrošeno gorivo u segmentu međuprilaženja potrebno je pomnožiti potrošnju goriva s trajanjem segmenta u satima.

$$FR = 7,14 \times 0,06574 = 0,47 \text{ galona}$$

Izračunati podaci za segment međuprilaženja GNSS prilaza prikazani su u tablici 15.

Tablica 14 Interpolacija performansi na 3800 stopa

VISINA	RPM	BHP [%]	TAS [KT]	GPH
3000	2500	73	115,5	8,2
	2400	65,5	110,5	7,3
	2300	58,5	105	6,55
3800	2500	71,4	115,1	8,04
	2400	64,3	110,1	7,14
	2300	57,3	105	6,43
4000	2500	71	115	8,0
	2400	64	110	7,1
	2300	57	105	6,4

Tablica 15 Segment međuprilaženja GNSS prilaza

Segment	D [NM]	T [MM:SS]	FR [GAL]
Međuprilaženja	7,1	03:57	0,47

3. Segment završnog prilaženja

Segment završnog prilaženja započinje na točki NUSKA koja predstavlja preletišće završnog prilaženja i završava na točki neuspjelog prilaza što je u ovom slučaju prag uzletno-sletne staze 32. Duljina segmenta završnog prilaženja (D) očitana je s prilazne karte i iznosi 8,5 nautičkih milja.

U segmentu završnog prilaženja zrakoplov snižava visinu s 3000 stopa do visine nadvišavanja prepreka - OCA (engl. Obstacle Clearance Height) koja je za ovaj prilaz očitana s prilazne karte i iznosi 640 stopa. Za izračun stvarne brzine u segmentu završnog prilaženja koristi se srednja visina (H_{sr}).

$$H_{sr} = \frac{3000 + 640}{2} = 1820 \text{ FT}$$

Stvarna brzina izračunava se uvrštavanjem visine H_{sr} u jednadžbu 2.

$$TAS = 100 + \frac{0,02 \times 1820}{1000} \times 100 = 103,64 \approx 104 \text{ KT}$$

Na visini aerodroma (300 stopa) smjer vjetra je varijabilan pa se za smjer vjetra u završnom prilazu koristi onaj na 2000 stopa i iznosi 240°, a intenzitet je dobiven

interpolacijom vjetra na 2000 i 300 stopa i iznosi 5 čvorova. Ako zrakoplov leti u kursu 320°, a vjetar puše iz smjera 240° upadni kut iznosi 80°. Uzdužna komponenta vjetra izračunava se jednadžbom 4.

$$WC = 5 \times \cos 80 = 0,87 \approx 1 \text{ KT}$$

Putna brzina izračunava se jednadžbom 3 i manja je od stvarne brzine zbog čeonog vjetra.

$$GS = 104 - 1 = 103 \text{ KT}$$

Trajanje segmenta završnog prilaženja izračunava se jednadžbom 6.

$$T = \frac{8,5}{103} = 0,0825 \text{ sata} \approx 4 \text{ minute i } 57 \text{ sekundi}$$

S obzirom da najmanja visina za koju su dati podaci o potrošni goriva u tablici na slici 11 iznosi 2000 stopa, za izračun potrošenog goriva u segmentu završnog prilaženja GNSS prilaza korištene su te vrijednosti. U tablici na slici 11 nisu zadane vrijednosti za brzinu od 104 čvora pa se za proračun uzimaju vrijednosti za najbližu brzinu a to je 105 čvorova. Iz tablice slijedi da ako zrakoplov na 2000 stopa leti stalnom indiciranom brzinom od 100 čvorova, a time i stvarnom brzinom od 105 čvorova, mora letjeti s postavkom snage od 2300 okretaja po minuti što je 60% snage motora. Iz tablice je vidljivo da pri toj postavci snage potrošnja goriva iznosi 6,7 galona po satu. Kako bi se izračunalo potrošeno gorivo u segmentu završnog prilaženja potrebno je pomnožiti potrošnju goriva u satima s trajanjem segmenta.

$$FR = 6,7 \times 0,0825 = 0,55 \text{ galona}$$

Izračunati podaci za segment završnog prilaženja dani su u tablici 16.

Tablica 16 Segment završnog prilaženja GNSS prilaza

Segment	D [NM]	T [MM:SS]	FR [GAL]
Završnog prilaženja	8,5	04:57	0,55

U tablici 17 prikazani su elementi leta zrakoplova za pojedini segment i za cijeli GNSS prilaz. Vrijednosti za GNSS prilaz dobivene su zbrojem sva četiri segmenta.

Tablica 17 Teorijski izračunati elementi leta tijekom GNSS prilaza

Segment	D [NM]	T [MM:SS]	FR [GAL]
Dolazni segment	7,9	04:19	0,52
Početnog prilaženja	10,6	06:07	0,77
Međuprilaženja	7,1	03:57	0,47
Završnog prilaženja	8,5	04:57	0,55
GNSS prilaz	34,1	19:20	2,31

7. Eksperimentalno određivanje elemenata leta zrakoplova tijekom konvencionalnog i GNSS prilaza

7.1 Opis eksperimenta

U teoretskom izračunu pretpostavlja se da pilot idealno održava parametre leta što je u stvarnosti vrlo teško i da su atmosferski uvjeti idealni što je u stvarnosti rijetkost. Kako bi se konvencionalni i GNSS prilaz točnije usporedili, 26. Lipnja 2020. godine zrakoplovom 9A-DMB proveden je eksperimentalni let na kojem su izmjereni elementi leta tijekom izvođenja prilaza. Let je započeo na aerodromu Lučko i nastavio se do IFR točke KULEN koja označuje početak konvencionalnog prilaza. Nakon što je proveden konvencionalni prilaz uslijedio je let i penjanje do točke RI702 koja označuje početak GNSS prilaza. Tijekom eksperimenta na području izvođenja leta nije bilo naoblake niti turbulencija što je bilo povoljno za provođenje mjerenja. Vjetar koji je prevladavao na području izvođenja prilaza prikazan je u tablici 2. Tijekom eksperimenta očitani su i tablicu upisani podaci o vremenu, preostalom gorivu, indiciranoj i putnoj brzini na pojedinim točkama prilaza. Nakon mjerenja izračunati su podaci o trajanju, duljini, potrošenom gorivu i prosječnoj indiciranoj i stvarnoj brzini tijekom pojedinog prilaza. Primjer tablice koja je korištena tijekom eksperimenta je tablica 18. Točke na kojima su mjereni navedeni parametri su one koje označuju početak pojedinog segmenta prilaza. Za konvencionalni prilaz to su KULEN, prvi, drugi i treći prelet NDB sredstva RI i prelet točke neuspjelog prilaza koja označava kraj prilaza. Za GNSS prilaz to su točke RI702, PEMUD, RI501, RI502, NUSKA i prag staze koji označava kraj prilaza.

Tablica 18 Primjer tablice korištene u eksperimentu

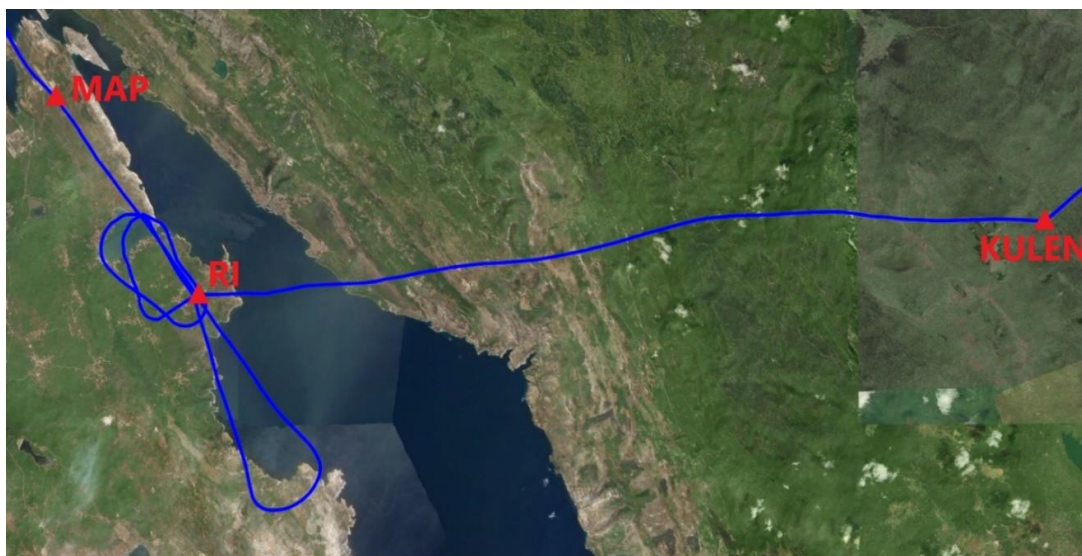
Segment	Točka	D [NM]	T [MM:SS]	FR [GAL]	IAS [KT]	GS [KT]

Vrijeme je mjereno štopericom koja se nalazi na instrument ploči zrakoplova. Štoperica je pokrenuta na početnoj točki dolaznog segmenta, a na svakoj sljedećoj točki upisano je proteklo vrijeme od početka, zaključno s točkom neuspjelog prilaza. Preostalo gorivo očitano je na svakoj točki s instrumenta EDM900, a putna brzina s

instrumenta Garmin G5. Prosječna indicirana i putna brzina za pojedini prilaz naknadno su izračunate. Slike 20 i 21 napravljene su aplikacijom „myTracks“ koja pomoću GPS sustava konstantno bilježi poziciju prijemnika u obliku koordinata. Pomoću dobivenih koordinata i programa „Microsoft Excel“ određena je prijeđena udaljenost tijekom pojedinog prilaza. Postupak za izračun prijeđene udaljenosti preuzet je sa stranice „batchgeo“ [12].

7.2 Dobiveni rezultati

Elementi leta zrakoplova izmjereni tijekom konvencionalnog prilaza prikazani su u tablici 19, a slikom 20 prikazan je izvedeni prilaz.

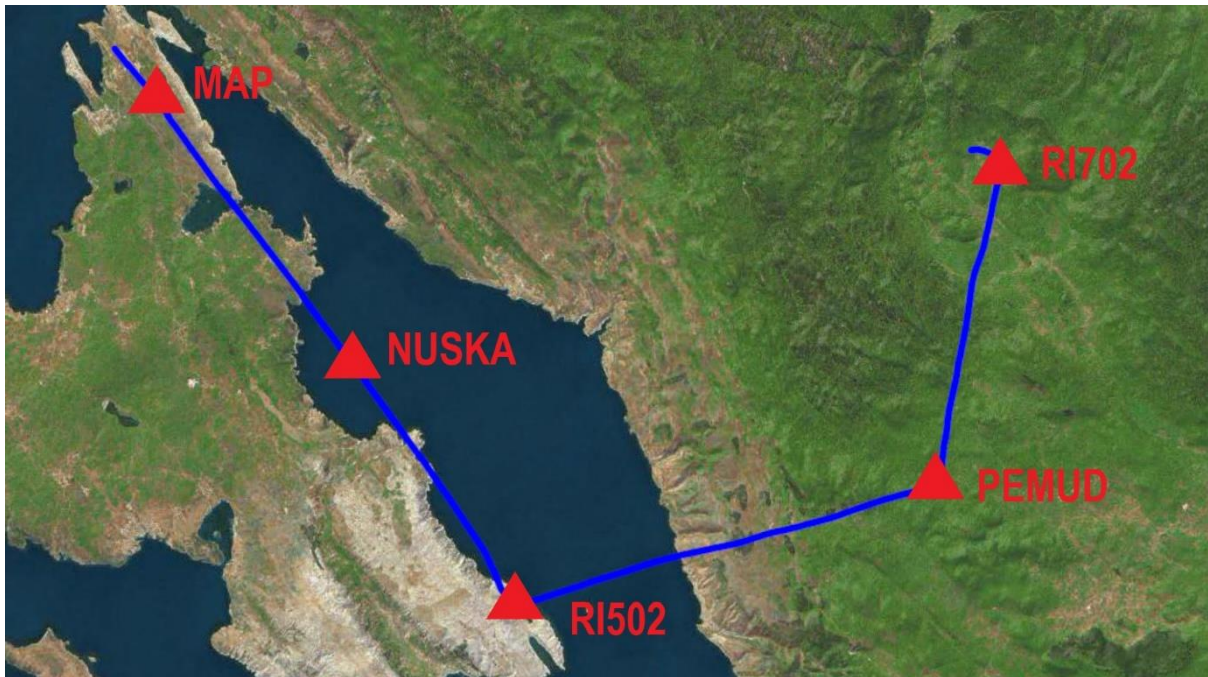


Slika 20 Konvencionalni prilaz, [11]

Tablica 19 Eksperimentalno izmjereni elementi leta tijekom konvencionalnog prilaza

Segment	D [NM]	T [MM:SS]	FR [GAL]	IAS [GS]	GS [KT]
Dolazni segment	20,8	13:28	1,4	100	91
Krug čekanja	14,3	08:12	0,7	97	96
Osnovni zaokret	11,9	07:15	0,8	101	98
Segment završnog prilaženja	4,9	02:40	0,2	101	106
Konvencionalni prilaz	51,9	31:35	3,1	100	96,7

Elementi leta zrakoplova izmjereni tijekom GNSS prilaza prikazani su u tablici 20, a slikom 21 prikazan je izvedeni prilaz.



Slika 21 GNSS prilaz, [11]

Tablica 20 Eksperimentalno izmjereni elementi leta tijekom GNSS prilaza

Segment	D [NM]	T [MM:SS]	FR [GAL]	IAS [KT]	GS [KT]
Dolazni segment	7,9	04:41	0,4	98	93
Početnog prilaženja	10,7	06:34	0,3	99	94
Međuprilaženja	7,1	04:14	0,4	105	105
Segment završnog prilaženja	8,5	04:22	0,3	103	112
GNSS prilaz	34,2	19:51	1,4	101	103,1

8. Usporedba konvencionalnog i GNSS prilaza

Usporedba duljine, trajanja i potrošenog goriva tijekom konvencionalnog i GNSS prilaza temeljena na podacima dobivenim teorijskim izračunom prikazana je u tablici 21, a u tablici 22 napravljena je usporedba temeljena na eksperimentalno izmjerenim podacima.

Tablica 21 Teorijska usporedba konvencionalnog i GNSS prilaza

Element	Konvencionalni prilaz	GNSS prilaz	Usporedba
Duljina [NM]	51,0	34,1	Duljina GNSS prilaza je od konvencionalnog prilaza manja za 16,8 NM što je 33%
Trajanje [MM:SS]	28:52	19:20	GNSS prilaza je od konvencionalnog vremenski kraći za 10 minuta i 42 sekunde što je 33%
Potrošeno gorivo [GAL]	3,38	2,31	Tijekom GNSS prilaza zrakoplov potroši 1,22 galona goriva manje nego u konvencionalnom prilazu što je ušteda od 31,7%

Tablica 22 Eksperimentalna usporedba konvencionalnog i GNSS prilaza

Element	Konvencionalni prilaz	GNSS prilaz	Usporedba
Duljina [NM]	51,9	34,2	Duljina GNSS prilaza je od konvencionalnog prilaza manja za 16,8 NM što je 34%
Trajanje [MM:SS]	31:35	19:51	GNSS prilaza je od konvencionalnog vremenski kraći za 11 minuta i 44 sekunde što iznosi 37,2%
Potrošeno gorivo [GAL]	3,1	1,4	Tijekom GNSS prilaza zrakoplov potroši 1,7 galona goriva manje nego u konvencionalnom prilazu što je ušteda od 54,8%

U tablicama 23 i 24 napravljena je usporedba teorijski i eksperimentalno dobivenih podataka za pojedini prilaz.

Tablica 23 Usporedba teorijski i eksperimentalno dobivenih podataka za konvencionalni prilaz

Konvencionalni prilaz	Teorijski izračunati podaci	Eksperimentalno dobiveni podaci	Usporedba
Duljina [NM]	51,0	51,9	Eksperimentalno dobivena udaljenost je 1,8% veća od teorijski izračunate udaljenosti
Trajanje [MM:SS]	28:53	31:35	Eksperimentalno dobiveno vrijeme prilaza je 9,3% veće od teorijski izračunatog vremena
Potrošeno gorivo [GAL]	3,38	3,1	Eksperimentalno dobiveno potrošeno gorivo je 8,3% manje od teorijski izračunatog potrošenog goriva

Tablica 24 Usporedba teorijski i eksperimentalno dobivenih podataka za GNSS prilaz

GNSS prilaz	Teorijski izračunati podaci	Eksperimentalno dobiveni podaci	Usporedba
Duljina [NM]	34,1	34,2	Eksperimentalno dobivena udaljenost je 0,3% veća od teorijski izračunate udaljenosti
Trajanje [MM:SS]	19:20	19:51	Eksperimentalno dobiveno vrijeme prilaz je 2,7% veće od teorijski izračunatog vremena
Potrošeno gorivo [GAL]	2,31	1,4	Eksperimentalno dobiveno potrošeno gorivo je 39,4% manje od teorijski izračunatog potrošenog goriva

Teorijski i eksperimentalno izračunate duljine konvencionalnog i GNSS prilaza razlikuju se zbog toga što je u stvarnosti nemoguće savršeno izvesti prilaz, to jest dolazi do odstupanja u kretanju (prebacivanje ili podbacivanje zadanog radiosmjera, prerani ili prekasni početak zaokreta i slično). Kao što je prikazano tablicama 21 i 22 GNSS prilaz je od konvencionalnog kraći za 34%. Tijekom konvencionalnog prilaza zrakoplov mora napraviti dolet s završne putne točke KULEN do NDB sredstva RI gdje započinje snižavanje visine i sam prilaz. Kako bi snizio visinu i poravnao se sa smjerom završnog prilaznja zrakoplov mora ući u krug čekanja te napraviti osnovi zaokret, a navedene procedure definirane su i izvode se pomoću zemaljskog radionavigacijskog sredstva. GNSS sustavi zrakoplovu omogućuju kretanje od točke do točke koje su definirane geografskim koordinatama a ne radionavigacijskim sredstvima, a tako definirane točke omogućuju izradu efikasnijih prilaznih procedura tijekom kojih zrakoplov može ranije započeti snižavanje visine te ne mora izvoditi povratne procedure i procedure čekanja zbog čega je udaljenost prijeđena tijekom GNSS prilaza manja nego kod konvencionalnog prilaza.

Rezultat manje duljine GNSS prilaza od konvencionalnog je i kraće potrebno vrijeme za provedbu GNSS prilaza što je izračunato teorijski i eksperimentalno potvrđeno. Teorijskim je izračunato da je GNSS prilaz od konvencionalnog kraći za 33%, a eksperimentom je utvrđeno da je GNSS prilaz kraći za 37,2%. Razlika od 4,2% može se pripisati pariranju vjetrova i mogućoj grešci u mjerenju.

Teorijski je izračunato da će tijekom GNSS prilaza zrakoplov potrošiti 31,7% manje goriva nego kod konvencionalnog, a eksperimentalno je određeno da će ušteda iznositi 54,8% što je razlika od 23,1%. Nastala razlika može se pripisati činjenici da su za teorijski izračun korišteni podaci o potrošnji goriva tijekom krstarenja koja je veća nego potrošnja goriva u snižavanju. Tijekom GNSS prilaza snižavanje se izvodi kontinuirano (engl. Continuous Descent Approach – CDA), a konvencionalni prilaz sačinjen je od horizontalnih segmenata i segmenata snižavanja zbog čega je razlika teorijski i eksperimentalno dobivenih podataka veća za GNSS nego za konvencionalni prilaz (razlika za GNSS prilaz iznosi 39,4%, a za konvencionalni prilaz 8,3%). Zbog navedenih razloga, odnos potrošenog goriva tijekom GNSS i konvencionalnog prilaza točnije je prikazan eksperimentalno dobivenim vrijednostima prema kojima zrakoplov tijekom izvođenja GNSS prilaza potroši 54,8% manje goriva nego tijekom konvencionalnog prilaza.

9. Zaključak

Razvoj konvencionalnih instrumentalnih prilaza, temeljenih na radionavigacijskim sredstvima, bilo je od velikog značaja za zrakoplovstvo jer je zrakoplovima omogućeno prilazanje i slijetanje na aerodrom u uvjetima smanjene vanjske vidljivosti. Razvoj metode prostorne navigacije i pojava PBN koncepta u zrakoplovstvo uvode RNP prilaz koji se temelji na vođenju zrakoplova na slijetanje pomoću satelitskih sustava.

Kako bi se ustanovili odnosi elemenata leta tijekom konvencionalnog i GNSS prilaza u ovom radu su na primjeru prilaza na aerodrom Rijeka teorijski i praktično određeni duljina, trajanje i potrošeno gorivo tijekom pojedinog prilaza. Teorijski je izračunato, a zatim i praktično potvrđeno da zrakoplov tijekom GNSS prilaza preleti 34% manju udaljenost nego kod konvencionalnog prilaza zbog čega su trajanje i potrošnja goriva tijekom GNSS prilaza manje. Ušteda na vremenu je 37,2%, a na potrošenom gorivu čak 54,8%. Navedene uštede tijekom GNSS prilaza za posljedicu imaju značajno manje troškove vremena i goriva što GNSS prilaze čini ekonomski isplativijim od konvencionalnih prilaza.

Prednosti GNSS prilaza koje se ne vide iz izračunatih podataka su smanjenje buke i veća ekološka prihvatljivost što je postignuto korištenjem prilaza s kontinuiranim snižavanjem tijekom kojeg zrakoplov leti s manjom postavkom snage nego tijekom konvencionalnog prilaza.

Tijekom izvođenja konvencionalnog prilaza koje se temelji na NDB sredstvu što je slučaj u ovom radu pilot uz praćenje parametara leta mora i konstantno računati trenutni QDM, QDR i u glavi stvarati sliku o poziciji zrakoplova u odnosu na sredstvo. Tijekom izvođenja GNSS prilaza pilot sve potrebne podatke za izvođenje prilaza ima na jednom prikazniku (Garmin G5 na zrakoplovu 9A-DMB) zbog čega je radno opterećenje pilota tijekom GNSS prilaza manje nego kod konvencionalnog prilaza. Smanjenje radnog opterećenja za posljedicu ima povećanje sigurnosti što je bitno jer se prilaz smatra kritičnim dijelom leta.

Zbog svih navedenih razloga, pretpostavlja se da će GNSS prilazi u budućnosti u potpunosti zamijeniti konvencionalne neprecizne prilaze što je i bio cilj njihova uvođenja.

Literatura

- [1] Airbus. *Accidents by Flight Phase*. [Internet]. [Pristupljeno 20. svibnja 2020].
Preuzeto s: <https://accidentstats.airbus.com/statistics/accident-by-flight-phase>
- [2] Novak D. *Zrakoplovna prostorna navigacija*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 2015.
- [3] International Civil Aviation Organization. *Aircraft operations*, sixth edition; 2014.
- [4] Jeppesen. *Easa ATPL Training Radio Navigation*.
- [5] International Civil Aviation Organization. *Global Navigation Satellite System (GNSS) Manual*, Second edition; 2012
- [6] Cessna, *Pilot's operating handbook Skyhawk model 172N, Registration 9A-DMB*, Revision 1; 2020
- [7] J.P Instruments, Inc. *EDM-900 Pilot's Guide*; 2011.
- [8] Garmin International. *G5 Electronic Flight Instrument Pilot's Guide for Certified Aircraft*, 2017.
- [9] Garmin International. *GTN 725/750 Pilot's Guide*; 2011
- [10] Hrvatska kontrola zračne plovdivbe. *Zbornik zrakoplovnih informacija Republike Hrvatske*. [Pristupljeno: 20. lipnja 2020]. Preuzeto s:
<https://www.crocontrol.hr/userdocsimages/ais%20produkti/eaip/2020-06-18-AIRAC/html/index-en-HR.html>
- [11] Dirk Stichling. *myTracks, Verzija 7.1.1*. Mobilna aplikacija.
- [12] Batchgeo. *Latitude and Longitude in Excel: Calculate Distance, Convert Degrees, and Geocode Addresses*. [Internet] [Pristupljeno 3. srpnja 2020.]
Preuzeto s: <https://blog.batchgeo.com/manipulating-coordinates-in-excel/>

Popis kratica

IAF	(Initial Approach Fix) Preletište početnog prilaženja
IF	(Intermediate Fix) Preletište međuprilaženja
FAF	(Final Approach Fix) Preletište završnog prilaženja
MAP	(Missed Approach Point) Točka neuspjelog prilaza
DA / H	(Decision Altitude / Height) Apsolutna visina odluke / Relativna visina odluke
MDA	(Minimum Descent Altitude) Minimalna visina snižavanja
VHF	(Very High Frequency) Vrlo visoka frekvencija
VOR	(VHF Omnidirectional Radio Range) Visokofrekvencijski svesmjerni radiofar
NDB	(Non-Directional Beacon) Neusmjereni radiofar
LOC	(Localizer) Odašiljač usmjerivača pravca prilaženja
ILS	(Instrument Landing System) Sustav za precizno prilaženje prema instrumentima
MLS	(Microwave Landing System) Mikrovalni sustav za precizno prilaženje
PAR	(Precision Approach Radar) Radar za precizno prilaženje
ADF	(Automatic Direction Finder)
RB	(Relative bearing) Stranski kut
MDI	(Moving Dial Indicator) Prikaznik s pokretnom kompasnom ružom
GNSS	(Global Navigation Satellite System) Globalni navigacijski satelitski Sustav
RNAV	(Area Navigation) Prostorna navigacija
PBN	(Performance Based Navigation) Navigacija bazirana na performansama

RNP	(Required Navigation Performance) Navigacijske specifikacije PBN koncepta
ABAS	(Aircraft Based Augmentation System) Zrakoplovni sustav dopune
GBAS	(Ground-Based Augmentation System) Zemaljski sustav dopune
SBAS	(Space-Based Augmentation system) Satelitski sustav dopune
EGNOS	(European Geostationary Navigation Overlay Service)
APV	(Approach Procedures with Vertical guidance) Postupci prilaženja s vođenjem u vertikalnoj ravnini
LPV	(Localizer Performance with Vertical Guidance) Postupak prilaženja u kojem se podatak o visini leta dobiva preko SBAS-a
ECAC	(European Civil Aviation Conference) Europska konferencija civilnog zrakoplovstva
PFD	(Primary Flight Display) Primarni letni prikaznik
HSI	(Horizontal Situation Indicator) Prikaznik horizontalne situacije
NM	(Nautical Mile) Nautička milja
TAS	(True Airspeed) Stvarna brzina
GS	(Ground Speed) Putna brzina
D	(Distance) Udaljenost
T	(Time) Vrijeme
FR	(Fuel Required) Potrošeno gorivo
POH	(Pilot's Operating Handbook) Letački priručnik
CDA	(Continuous Descent Approach) Prilaz s kontinuiranim snižavanjem

Popis slika

Slika 1 Podjela postupaka prilaženja, [2]	2
Slika 2 Segmenti instrumentalnog prilaženja, [2]	3
Slika 3 Magnetski kurs, QDM, QDR i stranski kut, [2].....	6
Slika 4 Razlika između kose i horizontalne udaljenosti od DME sredstva, [2]	8
Slika 5 RNP-1 specifikacija, [2].....	10
Slika 6 ICAO PBN navigacijske specifikacije i njihova primjena, [2]	11
Slika 7 Određivanje 2D pozicije pomoću satelita	12
Slika 8 Podjela RNP prilaznih procedura	13
Slika 9 Lijevi dio instrument ploče zrakoplova 9A-DMB.....	15
Slika 10 Desna strana instrument ploče zrakoplova 9A-DMB.....	16
Slika 11 Performanse zrakoplova C172 u krstarenju, [6].....	20
Slika 12 KULEN3B STAR	21
Slika 13 Locator Z prilaz, [10]	24
Slika 14 Segmenti kruga čekanja, [10].....	25
Slika 15 Izravni ulaz u krug čekanja, [10].....	26
Slika 16 Dijelovi osnovnog zaokreta, [10]	32
Slika 17 Segment završnog prilaženja, [10].....	37
Slika 18 GIRDA1U standardni instrumentalni dolazak, [10].....	39
Slika 19 RNP prilaz, [10].....	41
Slika 20 Konvencionalni prilaz, [11]	49
Slika 21 GNSS prilaz, [11]	50

Popis tablica

Tablica 1 Kriteriji i vrijednosti EGNOS SoL usluge	14
Tablica 2 Intenzitet i smjer vjetra tijekom prilaza	20
Tablica 3 Interpolacija performansi na 7000 stopa	23
Tablica 4 Elementi leta u dolaznom segmentu	23
Tablica 5 Interpolacija performansi za 4600 stopa	31
Tablica 6 Elementi leta u krugu čekanja	31
Tablica 7 Interpolacija performansi za 3100 stopa	35
Tablica 8 Elementi leta u osnovnom zaokretu	36
Tablica 9 Elementi leta u segmentu završnog prilaženja	38
Tablica 10 Teorijski izračunati elementi leta tijekom konvencionalnog prilaza	38
Tablica 11 Dolazni segment GNSS prilaza	40
Tablica 12 Interpolacija performansi na 6300 stopa	43
Tablica 13 Segment početnog prilaženja GNSS prilaza	43
Tablica 14 Interpolacija performansi za 6300 stopa	45
Tablica 15 Segment međuprilaženja GNSS prilaza	45
Tablica 16 Segment završnog prilaženja GNSS prilaza	46
Tablica 17 Teorijski izračunati elementi leta tijekom GNSS prilaza	47
Tablica 18 Primjer tablice korištene u eksperimentu	48
Tablica 19 Eksperimentalno izmjereni elementi leta tijekom konvencionalnog prilaza	49
Tablica 20 Eksperimentalno izmjereni elementi leta tijekom GNSS prilaza	50
Tablica 21 Teorijska usporedba konvencionalnog i GNSS prilaza	51
Tablica 22 Eksperimentalna usporedba konvencionalnog i GNSS prilaza	51
Tablica 23 Usporedba teorijski i eksperimentalno dobivenih podataka za konvencionalni prilaz	52
Tablica 24 Usporedba teorijski i eksperimentalno dobivenih podataka za GNSS prilaz	52



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 **Usporedba elemenata leta zrakoplova tijekom izvođenja GNSS i
konvencionalnog prilaza**

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

U Zagrebu, 14.7.2020

Student/ica:

Terzanić
(potpis)