Dizajn navigacijske procedure u segmentu početnog prilaženja za slijetanje

Gojević, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:074824

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Luka Gojević

DIZAJN NAVIGACIJSKE PROCEDURE U SEGMENTU POČETNOG PRILAŽENJA ZA SLIJETANJE

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 17. svibnja 2019.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**
Predmet: **Planiranje letenja i performanse II**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 5444

Pristupnik: **Luka Gojević (0135243951)**
Studij: Aeronautika
Smjer: Pilot
Usmjerenje: Civilni pilot

Zadatak: **Dizajn navigacijske procedure u segmentu početnog prilaženja za slijetanje**

Opis zadatka:

Uvodno opisati koncepte dolaznih i prilaznih procedura uz navođenje osnovnih elemenata treba uzeti u obzir pri konstruiranju. Definirati značaj segmenta početnog prilaženja. Definirati elementa segmenta početnog prilaženja kada se koriste produljeni i povratni postupci. Proračun površina za nadvisivanje prepreka. Elementi za proračun performansi zrakoplova. Primjena načela na proceduru prilaženja u segmentu početnog prilaženja za odabrani aerodrom u Republici Hrvatskoj. Zaključak.

Mentor:

prof. dr. sc. Doris Novak

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Luka Gojević

DIZAJN NAVIGACIJSKE PROCEDURE U SEGMENTU POČETNOG PRILAŽENJA ZA SLIJETANJE

NAVIGATION PROCEDURES DESIGN FOR INITIAL APPROACH SEGMENT

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2019.

DIZAJN NAVIGACIJSKE PROCEDURE U SEGMENTU POČETNOG PRILAŽENJA ZA SLIJETANJE

SAŽETAK

Proces prilaženja za slijetanje je jedan od najzahtjevnijih faza leta pri čemu je posada pod velikim radnim opterećenjem. Za uspješno izvršavanje instrumentalnih prilaza potrebno je znanje iz radionavigacije, i navigacije općenito, te uspješno odrađivanje segmenata planiranja leta i performansi aviona.

Glavna tema ovog završnog rada je segment početnog prilaženja u kojem se adekvatnim postupcima uspješno zrakoplov dovodi iz dolaznog segmenta u segment međuprilaženja ili završni segment prilaženja.

Na primjerima aerodroma Zadar i Rijeka i zrakoplova Cesnne 172 N, približit će se problematika i potrebni parametri u letu u početnom segmentu, posebice način dovođenja zrakoplova iz trenutnog kursa u završni kurs prilaženja.

KLJUČNE RIJEČI: postupci instrumentalnog prilaženja; početni segment prilaženja; povratni postupak; produljeni postupak; DME luk

SUMMARY

The procedure of the approach for landing is one of the most demanding phases of flight through which workload of the aircrew is on the high level. To successfully execute instrumental approach, it is necessary to have adequate level of knowledge in radio navigation, and generally in navigation and successfully perform flight planning and performance segment.

The main issue of this final work is the initial approach segment which provides with adequate methods to align aircraft for intermediate or final approach from the arrival route.

On the examples of airports Zadar and Rijeka and aircraft Cessna 172 N, issues and needed parameters will be furtherly explained in the initial approach, especially how to get aircraft from the current course to the final approach course.

KEY WORDS: instrument approach procedures; initial approach segment; reversal procedure; racetrack procedure; DME arc

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. INSTRUMENTALNI LETNI POSTUPCI 2

2.1. Instrumentalni odlazak 2

2.2. Instrumentalni dolazak 3

2.3. Postupak instrumentalnog prilaženja 4

2.4. Postupak krug čekanja 6

2.5. Vizualno manevriranje – kruženje 7

3. POSTUPCI INSTRUMENTALNOG PRILAŽENJA 9

3.1. Precizno prilaženje 10

3.1.1. ILS sustav za precizno prilaženje 10

3.1.2. Mikrovalni sustav za precizno prilaženje 12

3.1.3. Radar za precizno prilaženje 14

3.2. Neprecizno prilaženje 15

3.2.1. Prilaženje pomoću NDB sredstva 16

3.2.2. Prilaženje pomoću VOR sredstva 16

4. SEGMENTI POSTUPKA INSTRUMENTALNOG PRILAŽENJA 18

4.1. Dolazni segment 18

4.2. Segment početnog prilaženja 19

4.3. Segment međuprilaženja 20

4.4. Segment završnog prilaženja 20

4.5. Segment neuspjelog prilaženja 21

5. SEGMENT POČETNOG PRILAŽENJA 23

5.1. Povratni postupak 23

5.1.1. Proceduralni zaokret 23

5.1.2. Osnovni zaokret 25

5.2. Produljeni postupak 25
5.3. DME luk 26
6. PROCEDURE U POČETNOM SEGMENTU PRILAŽENJA ZA ZRAČNU LUKU ZADAR 27
6.1. Postupak prilaženja s proceduralnim zaokretom 45º/180º za uzletno-sletnu stazu 14 .. 28
6.2. Postupak prilaženja po DME luku za uzletno-sletnu stazu 04 31
7.PROCEDURE U POČETNOM SEGMENTU PRILAŽENJA ZA ZRAČNU LUKU RIJEKA 34
7.1. Postupak prilaženja s produljenim postupkom za uzletno-sletnu stazu 14 34
7.2. Postupak prilaženja s osnovnim zaokretom za uzletno-sletnu stazu 32 37
8. ZAKLJUČAK 41
POPIS LITERATURE 42
POPIS SLIKA 44
POPIS TABLICA 44
POPIS KRATICA 45
POPIS SIMBOLA 46

1. UVOD

U ovom radu opisani su postupci prilikom prilaženja zrakoplova na aerodrom slijetanja. Objašnjeni su svi segmenti postupka instrumentalnog prilaženja, a poseban naglasak je na segmentu početnog prilaženja. Prilikom izračuna i odabira određene procedure u početnom prilaženju, razmotren je utjecaj meteoroloških uvjeta na navigacijski proračun i performanse zrakoplova. Vrlo bitan faktor uspješnog izvršavanja cjelokupnog prilaza na određeni aerodrom je priprema posade koja se može očitati u njihovom poznavanju aerodroma, njegovih prilaznih procedura i karti.

Završni rad sadrži sedam poglavlja, uključujući uvod, pri čemu se u drugom poglavlju definiraju instrumentalni postupci u letu. Navedeni su standardizirani navigacijski postupci koji se koriste u instrumentalnom letenju: instrumentalni odlazak, instrumentalni dolazak, postupak instrumentalnog prilaženja, postupak čekanja i vizualno manevriranje - kruženje.

Detaljnije je opisan postupak instrumentalnog prilaženja koji je treće poglavlje ovog rada. Navodi se klasifikacija s obzirom na preciznost i podjela postupaka prilaženja u metodi radionavigacije.

Segmenti postupka instrumentalnog prilaženja četvrto su poglavlje ovog rada. Svaki od pet segmenata detaljnije je opisan zajedno s pripadajućim parametrima leta svakog segmenta ovog postupka.

Glavni segment, koji se detaljnije razrađuje je segment početnog prilaženja (engl. *Initial Approach*) čiji su postupci definirani u petom poglavlju. Navedeni su postupci u ovom segmentu te ukratko opisani dopušteni parametri i uvjeti letenja u skladu s propisima ovih postupaka.

Zadnja dva poglavlja, šesto i sedmo, predstavljaju praktični dio tematike ovog rada. Na primjeru zračne luke Zadar u Zemuniku i zračne luke Rijeka na otoku Krku kraj Omišlja te zrakoplova Cessne 172 N , prikazan je način letenja postupaka u segmentu početnog prilaženja. Dodatno su uvedeni i parametri vjetra u proračun kako bi se što točnije prikazao let u segmentu početnog prilaženja za zadani aerodrom.

Na kraju rada uz popis literature, slika, tablica, kratica i simbola, nalazi se zaključak koji sumira cjelokupan završni rad i njegove rezultate dobivene iz praktičnog dijela rada.

2. INSTRUMENTALNI LETNI POSTUPCI

Najzahtjevnija faza letenja u instrumentalnom letenju je instrumentalno prilaženje. Zrakoplov koji se nalazi u instrumentalnom prilaženju ima izvučeno podvozje potrebno za slijetanje i zakrilca potrebna za održavanje uzgona pri malim brzinama leta. Takva konfiguracija, loši meteorološki uvjeti, brzina blizu kritične brzine, umor posade od dosadašnjeg leta i radno opterećenje posade, samo potvrđuju tezu da je instrumentalno prilaženje zahtjevno.

Definicija instrumentalnih letnih postupaka (engl. *Instrument Flight Procedures* ili IFP) je postupak vođenja zrakoplova prema pravilima instrumentalnog letenja [1]. Kriteriji za definiranje postupaka su [1]:

- Performanse zrakoplova
- Tehničke značajke navigacijskih sustava
- Meteorološki uvjeti
- Zračni prostor i prepreke u okruženju
- Ekološki zahtjevi
- Zahtjevi korisnika postupaka

Postoji 5 vrsta takvih postupaka [1]:

1. Instrumentalni odlazak (engl. *Standard Instrument Departure* ili SID)
2. Instrumentalni dolazak (engl. *Standard Terminal Arrival Route* ili STAR)
3. Postupak instrumentalnog prilaženja (engl. *Instrument Approach Procedure* ili IAP)
4. Postupak čekanja (engl. *Holding*)
5. Vizualno manevriranje - kruženje (engl. *Circling*)

2.1. Instrumentalni odlazak

Instrumentalni odlazak (engl. *Standard Instrument Departure* ili SID) standardna je publicirana ruta kontrole zračnog prometa koja obuhvaća procedure od polijetanja zrakoplova do krstarenja zrakoplova na odabranoj ruti. Služi za ubrzavanje zračnog prometa i bolje razdvajanje potencijalno konfliktnih područja zračnog prometa.

Glavna dva tipa instrumentalnih odlazaka su ravni odlazak (engl. *Straight Departure*) i odlazak sa zaokretom (engl. *Turning Departure*). Ravni odlazak je odlazak u kojem se inicijalni kurs odlaska ne razlikuje za više od 15° od uzletno-sletne staze s koje je zrakoplov poletio. Kada zrakoplov skreće više od 15°, taj postupak naziva se odlazak sa zaokretom. Ravni segment takvog odlaska traje do postizanja visine od 120 m za zrakoplove. Zaokret najčešće započinje na 600 m udaljenosti od kraja uzletno-sletne staze s koje je zrakoplov poletio. U pojedinim standardnim odlascima zrakoplov ne započinje zaokret prije određene točke, najčešće navigacijsko sredstva po kojem se zrakoplov vodi po pravcu. Vođenje po pravcu u ravnom odlasku je potrebno od kraja uzletno-sletne staze s koje je zrakoplov poletio do 20 km udaljenosti. U odlasku sa zaokretom vođenje po pravcu traje od završetka definiranog zaokreta u odlasku do 10 km udaljenosti.

Ovakvi postupci uvelike olakšavaju i smanjuju potrebno komunikaciju nakon polijetanja zrakoplova sve do odabrane visine za krstarenje. Standardni odlasci prikazani su kartografski i na njima piloti mogu vidjeti lateralni profil zrakoplova na odlasku i ograničenja brzina i visina na pojedinim elementima postupka. Kartografski prikaz nije u mjerilu, već služi kao dodatna pomoć uz iznesene vrijednosti letačkih parametara. Karte publicira međunarodna civilna zrakoplovna organizacija (engl. *International Civil Aviation Organisation* ili ICAO).

2.2. Instrumentalni dolazak

Instrumentalni dolazak (engl. *Standard Terminal Arrival Route* ili STAR) standardna je publicirana ruta kontrole zračnog prometa koja zrakoplov vodi od krstarenja do preletišta početnog prilaženja (engl. *Initial Approach Fix* ili IAF). Standardni instrumentalni dolazak treba imati sljedeće karakteristike:

- Odgovarati što većem broju kategorija zrakoplova
- Počinjati na radionavigacijskom sredstvu, križištu dvaju radijala ili DME udaljenosti to jest treba počinjati na preletištu
- Omogućiti zrakoplovu sigurno letenje i navigaciju bez potrebe za radarskim vektoriranjem
- Omogućiti siguran prijelaz zrakoplov iz krstarenja do točke iz koje može započeti instrumentalni postupak prilaženja.

Širina zaštitnog područja definirana je kao prostor instrumentalnog dolaska određen kutom od 30° na obje strane od osi koja prolazi početnom točkom dolaznog segmenta. Posebno pravilo je, ukoliko je dolazni segment dulji od 25 NM, onda se uzima do 25 NM kriterij za rutno letenje, a nadalje za dolazni segment.

Točka na kojoj započinje instrumentalni dolazak je ujedno i točka po kojoj se postupak imenuje. Dolazak je, kao i odlazak, prikazan kartografski i nije u mjerilu. Također, publicira ih ICAO i piloti moraju biti upoznati s njima za uspješno prilaženje na određeni aerodrom. Nakon IAF-a, na karte standardnih dolazaka nastavlja se instrumentalna prilazna karta (engl. *Instrument Approach Chart*) koja vodi zrakoplov sve do slijetanja.

2.3. Postupak instrumentalnog prilaženja

Postupci instrumentalnog prilaženja (engl. *Instrument Approach Procedure* ili IAP) započinju preletom IAF-a, a završavaju na minimalnoj apsolutnoj visini snižavanja (engl. *Minimum Descent Altitude* ili MDA) ili apsolutnoj visini odluke (engl. *Decision Altitude* ili DA) ovisno o vrsti postupka prilaženja. Prema preciznosti dijele se na neprecizni postupak prilaženja, koji završavaju na minimalnoj apsolutnoj visini snižavanja, i precizni, koji završavaju na visini odluke. Glavna podjela, koja se posebno razrađuje u idućem poglavlju, je na [1]:

- postupke preciznog prilaženja
- postupke prilaženja sa i bez vertikalnog vođenja
- postupke nepreciznog prilaženja

Postupak preciznog prilaženja, kao i postupak nepreciznog prilaženja bit će razrađen u idućem poglavlju, stoga će ovdje biti opisan postupak prilaženja sa i bez vertikalnog vođenja.

Osnovno obilježje takvih postupaka je upotreba satelita kao primarnog sredstva za navigiranje. Satelitska navigacija omogućuje pozicioniranje i vođenje zrakoplova neovisno o zemaljskim radionavigacijskim sredstvima i stoga su takve procedure ekonomičnije od klasičnih. Također, točnost pozicioniranja veća je nego kod nepreciznog prilaženja.

U konceptu PBN (engl. *Performance Based Navigation*) definirani su kao RNP postupci prilaženja (engl. RNP *Approaches*) i podijeljeni su u dvije kategorije:

a) RNP APCH

Ovi postupci prilaženja mogu biti definirani da osiguravaju vertikalno vođenje (neprecizno prilaženje, ali s manjim minimumima) uz računalnu određenu prostornu putanju. Ili, kada ne osiguravaju vertikalno vođenje, primjenjuje se tehnika završnog prilaženja s neprekinutim snižavanjem (engl. *Continuous Descent Final Approach* ili CDFA). Temelje se na globalnom navigacijskom satelitnom sustavu ili GNSS-u [1].

b) RNP AR APCH

Glavna razlika je oznaka AR (engl. *Authorization Required*) koja predstavlja uvjet da posada i zrakoplov trebaju imati posebno odobrenje nadležnih zrakoplovnih vlasti da bi se mogli koristiti navigacijskom specifikacijom koja definira prilaznu proceduru. Dvije su glavne specifičnosti ovih postupaka, a to je točnost pri određivanju visine i mogućnost konstruiranja zakrivljenih putanja leta zrakoplova s vođenjem po tragu (engl. *Curved paths*) [1].

Prednost ovih postupaka nad nepreciznim očigledna je, ali RNP postupci imaju i više boljih karakteristika od postupaka preciznog prilaženja poput:

- Veća fleksibilnost u smislu neovisnosti od radionavigacijskih sredstava i njihove pozicije na terenu
- Troškovi pružatelja usluge znatno su manji
- Mogućnost adekvatne konstrukcije profila prilaženja s kontinuiranim snižavanjem
- Povezanost s operacijama prostorne navigacije na rutnom segmentu i terminalnoj zoni čime se povećava fleksibilnost ruta unutar terminalnog prostora i sigurnost pri vertikalnom vođenju završnog segmenta prilaženja te se smanjuju operativni minimumi za slijetanje
- Instrumentalne procedure sigurnije su i jednostavnije, čak i za nedostupne aerodrome okružene nepovoljnim reljefom
- Dostupnost podataka o devijaciji od putanje u vertikalnom prilaženju čime se povećava razina svijesti o situaciji i smanjuje mogućnost nesreće zbog CFIT-A (engl. *Controlled Flight Into Terrain*).

2.4. Postupak krug čekanja

Postupak krug čekanja (engl. *Holding*) predodređen je manevar koji održava zrakoplov pod uvjetima instrumentalnog letenja i unutar određenog zračnog prostora, čekajući daljnja odobrenja kontrole zračnog prometa [2]. Osim što krug čekanja priprema zrakoplov za završnu fazu leta, to je postupak pomoću kojeg kontrolori zračnog prometa vrše pravilno vremensko i prostorno razdvajanje zrakoplova tijekom slijetanja, u trenucima kada više zrakoplova namjerava sletjeti na isti aerodrom.

Krug čekanja standardni je postupak u instrumentalnim pravilima letenja čija je glavna zadaća pripremanje zrakoplova za slijetanje, odnosno postupak pomoću kojeg kontrolori zračnog prometa kontrolirano upravljaju protokom zračnog prostora usmjeravajući zrakoplove s rutne faze leta ili faze krstarenja na proceduru za slijetanje.

Krug čekanja sastoji se od šest elemenata:

- Dolazni krak (engl. *Inbound leg*)

  Pravac leta koji navodi zrakoplov prema preletištu čekanja tijekom samog izvođenja kruga čekanja, ali i tijekom pristupanja istom preko određene metode ulaska.

- Preletište čekanja (engl. *Holding fix*)

  Obavezna pozicija koju zrakoplov mora preletjeti kako bi započeo s letom u postupku kruga čekanja.

- Prvi zaokret za 180° (engl. *Fix end*)

  Standardan zaokret koji se izvodi u stranu u koju se provodi krug čekanja.

- Traverza (engl. *Abeam Fix*)

Pozicija koja se nalazi nasuprot dolaznog kraka. Predstavlja početak odlaznog kraka, a budući da se većina odlaznih krakova leti određeni dio vremena, predstavlja i poziciju odakle započinje mjerenje vremena.

- Odlazni krak (engl. *Outbound leg*)

  Element u kojem se zrakoplov usmjerava u pravac suprotnom od preletišta čekanja te se priprema za drugi zaokret.

- Drugi zaokret za 180° (engl. *Outbound end*)

  Slijedi nakon završetka odlaznog kraka, a kao i prvi zaokret standardan je i traje 1 min.

2.5. Vizualno manevriranje – kruženje

Kruženje (engl. *Circling*) je ekstenzija instrumentalne prilazne procedure koja dozvoljava vizualni prilaz na aerodrom. To je zapravo vizualna komponenta instrumentalnog prilaza na uzletno-sletnu stazu za koju nije dozvoljen ili moguć direktan prilaz (engl. *Straight-in Approach*). Ključno je tijekom cijelog procesa vizualnog kruženja da pilot ima uzletno-sletna stazu kao vizualni orijentir. Ukoliko je izgubi iz vida, pilot mora započeti proceduru neuspjelog prilaza. Minimalna visina za kruženje je publicirana i prikazana u prilaznoj karti u donjem desnom kutu (*Minimums Features – Circle to Land*).

Zrakoplovi su klasificirani u 5 kategorija prema indiciranoj brzini na pragu staze (Vat) koja je ekvivalentna brzini sloma uzgona (Vso) umnožena sa faktorom 1,3 ili brzini sloma uzgona pri konfiguraciji zrakoplova za slijetanje i maksimalnoj certificiranoj masi, umnožena sa faktorom 1,23 [3]. Uzima se veća brzina od navedene dvije kao važeći kriterij za kategorizaciju zrakoplova. Svaka kategorija ima i svoju maksimalnu brzinu za vizualno manevriranje ili kruženje [3]:

- Kategorija A – 185 kn
- Kategorija B – 250 kn
- Kategorija C – 335 kn

- Kategorija D – 380 kn
- Kategorija E – 445 kn

Apsolutna visina nadvisivanja prepreka (engl. *Obstacle Clearance Altitude/Height* ili OCA/H) za vizualno manevriranje ili kruženje mora zadovoljavati kriterij minimalnog nadvisivanja prepreka (engl. *Minimum Obstacle Clearance* ili MOC) iznad najviše prepreke u definiranom području koje zahvaća kruženje. Mora biti iznad donjih limita za OCA/H iznad elevacije aerodroma i ne manje od proračunate OCA/H zadanog instrumentalnog dolaska koji vodi do vizualnog kruženja. Vidljivost je također faktor i ima određenu vrijednost za pojedinu kategoriju izraženu u kilometrima ili nautičkim miljama [3].

Tablica 1. Apsolutna visina nadvisivanja prepreka za postupak kruženja

Kategorija zrakoplova	MOC [m (ft)]	Donji limit za OCH iznad elevacije aerodroma [m (ft)]	Minimalna vidljivost [km (nm)]
A	90 (295)	120 (394)	1.9 (1.0)
B	90 (295)	150 (492)	2.8 (1.5)
C	120 (394)	180 (591)	3.7 (2.0)
D	120 (394)	210 (689)	4.6 (2.5)
E	150 (492)	240 (787)	6.5 (3.5)

Izvor: [3]

3. POSTUPCI INSTRUMENTALNOG PRILAŽENJA

Najzahtjevnija faza instrumentalnog letenja je prilaženje na aerodrom slijetanja. Postupci instrumentalnog prilaženja definirani su kao niz unaprijed utvrđenih manevara zrakoplova pomoću letačkih instrumenata s utvrđenom zaštitom od prepreka koji započinje od preletišta početnog prilaženja (engl. *Initial Approach Fix* ili IAF) do točke s koje se slijetanje može izvršiti. Uporaba određenog postupka instrumentalnog prilaženja ovisi o mnogo faktora:

- Radionavigacijski uređaji i sustavi na aerodromu slijetanja
- Navigacijska oprema i sustavi na zrakoplovu u prilaženju
- Razina osposobljenosti posade u zraku i osoblja na zemlji
- Meteorološki uvjeti u okolici aerodroma slijetanja

Opća klasifikacija postupaka prilaženja dijeli postupke na [1]:

- Vizualne
- Instrumentalne

U vizualnim postupcima prilaženja u instrumentalnom letenju pilot mora imati vizualni kontakt s aerodromom slijetanja i biti izvan oblaka.

Instrumentalni postupci prilaženja se dijele na [1]:

1. instrumentalni dio
2. vizualni dio

S obzirom na radionavigacijsku pomoć, instrumentalno prilaženje dijeli se (to jest njihov instrumentalni dio) na [1]:

1. precizno prilaženje
2. neprecizno prilaženje

Pod vizualni dio spada vizualno manevriranje - kruženje koje je objašnjeno ranije u radu. Vizualni dio instrumentalnog prilaženja mora biti publiciran i pod nadzorom nadležne kontrole letenja.

3.1. Precizno prilaženje

Precizno prilaženje instrumentalno je prilaženje za slijetanje pri kojemu je osigurano elektroničko vođenje zrakoplova u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini. Horizontalno vođenje odnosi se na bočno odstupanje od definirane putanje prilaženja za slijetanje. Vertikalno vođenje odnosi se na visinu tijekom prilaženja prema zadanome kutu [1].

Kod preciznog prilaženja apsolutna visina nadvisivanja prepreka (engl. *Obstacle Clearance Altitude* ili OCA) računa se s obzirom na prag staze za koju je prilaženje namijenjeno i iz koje točke zrakoplov mora inicirati postupak neuspjelog prilaženja, kako bi ostao unutar sigurnosnih margina u odnosu na prepreke u okolini [3].

Apsolutna visina odluke (engl. *Decision Altitude* ili DA) točka je u kojoj kod preciznog prilaženja pilot može nastaviti prilaženje za slijetanje, ako ima uspostavljen vizualni kontakt sa potrebnim zemaljskim orjentirima. U suprotnom, pilot mora započeti postupak neuspjelog prilaženja [1].

Precizna prilaženja su omogućena trima sustavima:

- Sustav za precizno prilaženje ili ILS
- Mikrovalni sustav za precizno prilaženje ili MLS
- Radar za precizno prilaženje ili PAR

Sva tri detaljnije su opisana u nastavku.

Kategorije preciznog prilaženja određuju se prema primjenjivim visinama odluke i vidiljivosti uzduž staze.

3.1.1. ILS sustav za precizno prilaženje

Sastoji se od dva odašiljača signala koji pružaju pilotima vođenje u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini u prilazu [4]. Odašiljač usmjerivača pravca prilaženja (engl. *Localizer* ili LLZ) daje podatak o bočnom odstupanju zrakoplova od definiranog kursa prilaženja. Odašiljač signala putanje poniranja (engl. *Glideslope* ili GS) daje podatak o odstupanju u visini od definirne putanje prilaženja u vertikalnoj ravnini [1]. Putanja poniranja određena je kao trostupanjsko

prilaženje, ali se na određenim aerodromima može koristiti do pola stupnja devijacije. Dodatnu pomoć u prilaženju daju radiomarkeri (engl. OMI *Radiomarkers*), koji pružaju informaciju o udaljenosti zrakoplova do područja dodira vizualnim i audiosignalom u pilotskoj kabini. Tri su markera: vanjski (engl. *Outer* ili O), srednji (engl. *Middle* ili M) i unutrašnji (engl. *Inner* ili I). Počinje na završnoj točki prilaženja (engl. *Final Approach Point* ili FAP), a završava na visini odluke.

Postoje tri operativne kategorije ILS-a koje su definirane parametrima :

- Visina odluke (engl. *Decision Altitude* ili DA)
- Vidljivost (engl. *Visibility* ili VIS)
- Horizontalna vidljivost uzduž staze (engl. *Runway Visual range* ili RVR)

Tri su kategorije, a treća kategorija dodatno se dijeli na još tri kategorije [1]:

1. ILS kategorije I (CAT I)

   Postupak preciznog prilaženja je određen prema sljedećim parametrima:
   Visina odluke od 200 ft (60 m) iznad dodira uzletno-sletne staze.
   Vidljivost ne manja od 800 m ili horizontalna vidljivost uzduž staze ne manja od 550 m.

2. ILS kategorije II (CAT II)

   Postupak preciznog prilaženja je određen prema sljedećim parametrima:
   Visina odluke manja od 200 ft (60 m), ali veća od 100 ft (30m) iznad zone dodira uzletno-sletne staze .
   Horizontalna vidljivost uzduž staze koja nije manja od 300 m za kategorije A, B i C, te 350 m za kategoriju D.

3. ILS kategorije III (CAT III)
   Kategorija se dijeli na:
   1. ILS kategorija III a

      Postupak je preciznog prilaženja koji ima sljedeće parametre:
      visina odluke manja od 100 ft (30 m)

ili bez definirane visine odluke, pri čemu horizontalna vidljivost duž staze nije manja od 200 m.

2. ILS kategorija III b

   Postupak je preciznog prilaženja koji imq sljedeće parametre:
   visinom odluke manjom od 50 ft (15 m)
   ili bez definirane visine odluke, pri čemu je horizontalna vidljivost duž staze manja od 200 m , ali veća od 75 m.

3. ILS kategorija III c

   Postupak je preciznog prilaženja koji nema definirane vrijednosti visine odluke ili horizontalne vidljivosti uzduž staze.

3.1.2. Mikrovalni sustav za precizno prilaženje

To je napredni sistem koji je trebao nadomjestiti ILS i podići sustave prilaženja na novu razinu. Mikrovalni sustav za precizno prilaženje (engl. *Microwave Landing System* ili MLS) je sustav koji omogućuje precizno navigacijsko vođenje pomoću azimuta, elevacije i udaljenosti [5].

Sistem se sastoji od 5 funkcija [5]:

1. Prilazni azimut (engl. *Approach Azimuth*)

   Sredstvo na zemlji odašilje kut prilaženja i podatke na jednom od 200 kanala u frekvencijskom rasponu od 5031 do 5091 MHz. Sredstvo za odašiljanje azimuta locirano je oko 100 ft iza uzletno-sletne staze. Azimut pokriva lateralno područje od minimalno 40º na svaku stranu od središnjice uzletno-sletne staze. Visinski pokriva do 15º i do minimalno 20 000 ft, a signal se odašilje do udaljenosti od 20 NM.

2. Povratni azimut (engl. *Back Azimuth*)

Funkcionira isto kao i prilazni azimut, a svrha mu je pružati horizontalno vođenje za postupak neuspjelog prilaženja i letni odlazak s aerodroma polijetanja.

3. Prilazna elevacija (engl. *Approach Elevation*)

   Vođenje po visini sastoji se od sredstva na zemlji koje odašilje signale na istim frekvencijama kao i sredstvo za azimut. Odašiljač je uobičajeno postavljen na 400 ft sa strane uzletno-sletne staze između praga uzletno-sletne staze i zone dodira uzletno-sletne staze. Visinski je pokriveno područje do 15º, a lateralno i raspon isti su kao i kod azimutnih signala.

4. Doseg (engl. *Range*)

   Ova funkcija ista je kao i DME, samo što je tehnički drugačije izvedena i naziva se DME/P (engl. *Precision Distance Measuring Equipment*). Radiofar se odašilje u frekvencijskom spektru od 962 do 1105 MHz. DME/P sredstvo je upareno frekvencijski sa azimutom i elevacijom.

5. Komunikacija, razmjena podataka (engl. *Data Communications*)

   Uključuje osnovne podatke koje emitira MLS, a ako treba mogu se emitirati i pomoćni, dodatni podaci. Osnovni podaci su identifikacija sredstva, točna lokacija sredstva, azimut, elevacija, razina performanse zemaljske opreme i DME/P status. Pomoćni podaci su: 3-D lokacija MLS opreme, kordinate preletišta, stanje uzletno-sletne staze i meteorološki podaci u obliku RVR-a, baze oblaka, vjetra itd.

MLS može ispuniti razne zahtjeve u prilaženju, slijetanju, postupku neuspjelog prilaženja i odlasku zrakoplova poput [5]:

- Zakrivljenih i raspolovljenih dijelova prilaženja
- Raspon odabira kuta prilaženja za slijetanje
- Točna 3-D pozicija zrakoplov u prostoru
- Točno definirane granice koje osiguravaju sigurno nadvisivanje prepreka u terminalnoj zoni aerodroma

3.1.3. Radar za precizno prilaženje

Radar za precizno prilaženje (engl. *Precison Approach Radar* ili PAR) najtočniji je sistem za slijetanje koji vodi zrakoplov u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini sve do dodira zrakoplova sa pragom staze (engl. *Threshold).* Nakon što zrakoplov dostigne visinu odluke, vođenje zrakoplova od strane kontrolora postaje savjetodavno. Kontrolor u ovoj vrsti prilaženja ima esencijalnu ulogu, jer daje informacije pilotu zrakoplova o poziciji, visini i kutu u odnosu na zadani smjer i kut prilaženja.

Jedna vrsta prilaženja koja koristi ovaj radar je GCA (engl. *Ground-controlled Approach*). Takav način prilaženja zahtjeva od kontrolora da svakih 5 sekundi pilotu daje poziciju u odnosu na zadani azimut. Također, kada zrakoplov doleti na kurs prilaženja, kontrolor mora dati i podatak o visini. Prilaženje službeno završava na OCA/H, ali se informacije daju do praga staze i zrakoplov je praćen od strane kontrolora do dodira sa uzletno-sletnom stazom.

Kontrolor ne smije paralelno obavljati druge obaveze dok je zrakoplov u PAR postupku prilaženja i mora biti posebno školovan za takvu vrstu navigacije. Pilot je, bez obzira na uputstva kontrolora, odgovoran za zrakoplov. Ovakav tip radara poznat je po uporabi u vojnom zrakoplovstvu [6].

3.2. Neprecizno prilaženje

Neprecizno prilaženje je instrumentalno prilaženje za slijetanje pri kojemu je osigurano elektroničko vođenje zrakoplova samo u horizontalnoj ravnini [1].

Kod nepreciznog prilaženja visina nadvisivanja prepreka (engl. *Obstacle Clearance Height* ili OCH) predstavlja najnižu dopuštenu visinu iznad elevacije aerodroma ili u slučaju da je prag relevantne staze 2 m niži, onda se koristi visina praga staze za koju je prilaz namijenjen [3].

Neprecizno prilaženje umjesto DA/H, ima MDA/H. To je propisana mininalna apsolutna visina snižavanja (engl. *Minimum Descent Altitude* ili MDA) ispod koje se ne smije nastaviti prilaženje bez vidljivosti zemaljskih orijentira. MDA ne smije biti niža od 250 ft, a vidljivost uzduž uzletno-sletne staze ne smije biti manja od 750 m [1].

Zbog netočnosti nepreciznog prilaženja i velikog utjecaja ljudskog faktora u nesrećama nastalim tijekom nepreciznog prilaženja, uvedeni su postupci prilaženja s vertikalnim vođenjem i bez njega. Takvi postupci koriste sustave i metode prostorne navigacije (engl. *Area Navigation Approach* ili RNAV APCH). Satelistka navigacija ovim postupcima omogućuje vođenje zrakoplova bez potrebe za zemaljskom radionavigacijskom pomoći što smanjuje troškove, a ujedno je preciznija, sigurnija i fleksibilnija.

Vrste nepreciznog prilaženja su [1]:

- VOR (engl. *Very High Frequency Omni-Directional Range*)
- NDB (engl. *Non Directional Beacon*)
- LLZ (engl. *Localiser*)
- SDF (engl. *Simplified Directional Facility*)
- ASR (engl. *Approach Surveillance Radar*)

U uporabi u komercijalnoj avijaciji su VOR i NDB postupci prilaženja, ali su u izumiranju i sve ih više zamjenjuju ILS precizni sustavi prilaženja za slijetanje. Detaljnije su opisana prilaženja pomoću NDB i VOR sredstva, kao dva glavna predstavnika nepreciznog prilaženja.

3.2.1. Prilaženje pomoću NDB sredstva

Neusmjereni radio far ili NDB radio je odašiljač koji odašilje signal koji ne uključuje vezanu informaciju o smjeru kao što imaju VOR sredstva. NDB radi na frekvencijskom spektru od 190 KHz do 1750 KHz.

Svako NDB sredstvo identificira se s jednim, dva ili tri slova Morsovog koda. NDB signali prate zakrivljenost zemljine površine, stoga se mogu primiti na većim udaljenostima, što im je glavna prednost u odnosu na VOR. Glavni nedostatak je što su signali podložni negativnim utjecajima atmosfere, planinskog terena, refrakcije od obale i električnih munja, pogotovo na veće udaljenosti [7].

Kod NDB/ADF (engl. *Automatic Direction Finder* ili ADF) kombinacije pol je svesmjerni radioodašiljač ili radiofar. Pripadni zrakoplovni prijemnik je radio goniometar. Preciznost ovakve navigacije je u najboljem slučaju 4º, a u cjelokupnom predviđenom dosegu 10º.

NDB se za postupak prilaženja najčešće koristi sa DME (engl. *Distance Measuring Equipment*) sredstvom, preko kojeg se pilot horizontalno orijenitira u obliku udaljenosti od sredstva koje je u relativnoj blizini uzletno-sletne staze. Minimalna apsolutna visina snižavanja ima veće vrijednosti od VOR prilaženja, jer je neprecizniji i netočniji postupak.

Postupak se leti praćenjem kazaljke na RBI indikatoru (engl. *Relative Bearing Indicator*), čija kazaljka prikazuje relativni kut između pravca leta i smjera ka NDB sredstvu, ili RMI indikatoru (engl. *Radio Magnetic Indicator*), čije kazaljke pokazuju pravac leta i smjer ka NDB sredstvu. Treba uzeti u obzir da je kazaljka prikaznika sve osjetljivija, što se zrakoplov više približava sredstvu. U relativnoj blizini sredstvo postaje vrlo netočno i tada se prati zadani smjer leta na žirodirekcionalu ili kompasu.

3.2.2. Prilaženje pomoću VOR sredstva

Visokofrekvencijski svesmjerni radiofar ili VOR (engl. *Very High Frequency Omnidirectional Range*) se kao i NDB/ADF sustav sastoji od odašiljačkog sredstva na zemlji i prijemnika s indikatorom u zrakoplovu. VOR zemaljsko sredstvo odašilje dva signala sa dvije antene od kojih je jedna fiksna a druga rotirajuća. Prvi je neusmjereni referentni signal, a drugi je rotirajući

signal s varijabilnom fazom koji je svesmjerni i odašilje se 30 puta u sekundi. Referentni signal odašilje se svaki put kada rotirajući signal prođe nulti radijal [8].

VOR ima prednost nad NDB sredstvom jer je rukovanje njegovim uređajem i indikatorom lakše, podešavanje prijemnika i prepoznavanje sredstva je bolje, a smetnje u prijamu elektromagnetskih valova su manje i podaci su precizniji.

Koristi radiofrekvencijski spektar od 108,00 MHz do 117,95 MHz, sa tim da su VOR frekvencije one koje iza decimalne točke imaju parne brojeve, a neparne su ILS frekvencije. Za prilaženje za slijetanje se koristi terminalni VOR, koji se nalazi u neposrednoj blizini uzletno-sletne staze. Za prilaženje su, radi boljeg prilaženja, upareni sa DME uređajima.

Podaci sa zemaljskog VOR sredstva se koriste preko uređaja indikatora u zrakoplovu, a to su:

- CDI (engl. *Course Deviation Indicator*)

  Kazaljka prikaznika pokazuje odstupanje od smjera ka VOR sredstvu. Može imati i horizontalnu kazaljku za ILS putanju poniranja.

- RMI (engl. *Radio Magnetic Indicator)*

  Kazaljka prikaznika pokazuje smjer ka VOR sredstvu, dok rep kazaljke pokazuje radijal na kojem se zrakoplov nalazi. Može prikazivati smjerove do dva VOR sredstva ili ADF prijemnika.

- HSI (engl. *Horizontal Situation Indicator*)

  Kompleksni prikaznik koji ima kompasnu ružu i kazaljku pravca leta, kazaljku odstupanja od smjera ka VOR sredstvu i kazaljku za ILS putanju poniranja (engl. *Glideslope*).

Postupak prilaženja leti se tako da se prati smjer prema ili od VOR sredstva do MDA pri čemu je kazaljka prikaznika točnija od kazaljke prikaznika NDB/ADF. Mirnija je u blizini sredstva, stoga je i minimalna visina snižavanja (MDA) manja nego kod NDB prilaženja.

4. SEGMENTI POSTUPKA INSTRUMENTALNOG PRILAŽENJA

Postupke instrumentalnog prilaženja dijelimo u pet segmenata [1]:

1. Dolazni segment
2. Segment početnog prilaženja
3. Segment međuprilaženja
4. Segment završnog prilaženja
5. Segment neuspjelog prilaženja

Opisati će se svaki od segmenata, a početni segment će biti detaljnije opisan u idućem poglavlju.

4.1. Dolazni segment

Dolazni segment (engl. *Arrival Route* ili *Feeder Route*) određen je unaprijed definiranim postupcima u uvjetima instrumentalnog letenja kojima se zrakoplov vodi od zadnjeg preletišta rutnog segmenta, to jest od napuštanja zračnog puta do preletišta početnog prilaženja (engl. *Initial Approach Fix* ili IAF) na kojem počinje postupak prilaženja. Tehnički se ne smatraju segmentom prilaženja, ali su integrirane u mnoge prilazne karte stoga ih ubrajamo u prilaženje [9].

Publicirane dolazne rute imaju manju širinu zaštitnog područja od rutnih segmenata. Zaštitno područje je 30° sa svake strane zrakoplova koje započinje 25 NM prije točke početnog prilaženja, ako je dolazni segment veći ili jednak 25 NM. Ako je duljina dolaznog segmenta manja, onda konvergencija započinje u točki u kojoj počinje dolazni segment. Također, postoje i dolazni segmenti koji nisu definirani putanjom leta, već sektorima određenima s obzirom na radionavigacijska sredstva. U tom slučaju se, za nadvisivanje prepreka i sigurnost, uzima minimalna sektorska apsolutna visina (engl. *Minimum Sector Altitude* ili MSA). To je najniža apsolutna visina koja se smije koristiti i koja osigurava minimalno nadvisivanje svih prepreka od 1000 ft unutar sektora polumjera 25 NM čiji je epicentar na poziciji radionavigacijskog sredstva.

U današnje se vrijeme, uz prisutnost radara u terminalnim zonama aerodroma, najčešće koristi radarsko vektoriranje do definiranog preletišta ili izravno na putanju prilaženja do pozicije od koje pilot može nastaviti prilaženje.

4.2. Segment početnog prilaženja

Segment početnog prilaženja (engl. *Initial Approach*) započinje na preletištu početnog prilaženja (IAF) i završava na preletištu međuprilaženja (engl. *Intermediate Fix* ili IF). Glavne dvije radnje zrakoplova u ovom segmentu smanjenje su brzine i visine leta. Odgovarajuća brzina uspostavlja se konfiguracijom zrakoplova i potrebnom snagom s obzirom na udaljenost od aerodroma i definiranu brzinu silaženja. Brzina i visina leta ovise o:

- Vjetru i njegovom utjecaju na putanju zrakoplova
- Minimalnoj visini
- Bazi oblaka
- Postupku neuspjelog prilaza i drugim čimbenicima.

Putanja leta definirana je u vertikalnoj i horizontalnoj ravnini. Vertikalna putanja osigurava zrakoplovu u prilazu nadvisivanje svih prepreka u području od najmanje 300 m (1000 ft). Horizontalna putanja definirana je kako bi vodila zrakoplov prema segmentu međuprilaženja pod najvećim kutom od 90° za precizno ili 120° za neprecizno prilaženje. Učestala pojava da zrakoplov nije u dolaznom segmentu u kursu koji je definiran za međuprilaženje rješava se postupcima za korekciju putanje leta:

- Povratni postupak
- Produljeni pustupak
- DME luk.

Završetak ovog segmenta, u slučaju ne postojanja preletišta međuprilaženja, definiran je završetkom postupaka za korekciju putanje leta. Tijekom takvih postupaka posada zrakoplova mora održavati definiranu putanju leta kompenziranu za utjecaj vjetra i sve zaokrete mora izvoditi kao standardne zaokrete, 25° poprečnog nagiba ili kutom poprečnog nagiba koji osigurava brzinu promjene smjera leta od 3°/s.

4.3. Segment međuprilaženja

Segment međuprilaženja (engl. *Intermediate Approach*) započinje na preletištu međuprilaženja (IF) ili završetka povratnog, produljenog ili *dead reckoning* procedure i završava na preletištu završnog prilaženja (engl. *Final Approach Fix* ili FAF).

Glavni cilj u ovom segmentu priprema je brzine i konfiguracije zrakoplova za završno prilaženje. Zbog toga je bitno držati što manji kut spuštanja ili poniranja. Nadvisivanje prepreka smanjeno je s 1000 ft na 500 ft u primarnoj površini segmenta i lateralno se smanjuje do 0 ft na vanjskom rubu sekundarne površine. Informacije poput smjera, udaljenosti i minimalne visine objavljene su kao i za dolazni segment i početno prilaženje.

Ukoliko postoji preletište završnog prilaženja, segment međuprilaženja počinje kada je zrakoplov u doletnom dijelu proceduralnog ili osnovnog zaokreta ili u završnom doletnom dijelu povratne procedure. Ukoliko nije definirano preletište završnog segmenta, doletna putanja leta je segment završnog prilaženja [10].

4.4. Segment završnog prilaženja

Segment završnog prilaženja (engl. *Final Approach*) započinje na preletištu završnog prilaženja (FAF) ako se radi o nepreciznom instrumentalnom prilaženju ili na točki završnog prilaženja (engl. *Final Approach Point* ili FAP) ako se radi o preciznom instrumentalnom prilaženju. Ukoliko preletište ili točka nisu definirani, ovaj segment počinje nakon završetka proceduralnog zaokreta, osnovnog zaokreta ili doletnog zaokreta produljenog postupka.

Širina sigurnosnog područja završnog segmenta puno je uža za precizno prilaženje, nego za neprecizno prilaženje. Spuštanje po putanji poniranja (engl. *Glideslope*) ili MLS-u se ne smije započeti prije nego li je zrakoplov unutar sigurnosnog odstupanja od zadanog pravca prilaženja. Idealni gradijent prilaženja u ovom segmentu iznosi 3° ili 5,2%, ovisno o preciznosti prilaženja [11].

Segment završava u točki na kojoj zrakoplov može vizualno sletjeti ili u točki neuspjelog prilaženja *(*engl. *Missed Approach Point* ili MAP). Definirana su tri postupka s obzirom na preletište u ovom segmentu prilaženja i samu vrstu prilaženja [1]:

- Neprecizno prilaženje s definiranim preletištem završnog prilaženja

  U ovoj vrsti prilaženja završni segment započinje na sredstvu ili preletištu (FAF), a završava na točki neuspjelog prilaženja. FAF se nalazi na završnoj putanji i na određenoj udaljenosti, najčešće 5 NM, koja osigurava postavljanje završne konfiguracije i spuštanje od visine segmenta međuprilaženja do MDA/H. Optimalni kut spuštanja je 5.2% [11].

- Neprecizno prilaženje bez definiranog preletišta završnog prilaženja

  Postoje aerodromi gdje nema potrebnog radionavigacijskog sredstva da omogući prisutnost FAF-a, već samo jedno sredstvo koje je ujedno i IAF i MAP. Spuštanje do MDA/H započinje kada je zrakoplov na završnoj putanji prilaženja koji uobičajeno nije usklađen sa produljenim pravcem uzletno-sletne staze. Sukladno tome, OCA/H određuje se s obzirom na kut koji zatvaraju produljeni pravac uzletno-sletne staze i završna putanja prilaženja [11].

- Precizno prilaženje (prema ILS-u)

  Završni segment započinje na FAP-u. To je točka na završnoj putanji prilaženja u kojoj se sijeku visina u segmentu međuprilaženja i nominalna putanja poniranja ILS prilaženja. Segment završava na visini odluke (DA) koja je publicirana i definirana za određenu kategoriju zrakoplova [11].

4.5. Segment neuspjelog prilaženja

Segment neuspjelog prilaženja (engl. *Missed Approach*) započinje u točki u kojoj nije moguće nastaviti postupak prilaženja, to jest kada je zrakoplov na propisanim minimumima za slijetanje i nema potrebnu vidljivost za izvršavanje završnog prilaženja. Početak segmenta je posebno definiran za neprecizno, a posebno za precizno prilaženje.

Kod nepreciznog prilaženja, točka neuspjelog prilaženja može biti definirana preletištem, navigacijskim sredstvom ili vremenom mjerenim od preleta preletišta završnog prilaženja. Precizno prilaženje strože je definirano, stoga je i točka neuspjelog prilaženja definirana presjecištem visine odluke (DA/H) i putanje poniranja u prilaženju. Zrakoplov može ranije započeti postupak neuspjelog prilaženja, uz uvjet da nastavlja let do točke neuspjelog prilaženja na visini većoj od propisanog minimuma. Završetak segmenta je u točki u kojoj zrakoplov započinje početno prilaženje ili rutni segment.

Segment se dijeli u tri dijela [11]:

1. Inicijalni dio

   Inicijalni dio (engl. *Initial Phase*) započinje na točki neuspjelog prilaženja (MAP) a završava pri početku penjanja (engl. *Start Of Climb* ili SOC). Piloti moraju postaviti zrakoplov za penjanje i promjeniti konfiguraciju zrakoplova. U ovom dijelu nema zaokreta.

2. Središnji dio

   Središnji dio (engl. *Intermediate Phase*) započinje pri početku penjanja (SOC), a završava u točki u kojoj je zrakoplov osigurao i može nastaviti let sa 50 m visine iznad prepreka. Kurs se može promjeniti do maksimalno 15º od inicijalnog kursa neuspjelog prilaženja. U ovom dijelu zrakoplov započinje zaokret do traženog kursa.

3. Završni dio

   Završni dio (engl. *Final Phase*) započinje u točki koja osigurava 50 m visine iznad prepreke, a završava u točki u kojoj zrakoplov započinje novi postupak prilaženja, postupak kruga čekanja ili povratak na rutni dio leta. Zaokreti su dopušteni u ovom segmentu.

5. SEGMENT POČETNOG PRILAŽENJA

U sažetku je navedeno da će posebno poglavlje biti segment početnog prilaženja koji je ujedno i glavna tema ovoga rada. Segment je najčešće konstruiran jednim od triju postupaka kojima se zrakoplov u prilazu uvodi u kurs međuprilaženja.

Postupci u segmentu početnog prilaženja su:

1. Povratni postupak (engl. *Reversal Procedure*)
2. Produljeni postupak (engl. *Racetrack Procedure*)
3. DME luk (engl. *DME Arc*).

Detaljnije će se objasniti sva tri postupka, a u idućem poglavlju razradit će se i kroz praktični dio na primjerima aerodroma Zadar i Rijeka.

5.1. Povratni postupak

Povratni postupak je postupak konstruiran tako da uvede zrakoplov u potrebni i definirani smjer leta tijekom segmenta početnog prilaženja. Dva su glavna tipa zaokreta koji se koriste u ovom postupku:

- Proceduralni zaokret (engl. *Procedure Turn*)
- Osnovni zaokret *(*engl. *Base Turn*)

5.1.1. Proceduralni zaokret

Proceduralni zaokret (engl. *Procedure Turn*) manevar je koji započinje zaokretom koji odstupa od utvrđene putanje i nastavlja se zaokretom u suprotnome smjeru da bi se zrakoplovu omogućilo priključenje i nastavljanje leta u smjeru suprotnome od utvrđene putanje. Proceduralni zaokreti mogu biti lijevi ili desni, ovisno u koju stranu zrakoplov napravi početni zaokret [1].

Visina u proceduralnom zaokretu može biti definirana, a može se i mijenjati tijekom zaokreta kako bi završili nakon zaokreta na određenoj visini. Također, brzina je važan čimbenik koji može biti ograničen na određenu maksimalnu vrijednost ukoliko okolni teren ne dopušta i ne osigurava sigurno nadvisivanje prepreka u zaokretu. Važno je razumjeti definiciju proceduralnog zaokreta, u kojoj je vrijeme odlučujući faktor, a ne udaljenost.

Dva su glavna tipa proceduralnih zaokreta:

- 45°/180°
- 80°/260°

45°/180° proceduralni zaokret alternativno je rješenje za 80°/260° osim ako nije specifično navedeno drugačije. Sastoji se od četiri dijela [12]:

1. Ravni segment uz vođenje po pravcu, koji završava preletom preletišta (definirano DME udaljenošću, radijalom ili samim radionavigacijskim sredstvom) ili je određen vremenskim intervalom.
2. Zaokret od 45° u lijevu ili desnu stranu kojim se i imenuje zadani proceduralni zaokret.
3. Ravni segment bez vođenja po pravcu koji je vremenski određen. Duljina vremenskog intervala za A i B kategoriju zrakoplova je 1 min, a za C,D i E kateogije 1 min i 15 s. Bitno je naglasiti da se početkom smatra trenutak u kojem zrakoplov započinje zaokret, a ne trenutak kada uspostavi kurs od 45° s obzirom na kurs ravnog segmenta.
4. Zaokret za 180° u suprotnu stranu od početnog zaokreta, *intercept* i izlazak na zadani kurs leta u doletu na preletište.

80°/260° osnovni je proceduralni zaokret koji započinje preletom zrakoplova iznad preletišta i sastoji se od tri dijela [12]:

1. Ravni segment uz vođenje po pravcu, koji je određen vremenskim intervalom ili preletištem (definiranim DME udaljenošću, radijalom ili samim radionavigacijskim sredstvom).
2. Zaokret od 80° u lijevu ili desnu stranu kojim se i imenuje zadani proceduralni zaokret.
3. Zaokret od 260° u suprotnu stranu od početnog zaokreta, *intercept* i izlazak na zadani kurs leta u doletu na preletište.

5.1.2. Osnovni zaokret

Osnovni zaokret (engl. *Base Turn*) je zaokret zrakoplova u fazi početnog prilaženja između završetka putanje odleta i početka putanje međuprilaženja ili putanje završnog prilaženja [13]. Razlika od proceduralnih zaokreta pozicija je zrakoplova nakon izvršenog zaokreta pri čemu zrakoplov nema recipročan smjer s obzirom na kurs prije zaokreta. Sastoji se od dva dijela [1]:

1. Odletna putanja koja je definirana određenim kursom i čija je duljina ograničena vremenskim intervalom ili preletištem (DME udaljenost, radijal ili navigacijsko sredstvo).
2. Lijevi ili desni zaokret i izlazak na zadani kurs u doletu na preletište.

5.2. Produljeni postupak

Produljeni postupak (engl. *Racetrack Procedure*) je postupak dizajniran kako bi omogućio zrakoplovu snižavanje visine leta tijekom segmenta početnog prilaženja i/ili uspostavljanje doletne putanje u slučaju kada povratni postupak nije adekvatan [1]. Produljeni postupak određena je alternativa povratnom postupku.

Ima isti oblik kao i postupak čekanja, ali s drugačijim letnim brzinama i mjerenjem vremena u odletnoj putanji leta. Ulazak u produljeni postupak isti je kao i kod postupka čekanja uz dvije iznimke:

- Kod paralelnog ulaska u produljeni postupak, potrebno je prvo *intercept* radijala, a onda nastaviti po doletnoj putanji.
- Kod kapljičastog ulaska iz drugog sektora let u kursu od 30° na doletnu putanju potrebno je letjeti 1 min i 30 s. Nakon toga pilot okreće u pravac leta paralelan odletnoj putanji kao podsjetnik za praćenje odletnog vremenskog intervala. Ako je vremenski interval odletne putanje 1 min, onda i let u kursu 30° na doletnu putanju treba trajati 1 min.

Sastoji se od tri dijela [14]:

1. Zaokret za 180° od doletne putanje iznad radionavigacijsko sredstva ili fix-a.

2. Odletna putanja koja je određena vremenskim intervalom od 1 min do 3 min (poluminutni intervali) ili DME udaljenošću ili presjecištem dvaju radijala.
3. Zaokret od 180° koji vraća zrakoplov na doletnu putanju leta.

5.3. DME luk

DME luk (engl. *DME Arc*) procedura je konstruirana kako bi omogućila zrakoplovu tranziciju iz rutnog okruženja na instrumentalno prilaženje. Luk je određen stalnom udaljenošću od DME postaje na zemlji. To je zapravo dio kružnog luka, koji zrakoplov koristi kako bi došao u zadani kurs doletne putanje. Ovo je treće rješenje i zadnja alternacija za postupak u segmentu početnog prilaženja. DME uređaj u zrakoplovu potrebna je oprema za ovaj prilaz, a na zemlji je potrebno DME sredstvo, kolocirano sa NDB ili VOR sredstvom.

DME luk praktično se leti metodom *Turn 10° Twist 10°* ili u slučaju primjene metode prostorne navigacije, uz korištenje autopilota koji vrši proračune svih potrebnih elemenata leta. Metoda *Turn 10° Twist 10°* je metoda koja se koristi u obuci pilota tijekom instrumentalnog školovanja. Ona predstavlja radnju pilota tijekom letenja gdje pilot mora presijecati definirane radiosmjerove ili radijale pod pravim kutem kako bi se održavala stalna udaljenost od DME uređaja. Luk neće biti kružni, već će biti izlomljen na više ravnih segmenata koji predstavljaju 10° promjene kutne razlike između dvaju definiranih susjednih radijala.

Pilot sve do završnog doletnog kursa ponavlja radnju:

- Zavrtjeti kazaljku radiosmjera ili radijala na prikazniku za 10°
- Zaokrenuti zrakoplov za 10° u određenu stranu
- Cijelo vrijeme održavati razliku od 90° između kursa zrakoplova i definiranog radiosmjera ili radijala.

6. PROCEDURE U POČETNOM SEGMENTU PRILAŽENJA ZA ZRAČNU LUKU ZADAR

Zračna luka Zadar uzeta je kao jedan od primjera praktičnog letenja postupaka kada se zrakoplov u dolaznom segmentu ne nalazi u kursu međuprilaženja ili završnog prilaženja. Ponajviše radi DME luka, jer je to jedina zračna luka u Hrvatskoj koja ima taj postupak službeno publiciran u segmentu početnog prilaženja.

Zračna luka Zadar jedna je od devet međunarodnih zračnih luka u Republici Hrvatskoj. Izgrađena je 1968. godine kraj naselja Zemunik Donji, a od grada Zadra udaljena je 7 km u smjeru istoka. Jedina je zračna luka u Hrvatskoj koja ima dvije asfaltne uzletno sletne staze. Na zračnoj luci nalazi se vojna baza Hrvatskog ratnog zrakoplovstva koja školuje profesionalne vojne pilote, te stanica specijalizirana za prihvat i održavanje vatrogasnih zrakoplova. U pogledu civilnog zrakoplovstva djeluje mnoge aviokompanije, posebice ljeti, a redovnu liniju kroz godinu ima Croatia Airlines.

Aerodrom je na nadmorskoj visini od 289 ft. Prva i glavna uzletno-sletna staza je 14/32, (136°/316°) duljine 2500 m i širine 45 m. Nadmorska visina praga uzletno-sletne staze 14 je 243 ft, a praga uzletno-sletne staze 32 je 258 ft. Opremljena je jednostavnim svjetlima za uzletno-sletnu stazu 32 i svjetlima za precizni prilaz i slijetanje I. kategorije za uzletno-sletnu stazu 14. Druga uzletno-sletna staza je 04/22 (042°/222°) je duljine 2000 m i širine 45 m. Nadmorska visina praga uzletno-sletne staze 04 je 289 ft, a praga uzletno-sletne staze 22 je 272 ft. Opremljena je jednostavnim svjetlima za uzletno-sletnu stazu 04.

Zrakoplov koji se koristi za proračun je zrakoplov Cessna 172 N koji razvija 160 konjskih snaga. Za proračun ćemo koristiti maksimalnu masu od 2300 lb i zračnu brzinu od 90 kn u prilaženju.

Simboli fizikalnih veličina i mjerne jedinice su napravljene u skladu sa knjigom Zrakoplovna računska navigacija [15].

6.1. Postupak prilaženja s proceduralnim zaokretom 45º/180º za uzletno-sletnu stazu 14

Najučestaliji postupak u segmentu početnog prilaženja je proceduralni zaokret 45º/180º, stoga će se i prvi razraditi. Prvi primjer biti će proceduralni zaokret za uzletno-sletnu stazu 14 za ILS, VOR i LCTR prilaženje. Preletom VOR-a Zadar (ZDA 108.6 MHz) ili LCTR-a Zadar (ZK 348 KHz) na 3000 ft započinje početni segment prilaženja za slijetanje. Za proračun, vjetar je iz smjera juga jačine 15 čvorova (180°/15kn). Zrakoplov se spušta u kursu 313° uz korekciju vjetra potrebnu za pariranje zadanom vjetru do visine 2300 ft i do udaljenosti D8.0 od ZDA VOR/DME sredstva. Brzina silaženja na ovom dijelu leta nije određena, ali proračunom možemo zaključiti da je brzina silaženja 146ft/min najbolja za dolazak na D8.0 na 2300 ft.

$$h = 700\ ft, v = 90\ kn, s = 8\ NM, v = ?$$

$$w = v + u_{uzd}$$

$$u_{uzd} = \cos\beta \times u$$

$$u_{uzd} = \cos 47° \times 15 = 10{,}23 \sim 10\ kn$$

$$w = 90 + 10 = 100kn\ \ t = \frac{s}{w} = \frac{8}{100} \times 60 = 4{,}8\ min = 4\ \text{min}\ 48\ s$$

$$v_{sil} = \frac{h}{t} = \frac{700}{4{,}8} = 145{,}83 \sim 146\ ft/min$$

Na toj udaljenosti započinje publicirani proceduralni zaokret 45°/180° u lijevu stranu u kurs 268°. Zbog utjecaja južnog vjetra zrakoplov se okreće u pravac 258° kako bi se održao kurs 268°.

$$u = 180°/15\ kn, \theta = 268°, \theta_0 = ?$$

$$\beta = \theta - u = 268° - 180° = 88°$$

$$u_{pop} = \text{u} \times \sin\beta = 15 \times \sin 88° = 14{,}99 \sim 15\ kn$$

$$\alpha_1 = \frac{u_{pop}}{v} \times 60 = \frac{15}{90} \times 60 = 10°\ L$$

$$\theta_0 = \theta - \alpha_1 = 268° - 10° = 258°$$

Cessna 172 N zrakoplov je A kategorije i zato leti 1 min po zadanom kursu s mjerenjem vremena od početka zaokreta. Nakon zadanog vremena, zrakoplov se okreće u pravac 098°, kako bi letio u kursu 088° (isti proračun kao i maloprije). Nakon kratkog vremena, posada mora pratiti kazaljku VOR ili ILS prikaznika i izaći na zadani kurs 133°. Nabolje je zaokrenuti u kurs pri dolasku na radijal 5° prije zadanog. Također, u doletu na preletište je potrebno parirati vjetru, stoga će zadani pravac leta biti 140°.

$$u = 180°/15\ kn, v = 90\ kn, \theta = 133°, \theta_0 = ?, w = ?,$$

$$\beta = 47°\ \ u_{pop} = u \times \sin\beta = 10{,}97\ kn$$

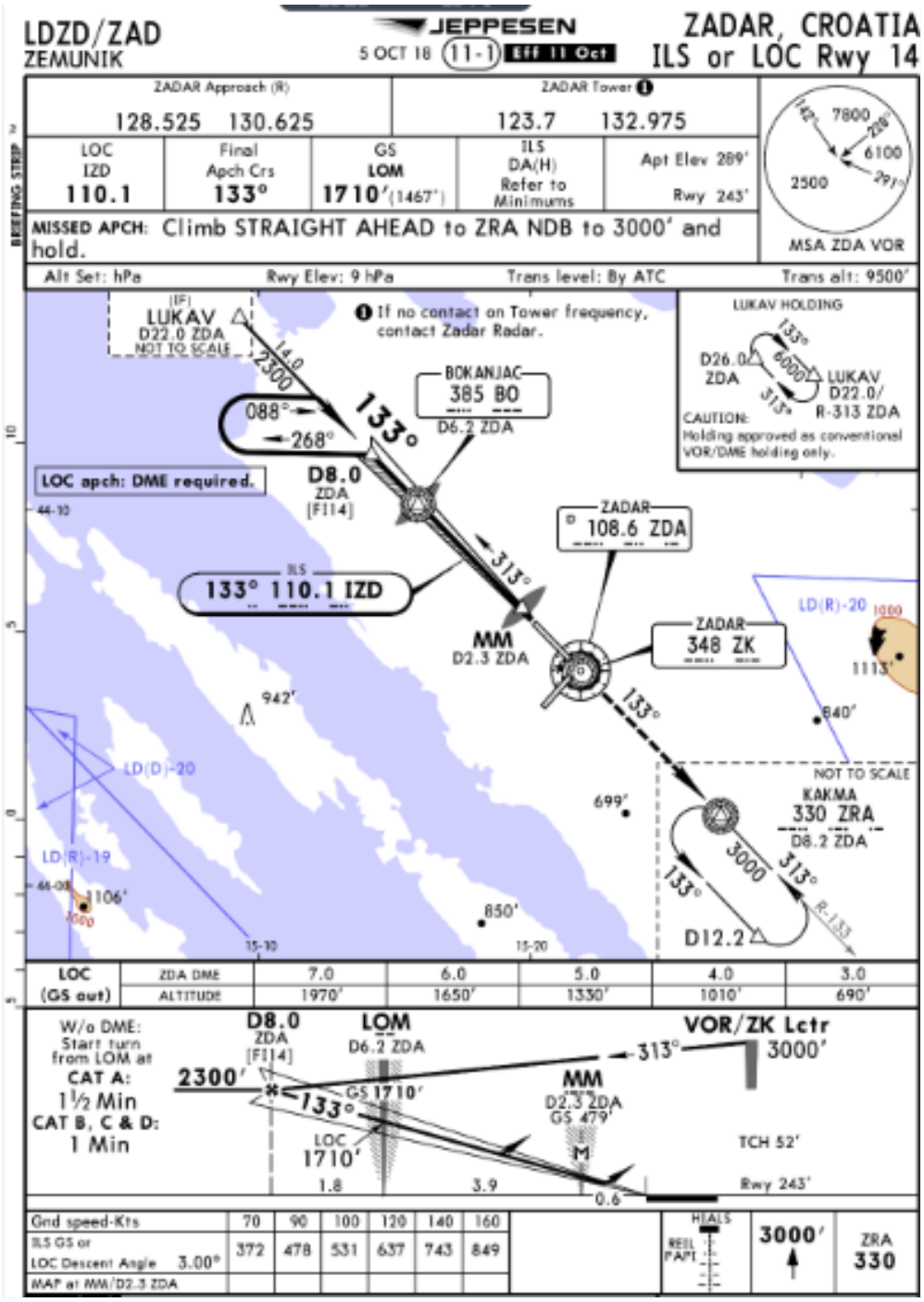
$$\alpha_1 = \frac{u\ pop}{v} \times 60 = \frac{10{,}97}{90} \times 60 = 7{,}31 \sim 7°\ R$$

$$\theta_0 = u \times \cos\beta = 15 \times \cos 47° = 10{,}22 \sim 10\ kn$$

$$w = v - u_{pop} = 90 - 10 = 80\ kn$$

$$\theta_0 = \theta + \alpha_1 = 133° + 7° = 140°$$

Dolaskom na završni kurs prilaženja, u ovom slučaju prije preletišta međuprilaženja (LUKAV), završava početni segment prilaženja. Zrakoplov dalje na D8.0 nastavlja završno prilaženje u zadanom kursu 133°, i zadanom brzinom silaženja 425 ft/min koja je dobivena aritmetičkom sredinom podataka iz tablice u lijevo donjem kutu slike 1.$v_{sil}\ 80 = \frac{v_{sil}\ 90 + v_{sil}\ 70}{2} = \frac{478+372}{2} = 425\ ft/min$



Slika 1. Prikaz postupka prilaženja ILS za uzletno-sletnu stazu 14 sa proceduralnim zaokretom 45º/180º u početnom segmentu prilaženja, [16]

6.2. Postupak prilaženja po DME luku za uzletno-sletnu stazu 04

Idući postupak koji se detaljnije razrađuje je postupak prilaženja po DME luku za prilaženje po VOR sredstvu za uzletno-sletnu stazu 04. Potreban je DME uređaj i VOR prikaznik za letenje ovog segmenta prilaženja. Za proračun, vjetar je iz smjera sjevera jačine 20 čvorova (360°/20kn), a zrakoplov dolazi na LCTR Kakma (ZRA 330 KHz). DME luk započinje na 2000 ft, iznad LCTR-a Kakma koji je na R-133 od VOR-a Zadar. Zrakoplov iz kursa 313º kojim leti direktno na sredstvo, mora zaokrenuti u početni kurs DME luka. Kako bi što točnije odletjeli DME luk, potrebno je podijeliti kutnu razliku između početnog i završnog prilaznog radijala na dijelove od 10° kutne razlike. Ovaj DME luk sastoji se od 8 takvih dijelova, pri čemu je zadnji dio manji, i iznosi 4° kutne razlike.

$$završni\ prilazni\ radijal - početni\ radijal = 207° - 133° = 74°$$

$$\frac{74°}{10} = 7.4 \sim 8\ dijelova\ luka$$

Za tih 8 dijelova pilot mora odrediti 8 kurseva kojima će održavati kutnu razliku od 90° od kursa leta prema radijalu na kojem se nalazi. Prvi kurs je 223° i zrakoplov leti u tom kursu od početnog R-133 do R-143. Na novom radijalu okreće u novi kurs 233° i u njemu leti sve do R-153. Ovaj postupak "Turn 10° Twist 10°" ponavlja se sve do završnog radijala R-207. Nakon što se izračunaju segmenti od 10° i njihovi kursevi, potrebno je uzeti u obzir utjecaj vjetra na brzinu i smjer leta. Pošto se kurs mijenja svakih 10° kutne razlike, potrebno je za svaki od osam dijelova izračunati potrebni pravac leta. Brzina ne dolazi do izražaja jer je put određen intervalom udaljenosti, to jest razlike između dvaju radijala, a ne vremenski.

Tablica 2. Kursevi i pravci leta za svaki ravni segment DME luka za uzletno-sletnu stazu 04 Zadar

Početni i završni radijal	Kurs leta (Course)	Pravac leta (HDG)
R-133 – R-143	233°	243°
R-143 – R-153	243°	254°
R-153 – R-163	253°	265°
R-163 – R-173	263°	276°
R-173 – R-183	273°	286°
R-183 – R-193	283°	296°
R-193 – R-203	293°	305°
R-203 – R-207	297°	308°

Na završnom radijalu R-207, zrakoplov se nalazi na 2000 ft, kurs je 297°, pravac leta je 309°, putna brzina je 84 kn i udaljenost od DME ZDA je 8.0 NM. U toj točki zrakoplov se okreće standardnim spuštajućim zaokretom u desno u završni prilazni kurs 042° za uzletno-sletnu stazu 04.

$$\varphi = \frac{v}{10} + 7 = \frac{90}{10} + 7 = 17°$$

$$\delta = 15°, h = 300\ ft, r = 8\ NM$$

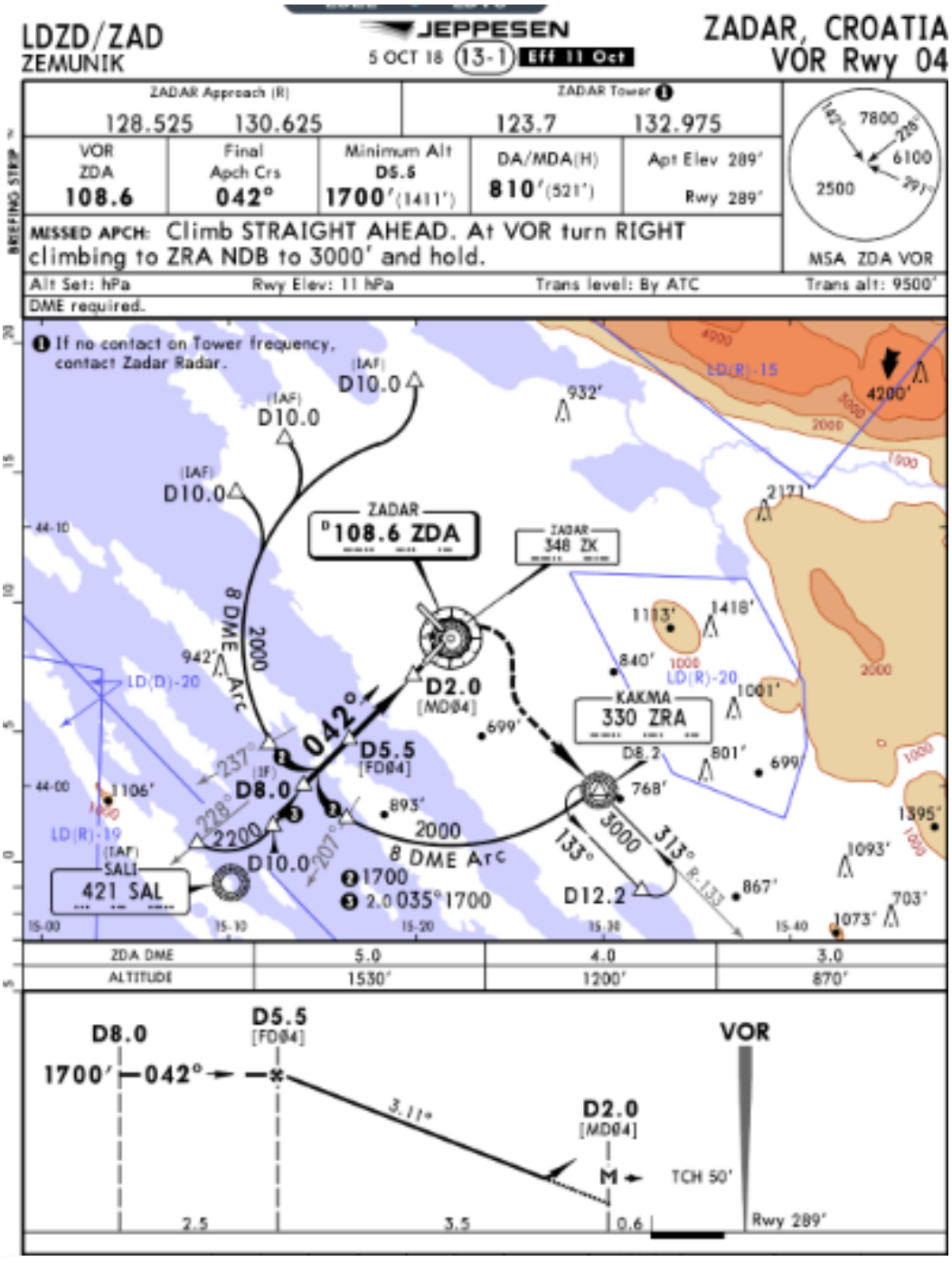
$$s = \tan\delta \times r = \tan 15° \times 8 = 2{,}14\ NM$$

$$w = v - u_{uzd} = v - (\cos\beta \times u) = 90 - (\cos 42° \times 20) = 75{,}14 \sim 75\ kn$$

$$t = \frac{s}{w} \times 60 = \frac{2.14}{75} \times 60 = 1{,}71 = 1\ \text{min}\ 43\ s$$

$$v_{sil} = \frac{h}{t} = \frac{300}{1{,}71} = 175{,}44 \sim 175\ ft/min$$

Preletište međuprilaza (IF) je D8.0 na završnom kursu prilaženja gdje završava početni segment prilaženja i započinje segment međuprilaženja.



Slika 2. Prikaz postupka prilaženja po VOR sredstvu za uzletno-sletnu stazu 04 sa DME lukom u početnom segmentu prilaženja, [16]

7.PROCEDURE U POČETNOM SEGMENTU PRILAŽENJA ZA ZRAČNU LUKU RIJEKA

Drugi primjer za letenje postupaka u početnom segmentu prilaženja je zračna luka Rijeka na otoku Krku kraj Omišlja. Međunarodna luka, pomalo u sjeni prometnijih, a relativno blizu udaljenih, zračnih luka u Zagrebu i Puli. Ova luka koristi se kao primjer radi produljenog postupka u prilaženju za uzletno-sletnu stazu 14 i osnovnog zaokreta u prilaženju za uzletno-sletnu stazu 32. Sa ova dva postupka se zaokružuje cjelina sva četiri moguća postupka u početnom segmentu prilaženja.

Zračna luka Rijeka je na nadmorskoj visini od 85 m, a sastoji se od jedne uzletno-sletne staze koja se pruža u smjeru 14/32 (143º/323º), a duljine je 2488 m i širine 45 m. Elevacija praga uzletno-sletne staze 14 je 264 ft, a praga uzletno-sletne staze 32 je 246 ft. Uzletno-sletna staza je opremljena sa obje strane sa svjetlima za precizni prilaz i slijetanje I. kategorije.

Zračna je luka otvorena za promet 1970. godine, a registrirana je za komercijalni civilni promet i školovanje letačkog osoblja. Redovna linija je jedino od Croatie Airlines koja leti za Osijek, Split i Dubrovnik. Ostale linije sezonskog su karaktera, najviše u ljetnom periodu.

7.1. Postupak prilaženja s produljenim postupkom za uzletno-sletnu stazu 14

Prvi postupak koji se obrađuje na aerodromu Rijeka produljeni je postupak za ILS, VOR i LCTR prilaženje za uzletno-sletnu stazu 14. Za proračun koristi se vjetar iz smjera juga jačine 20 čvorova (180°/20kn). Početni segment prilaženja za uzletno-sletnu stazu 14 započinje preletom Breza NDB sredstva (BRZ 400 KHz) na visini 6400 ft. Pretpostavka je da je zrakoplov doletio do sredstva na 8000 ft i odradio adekvatni spuštajući ulazak u krug čekanja (ovisno o smjeru dolaska na sredstvo) i da trenutno okreće u pravac 325° iznad sredstva. U ovom slučaju, produljeni postupak omogućava i smanjenje apsolutne visine sa 6400 ft na 4600 ft, i uspostavljanje doletne putanje na 145° do BRZ NDB i 138° nakon. Također, pustupak nije vremenski definiran, već je uzeta određena DME udaljenost (D19.3) od određenog sredstva, u ovom slučaju VOR/DME Rijeka (RJK 117.8 MHz).

Zrakoplov zaokreće u pravac 317° zbog utjecaja vjetra.

$$\beta = 325° - 180° = 145°, \qquad pošto\ je\ 145° > 90° \rightarrow \beta = 180° - 145° = 35°$$

$$u_{pop} = \sin\beta \times u = \sin 35° \times 20 = 11{,}47\ kn$$

$$\alpha_1 = \frac{u_{pop}}{v} \times 60 = \frac{11{,}47}{90} \times 60 = 7{,}33 \sim 7°\ L$$

$$\theta_0 = \theta - \alpha_1 = 325° - 7° = 317°$$

$$w = v + u_{uzd} = v + \cos\beta \times u = 90 + \cos 35° \times 20 = 106{,}38 \sim 106\ kn$$

S obzirom da produljeni postupak nije definiran vremenski, već udaljenošću, nije potrebno raditi korekcije za vrijeme, ali čimbenik brzine utječe na potrebnu brzinu silaženja za dani postupak. Za doletni kurs 145° korekcija za vjetar je ista samo u suprotnu stranu (udesno), smjer leta je 153°, a putna brzina je 74 kn (proračun je isti). Brzina opet utječe samo na brzinu silaženja,a ne na vrijeme jer zrakoplov leti do sredstva.

Proračun za brzinu silaženja bio bi manje zahtjevan da nema određene visine iznad DME udaljenosti D19.3 od 5600 ft. Da tog uvjeta nema, mogli bi zanemariti utjecaj vjetra jer je on jednakog iznosa za oba kursa, ali suprotnog utjecaja. Ali, uvjet visine postoji, i zato je potrebno izračunati dvije brzine silaženja:

1. Od BRZ do D19.3 pri čemu zrakoplov mora izgubiti 800 ft.
2. Od D19.3 DO BRZ pri čemu zrakoplov mora izgubiti 1000 ft.

Važna stavka je da su oba zaokreta u postupku horizontalna i ne ulaze u proračun. Prva brzina silaženja iznosi 329 ft/min, a druga 286 ft/min.

1. $w = 106\ kn,\ s = 4.3\ NM,\ h = 800\ ft,\ v_{sil} =?$

$$t = \frac{s}{w} \times 60 = \frac{4.3}{106} \times 60 = 2{,}43 = 2\ \text{min}\ 26\ s$$

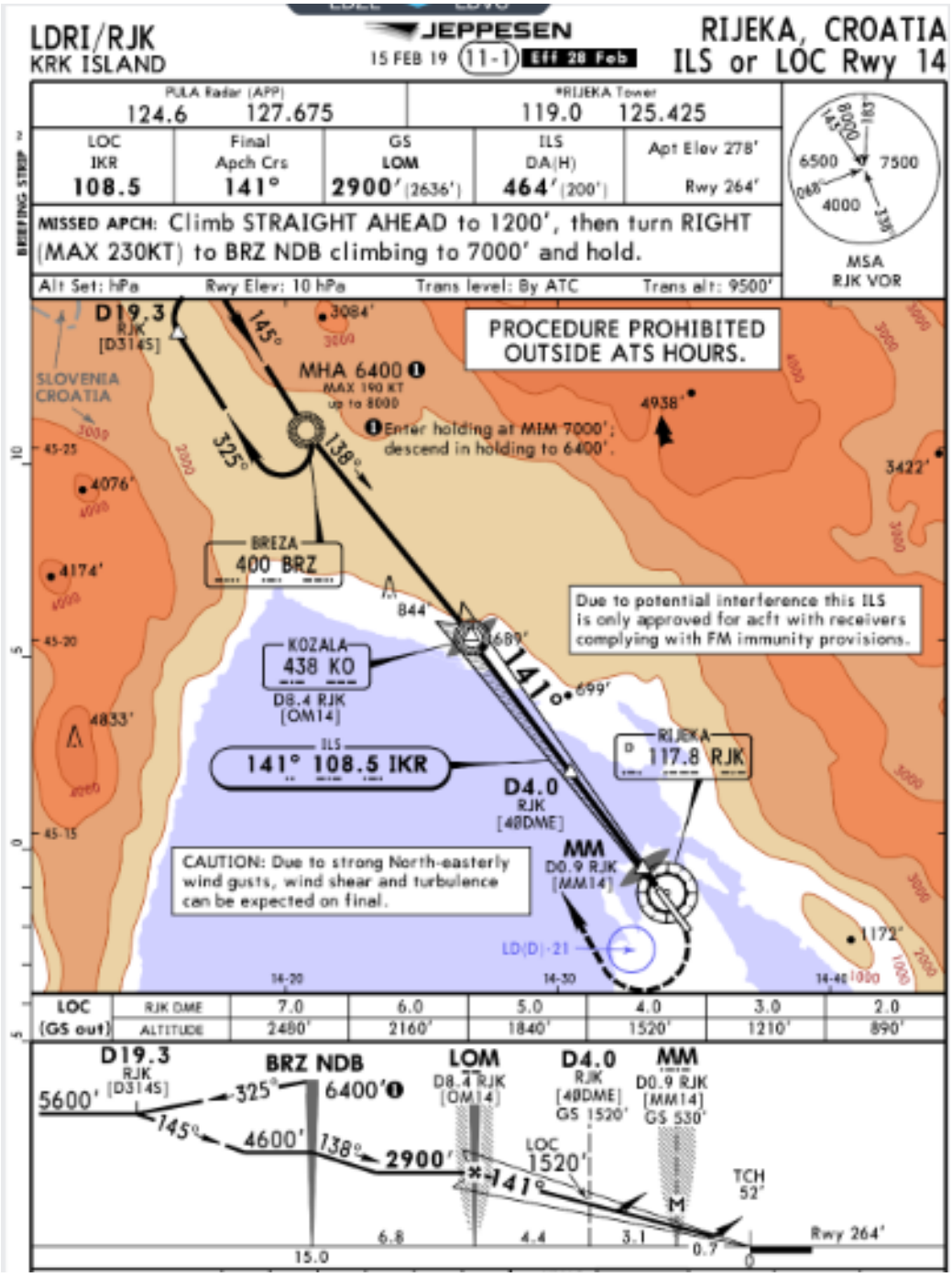
$$v_{sil} = \frac{h}{t} = \frac{800}{2{,}43} = 329{,}22 \sim 329\ ft/min$$

2. $w = 74\ kn,\ s = 4{,}3\ NM, h = 1000\ ft, v_{sil} =?$

$$t = \frac{s}{w} \times 60 = \frac{4{,}3}{74} \times 60 = 3{,}49 = 3\ \text{min}\ 24\ s$$

$$v_{sil} = \frac{h}{t} = \frac{1000}{3{,}49} = 286{,}53 \sim 286\ ft/min$$

Nakon produljenog postupka zrakoplov se nalazi iznad sredstva BRZ NDB na visini 4600 ft i približno u smjeru uzletno-sletne staze. Nakon preleta mijenja kurs u 138° i započinje završni segment prilaženja za slijetanje.



Slika 3. Prikaz postupka prilaženja ILS za uzletno-sletnu stazu 14 sa produljenim postupkom u početnom segmentu prilaženja, [16]

7.2. Postupak prilaženja s osnovnim zaokretom za uzletno-sletnu stazu 32

Drugo prilaženje koje se razrađuje na aerodromu Rijeka je VOR, LCTR Z i LCTR Y za uzletno-sletnu stazu 32. Opisan je obvezatni krug čekanja i osnovni zaokret u VOR postupku za uzletno-sletnu stazu 32. Za proračun koristi se vjetar iz smjera sjevera jačine 20 čvorova (360°/20kn). Zrakoplov započinje početni segment prilaženja na LCTR sredstvu Rijeka (RI 289 KHz) na visini 5000 ft. Pretpostavka je da je zrakoplov doletio na sredstvo na 6000 ft i odradio adekvatni spuštajući ulazak u krug čekanja (ovisno o smjeru dolaska na sredstvo) i da trenutno okreće u kurs leta 321° iznad sredstva.

Zrakoplov zaokreće u pravac 345° zbog utjecaja vjetra.

$$\beta = 360° - 321° = 39°, u_{pop} = \sin\beta \times u = \sin 39° \times 20 = 12{,}59\ kn$$

$$\alpha_1 = \frac{u_{pop}}{v} \times 60 = \frac{12{,}59}{90} \times 60 = 8{,}39 \sim 8°\ R$$

$$Trostruka\ ispravka\ za\ odletni\ kurs \rightarrow 3 \times 8 = 24°\ R$$

$$\theta_0 = \theta + \alpha_1 = 321° + 24° = 345°$$

Putna brzina iznosit će 74 kn.

$$w = v - u_{uzd} = v - (\cos\beta \times u) = 90 - (\cos 39° \times 20) = 74{,}46 \sim 74\ kn$$

Vremenski interval trajanja odletne putanje je 1 min kada nema vjetra. Pravilo glasi da se za svaki 1 kn čeonog vjetra, odletna putanja produlji za 1 s, a za svaki 1 kn leđnog vjetra, odletna putanja skrati se za 1 s. U ovom slučaju odletna putanja produljuje se za 16 s, znači ukupno vremensko trajanje odletne putanje je 1 min i 16 s. Nakon 1 min i 16 s zrakoplov okreće u doletnu putanju u pravac 133° kako bi zadržao kurs 141°.

$$\alpha_1 = 8°\ L, \qquad \theta_0 = \theta - \alpha_1 = 141° - 8° = 133°$$

Putna brzina iznosi 106 kn jer je iznos vjetra isti, samo je u ovom slučaju leđna, a ne čeona komponenta.

$$w = v + u_{uzd} = 90 + 16 = 106\ kn$$

Stoga se doletna putanja skraćuje za 16 s i iznosi 44 s (primjena istog pravila kao i kod odletne).

Zrakoplov za vrijeme kruga čekanja mora spustiti s 5000 ft na 4200ft, to jest mora spustiti 800 ft. Trajanje cjelokupnog postupka kruga čekanja je 4 min, odletna putanja traje 1 min i 16 s, doletna 44 s i dva standardna zaokreta od 180° što ukupno traje 2 min (standardni 360° zaokret je dvominutni). Brzina silaženja iznosit će 200 ft/min.

$$v_{sil} = \frac{h}{t} = \frac{5000 - 4200}{1\,\text{min}\,16\,sec + 44\,sec + 2 \times 1\,min} = 200\,ft/min$$

Pri završetku postupka kruga čekanja, zrakoplov se nalazi iznad lokatora Rijeka (LCTR RI 289KHz) u kursu 141° na visini 4200 ft. U tom trenutku započinje osnovni zaokret od 20° u desno. S obzirom da su svi primjeri bazirani na zrakoplovu C 172 N, koji spada u a A kategoriju zrakoplova, potrebno je zaokrenuti zrakoplov u kurs 161°. Zbog utjecaja vjetra, potrebno je letjeti u pravcu 157°.

$$\beta = 360° - 161° = 199°, \qquad pošto\ je\ 199° > 90° \rightarrow \beta = 199° - 180° = 19°$$

$$u_{pop} = \sin\beta \times u = \sin 19° \times 20 = 6{,}51\,kn$$

$$\alpha_1 = \frac{u_{pop}}{v} \times 60 = \frac{6{,}51}{90} \times 60 = 4{,}34 \sim 4°\,L$$

$$\theta_0 = \theta - \alpha_1 = 161° - 4° = 157°$$

Ovaj osnovni zaokret definiran je preletištem to jest DME udaljenošću, stoga nema vremenskih korekcija zbog utjecaja vjetra. Opet je potrebno računati dvije brzine silaženja jer je zaokret na zadani kurs na određenoj visini. Također, zaokret je horizontalan stoga ne ulazi u proračun za brzinu silaženja. Za odletnu putanju brzina silaženja iznosi 474 ft/min.

$$h = 1200\,ft, v = 90\,kn, u = 360°/20kn, s = 4{,}6\,NM, \beta = 19°, v_{sil} = ?$$

$$u_{uzd} = \cos\beta \times u = \cos 19° \times 20 = 18{,}91 \sim 19\,kn$$

$$w = v + u_{uzd} = 90 + 19 = 109\,kn$$

$$t = \frac{s}{w} \times 60 = \frac{4{,}6}{109} \times 60 = 2{,}53 = 2\,\text{min}\,32\,s$$

$$v_{sil} = \frac{h}{t} = \frac{1200}{2{,}53} = 474{,}31 \sim 474\,ft/min$$

Na D11.0 zrakoplov je potrebno horizontalno zaokrenuti na visini 3000 ft u lijevo i izaći na završni kurs 322°. Cijelo vrijeme zrakoplov ne smije prijeći udaljenost D14.0 od odabranog sredstva. Kako bi se održao taj kurs potrebno je letjeti pravac leta 330°.

$$\beta = 360° - 322° = 38°$$

$$u_{pop} = \sin\beta \times u = \sin 38° \times 20 = 12.31\ kn$$

$$\alpha_1 = \frac{u_{pop}}{v} \times 60 = \frac{12{,}31}{90} \times 60 = 8{,}21 \sim 8°\ R$$

$$\theta_0 = \theta + \alpha_1 = 322° + 8° = 330°$$

Također nakon horizontalnog zaokreta i povratka na udaljenost D11.0 potrebno je nastaviti spuštanje do LCTR-a RI do visine 2000 ft. Stoga zrakoplov mora imati brzinu silaženja 268ft/min.

$$h = 1000\ ft, v = 90\ kn, u = 360°/20kn, s = 4{,}6\ NM, \beta = 38°, v_{sil} = ?$$

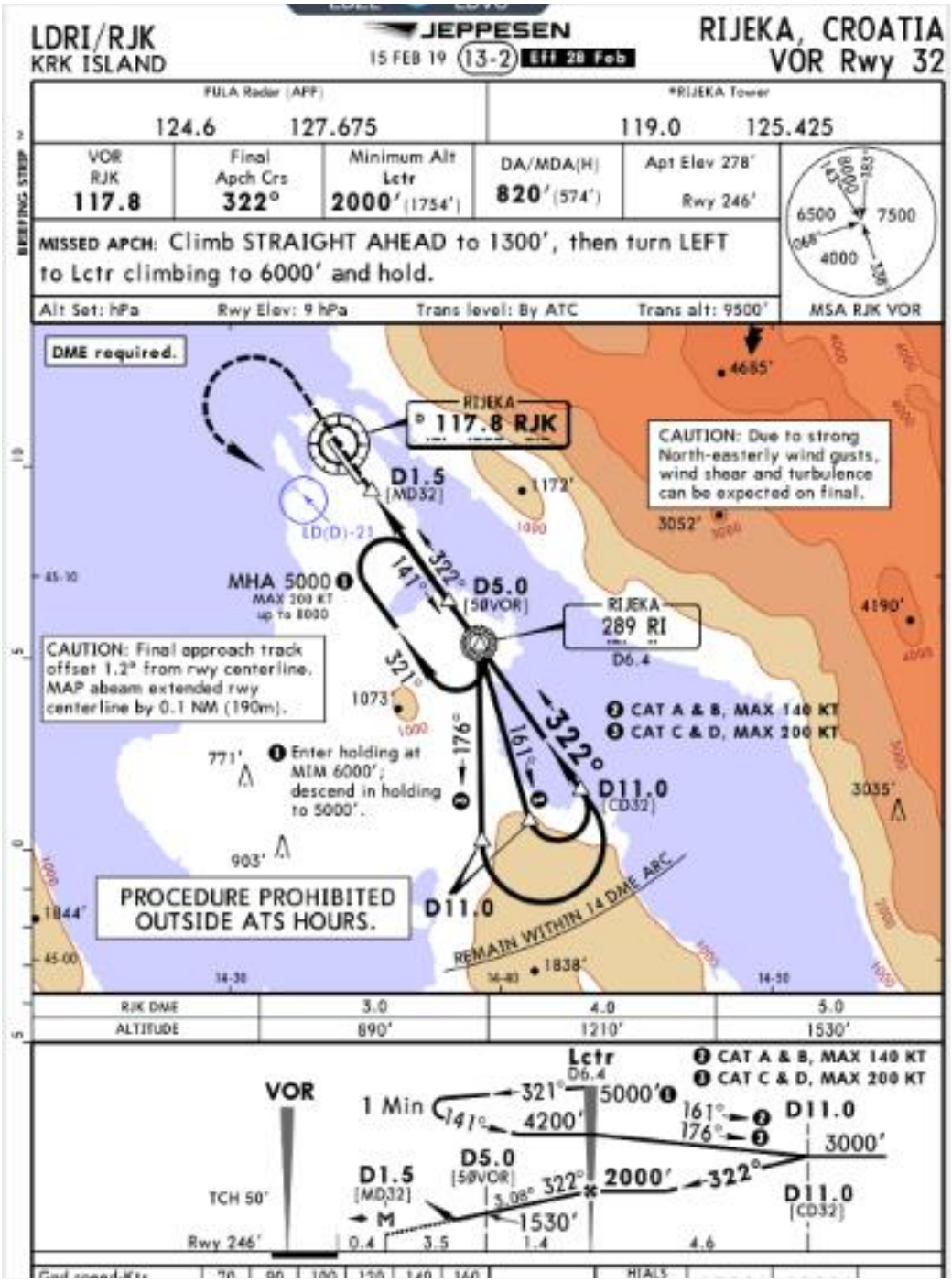
$$u_{uzd} = \cos\beta \times u = \cos 38° \times 20 = 15{,}76 \sim 16\ kn$$

$$w = v - u_{uzd} = 90 - 16 = 74\ kn$$

$$t = \frac{s}{w} \times 60 = \frac{4{,}6}{74} \times 60 = 3{,}73 = 3\ \text{min}\ 44\ s$$

$$v_{sil} = \frac{h}{t} = \frac{1000}{3{,}73} = 268{,}10 \sim 268\ ft/min$$

Početni segment završava dolaskom na LCTR RI na 2000 ft i u završnom kursu 322°, nakon čega započinje završni segment prilaženja.



Slika 4. prikaz postupka prilaženja po VOR sredstvu za uzletno-sletnu stazu 32 sa osnovnim zaokretom u početnom segmentu prilaženja, [16]

8. ZAKLJUČAK

Najzahtjevnija faza letenja u instrumentalnom letenju je instrumentalno prilaženje. Zrakoplov koji se nalazi u instrumentalnom prilaženju ima izvučeno podvozje potrebno za slijetanje i zakrilca potrebna za održavanje uzgona pri malim brzinama leta. Takva konfiguracija, loši meteorološki uvjeti, brzina blizu kritične brzine, umor posade od dosadašnjeg leta i radno opterećenje posade u prilaženju, samo potvrđuju tezu da je instrumentalno prilaženje zahtjevan i kompleksan postupak.

Postupci instrumentalnog prilaženja obrađeni su teorijski. Prvo su podijeljeni s obzirom na radionavigavijsku pomoć na precizne i neprecizne postupke prilaženja. Druga je podjela na pet segmenta postupka instrumentalnog prilaženja gdje se poseban naglasak stavlja na početni segment. Taj segment, kao glavna vodilja ovog rada obrađen je i teorijski i praktično. Navedena su i definirana tri glavna postupka kada zrakoplov nije u dolaznom segmentu u kursu koji je definiran za međuprilaženje. To su postupci: povratni postupak, produljeni postupak i DME luk.

Praktično je prikazan postupak letenja procedura u početnom segmentu prilaženja za hrvatske međunarodne zračne luke Zadar i Rijeka. Prikazani su proračuni za proceduralni zaokret 45º/180º i DME luk za zračnu luku Zadar i produljeni postupak i osnovni zaokret za zračnu luku Rijeka, zajedno sa Jeppesenovim kartama tih prilaza i na temelju performansi zrakoplova Cesnna 172 N. Uz zadane parametre za odabrani zrakoplov (masa: 2300 lb, putna brzina: 90 kn), navedene jačine vjetra za svaki primjer i podatke dobivene u Jeppesenovim kartama, proračunata su tri glavna parametra za svaki postupak prilaženja:

- putna brzina (engl. *Groundspeed* ili GS)
- pravac leta (engl. *Heading* ili HDG)
- brzina silaženja (engl. *Rate Of Descent* ili ROD)

Sa ova tri podatka, definirana je trodimenzionalna slika zrakoplova u svakom trenutku u početnom segmentu prilaženja za slijetanje na određenu uzletno-sletnu stazu.

POPIS LITERATURE

[1] Novak, D. Zrakoplovna prostorna navigacija. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 2015.

[2]Preuzeto sa: https://www.ivao.aero/training/documentation/books/spp_apc_holding_procedure.pdf, Holding procedure, [Pristupljeno: srpanj 2019.]

[3] International Civil Aviation Organisation: aicraft operations. Volume II. Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, 5th edition; 2006.

[4] Preuzeto sa: https://www.skybrary.aero/index.php/Instrument_Landing_System_(ILS), ILS, [Pristupljeno: svibanj 2019.]

[5] Preuzeto sa: https://www.cfinotebook.net/notebook/avionics-and-instruments/microwave-landing-system, MLS, [Pristupljeno: kolovoz 2019.]

[6] Preuzeto sa: https://en.wikipedia.org/wiki/Precision_approach_radar, PAR, [Pristupljeno: svibanj 2019.]

[7] Preuzeto sa: https://flyuk.aero/assets/downloads/resources/flying_club/sep_adf_ndb/ndb_approaches.pdf, NDB Approaches, [Pristupljeno: kolovoz 2019.]

[8] Preuzeto sa: http://bob-cfi.weebly.com/uploads/7/6/9/3/7693240/vor_approaches, VOR Approaches, [Pristupljeno: kolovoz 2019.]

[9] Preuzeto sa:

http://dictionary.dauntless-soft.com/definitions/groundschoolfaa/Feeder+Route, Feeder, Route, [Pristupljeno: svibanj 2019.]

[10] Preuzeto sa: http://aviation_dictionary.enacademic.com/3873/intermediate_approach_segment, Intermediate Approach Segment, [Pristupljeno: srpanj 2019.]

[11] International Civil Aviation Organisation: Aicraft Operations. Volume I. Flight Procedures, 5th edition; 2006.

[12] Preuzeto sa: http://code7700.com/course_reversals.html, Course Reversal (Reversal Procedure), [Pristupljeno: lipanj 2019.]

[13] Preuzeto sa: https://aviationglossary.com/base-turn/, Base Turn, [Pristupljeno: lipanj 2019.]

[14] Preuzeto sa:http://aviation_dictionary.enacademic.com/5469/racetrack_procedure, Racetrack Procedure, [Pristupljeno: lipanj 2019.]

[15] Novak, D. Zrakoplovna računska navigacija. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 2012.

[16] Jeppesen Aplication. Approach chart (APP) for airport LDZD and LDRI; 2019.

POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz postupka prilaženja ILS za uzletno-sletnu stazu 14 sa proceduralnim zaokretom 45º/180º u početnom segmentu prilaženja, [16] 30
Slika 2. Prikaz postupka prilaženja po VOR sredstvu za uzletno-sletnu stazu 04 sa DME lukom u početnom segmentu prilaženja, [16] 33
Slika 3. Prikaz postupka prilaženja ILS za uzletno-sletnu stazu 14 sa produljenim postupkom u početnom segmentu prilaženja, [16] 36
Slika 4. prikaz postupka prilaženja po VOR sredstvu za uzletno-sletnu stazu 32 sa osnovnim zaokretom u početnom segmentu prilaženja, [16] 40

POPIS TABLICA

Tablica 1. Apsolutna visina nadvisivanja prepreka za postupak kruženja 8
Tablica 2. Kursevi i pravci leta za svaki ravni segment DME luka za uzletno-sletnu stazu 04 Zadar 32

POPIS KRATICA

ASR	(Approach Surveillance Radar) Nadzorni radar za prilaženje
ADF	(Automatic Direction Finder) Automatski pronalazač smjera
DA/H	(Decision Altitude/Height) Apsolutna Visina odluke/Visina odluke
DME	(Distance Measuring Equipment) Uređaj za mjerenje udaljenosti
FAF	(Final Approach Fix) Preletište završnog prilaženja kod nepreciznih prilaza
FAP	(Final Approach Point) Preletište završnog prilaženja kod preciznih prilaza
IAF	(Initial Approach Fix) Preletište početnog prilaženja
ICAO	(International Civil Aviation Organisation) Međunarodna organizacija za civilno zrakoplovsto
IF	(Intermediate Fix) Preletište međuprilaženja
ILS	(Instrument Landing System) Sustav za precizno prilaženje
LCTR	(Locator) Lokator
LLZ	(Localizer) Odašiljač usmjerivača pravca prilaženja
MAP	(Missed Approach Point) Točka neuspjelog prilaženja
MDA	(Minimum Descent Altitude) Minimalna apsolutna visina snižavanja
MLS	(Microwave Landing System) Mikrovalni sustav za precizno prilaženje
MSA	(Minimum Sector Altitude) Minimalna sektorska visina
NDB	(Non-directional Beacon) Neusmjereni radio far
PAR	(Precision Approach Radar) Radar za precizno prilaženje
RVR	(Runway Visual Range) Horizontalna vidljivost uzduž staze

POPIS SIMBOLA

h	visina (engl. Height)
u_{pop}	komponenta brzine vjetra u odnosu na poprečnu os zrakoplova (engl. Cross Wind Component ili CWC)
$-u_{uzd}$	čeona komponenta vjetra (engl. Head Wind Component ili HWC)
$+u_{uzd}$	leđna komponenta vjetra (engl. Tail Wind Component ili TWC)
v	stvarna brzina leta zrakoplova (engl. True Air Speed ili TAS)
v_{sil}	brzina silaženja (engl. Rate Of Descent ili ROD)
w	putna brzina leta zrakoplova (engl. Ground Speed ili GS)
α_1	kut ispravke (engl. Correction Angle ili CA)
β	upadni kut vjetra (engl. Relative Wind Angle ili RWA)
δ	kut između dva radijala
φ	kut bočnog nagiba (engl. Bank Angle)
θ	kurs leta (engl. Course)
θ_0	pravac leta (engl. Heading ili HDG)

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 **Dizajn navigacijske procedure u segmentu početnog prilaženja za slijetanje** na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 2.9.2019

Student/ica:

(potpis)