

Operativna primjena standardnih dolaznih postupaka u završnom kontroliranom području

Tufegdžić, Marko

Master's thesis / Diplomski 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:119:499761>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-19**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Marko Tufegdžić

**OPERATIVNA PRIMJENA STANDARDNIH DOLAZNIH
POSTUPAKA U ZAVRŠNOM KONTROLIRANOM PODRUČJU**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2019.

Zagreb, 5. travnja 2018.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**
Predmet: **Avionika i IFR letenje**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 4925

Pristupnik: **Marko Tufegdžić (0135228993)**
Studij: **Aeronautika**

Zadatak: **Operativna primjena standardnih dolaznih postupaka u završnom kontroliranom području**

Opis zadatka:

Uvod. Objasniti osnovne principe konstruiranja dolaznih postupaka u završnoj kontroliranoj zoni. Povezivanje dolazne i prilazne procedure. Elementi za konstrukciju postupaka i procedura. Prikaz sustava za upravljanje i vođenje leta zrakoplova. Osnovni elementi za određivanje i proračun performansi leta mlaznog zrakoplova (MRJT). Primjena proračuna za zrakoplov Boeing 737-800W. Proračun vremena trajanja leta i utrošenog goriva prema definiranim scenarijima. Zaključak.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

prof. dr. sc. Doris Novak

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

DIPLOMSKI RAD

**OPERATIVNA PRIMJENA STANDARDNIH DOLAZNIH
POSTUPAKA U ZAVRŠNOM KONTROLIRANOM PODRUČJU**

***OPERATIONAL APPLICATION OF STANDARD ARRIVAL
PROCEDURES IN TERMINAL CONTROL AREA***

Mentor: prof. dr. sc. Doris Novak

Student: Marko Tufegdžić
JMBAG: 0135228993

Zagreb, rujan 2019.

SAŽETAK

Prostorna navigacija (RNAV) omogućila je znatne uštede u trajanju leta i potrošnji goriva u komercijalnom zračnom prijevozu. Eksponencijalni porast zračnoga prometa postavlja dodatne zahtjeve prilikom optimizacije zračnoga prostora. Uvođenjem navigacije bazirane na performansama zrakoplova (PBN) nastoji se provesti optimizacija i implementirati modernije tehnologije prilaza zrakoplova za instrumentalno slijetanje. Hrvatska kontrola zračne plovidbe definirala je projekt implementacije RNAV i RNP postupaka za sve međunarodne zračne luke u Republici Hrvatskoj. Iako su elementi za konstrukciju tih procedura poznati, operativni dio nije (dosad nisu bile u uporabi). Zračna luka Dubrovnik treća je po veličini i bilježi kontinuiran porast prometa. Uz to, prva je uvela prilaz zrakoplova po satelitima GNSS/GPS. Trenutno je u procesu uvođenja PBN zrakoplovnih navigacijskih postupaka za standardne instrumentalne dolaske (STAR), te se izvode provjere u zraku radi validacije istih.

KLJUČNE RIJEČI: prostorna navigacija (RNAV); navigacija bazirana na performansama (PBN); zahtijevana navigacijska sposobnost (RNP); globalni navigacijski satelitski sustav (GNSS); globalni pozicijski sustav (GPS); standardni instrumentalni dolazak (STAR)

SUMMARY

Implementation of area navigation (RNAV) has led to significant reduction of flight times and fuel burn in commercial air transport. Exponential growth of the air traffic places additional demands in terms of airspace optimization. A great example of it is a performance-based navigation (PBN) along with introduction of a new and modern instrument approach procedures. Air navigation services provider in Croatia, Croatia Control, has defined an implementation project for RNAV and RNP procedures at all international airports within the country. Although criteria for the construction of these procedures is published and the operational procedures recommended, they still need to be validated in the air. Dubrovnik is the third busiest airport in Croatia with continuous traffic growth and was the first to introduce satellite-based approach system GNSS/GPS. Significant effort is being made at the moment to validate PBN procedures for standard instrument arrivals (STARs).

KEYWORDS: *area navigation (RNAV); required navigation performance (RNP); performance-based navigation (PBN); global navigation satellite system (GNSS); global positioning system (GPS); standard instrument arrival (STAR)*

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. DOLAZNE I PRILAZNE PROCEDURE | 2 |
| 2.1. Segmenti instrumentalnoga prilaženja..... | 3 |
| 2.2. Osnovni elementi za izradu postupaka i procedura | 5 |
| 2.2.1. Dolazni segment..... | 8 |
| 2.2.2. Segment početnoga prilaženja | 10 |
| 2.2.3. Segment međuprilaženja | 13 |
| 2.2.4. Segment završnoga prilaženja..... | 17 |
| 2.2.5. Segment neuspjeloga prilaženja..... | 19 |
| 3. PRIMJENA PBN POSTUPAKA UNUTAR ZAVRŠNOG KONTROLIRANOG PODRUČJA..... | 24 |
| 3.1. PBN koncept | 25 |
| 3.2. Proces implementacije | 28 |
| 3.3. Vrste PBN prilaza | 30 |
| 3.4. Operativni postupci prilikom izvođenja PBN operacija | 31 |
| 3.4.1. Planiranje leta..... | 31 |
| 3.4.2. Informiranje u letu | 36 |
| 3.4.3. Neuspjelo prilaženje..... | 40 |
| 3.4.4. Korekcija visine zbog utjecaja niske temperature | 41 |
| 4. SUSTAV ZA UPRAVLJANJE I VOĐENJE LETA ZRAKOPLOVA..... | 44 |
| 4.1. Općenito o sustavu..... | 45 |
| 4.2. Način rada | 49 |
| 4.2.1. Utvrđivanje pozicije..... | 50 |
| 4.2.2. Navigacijska sposobnost..... | 52 |
| 4.2.3. Postupci prilaženja uz kontrolu bočnog odstupanja (LNAV)..... | 55 |
| 4.2.4. Funkcija vođenja u vertikalnoj ravnini (VNAV)..... | 55 |
| 4.3. Prednosti i nedostaci | 56 |
| 5. OSNOVNI ELEMENTI ZA ODREĐIVANJE I PRORAČUN PERFORMANSI MLAZNOGA ZRAKOPLOVA..... | 58 |
| 6. ZAKLJUČAK..... | 65 |
| LITERATURA | 67 |
| POPIS ILUSTRACIJA | 69 |

1. UVOD

U ovom diplomskom radu cilj je prikazati mogućnost uspješnog izvođenja dolazne i prilazne procedure na primjeru staze 11 aerodroma Dubrovnik. Navedeni aerodrom je prvi u Republici Hrvatskoj na kojemu je implementiran RNAV prilaz temeljen na satelitima GNSS/GPS, što postaje temelj zrakoplovne navigacije i PBN koncepta. Trenutno je objavljena privremena dolazna RNAV procedura, koja služi za izvođenje provjera iz zraka (postupak validacije od strane odobrenih operatora). Prema izvorima iz Hrvatske kontrole zračne plovidbe, do kraja 2019. planira se potpuna implementacija navedene procedure.

U drugom poglavlju prikazani su i definirani segmenti instrumentalnoga prilaženja, te osnovni elementi prilikom njihove izrade. Unutar rada nisu uključeni kriteriji za izradu procedure za kategoriju zrakoplova H (helikopteri), te dodatni kriteriji koji postoje kod izrade RNAV procedura.

Treće poglavlje koncentrira se na primjenu PBN koncepta unutar završnog kontroliranog područja (engl. *Terminal control area*, TMA). Ukratko je opisan koncept, te glavne prednosti. Također, prikazani su koraci prilikom procesa implementacije PBN-a unutar TMA. Na kraju poglavlja navedeni su operativni postupci prilikom izvođenja PBN procedura u dolasku, od prijelazne pripreme do slijetanja.

Zatim slijedi opis i način rada sustava za upravljanje i vođenje leta zrakoplova u četvrtome poglavlju. Navedeni sustav jedan je od najbitnijih u pogledu navigacije. Uz to, omogućava izvođenje PBN operacija i sadrži mnoge druge funkcije koje znatno smanjuju radnu opterećenost letачke posade.

U petom poglavlju prikazani su proračuni potrebnoga vremena i količine goriva za izvođenje dolazne i prilazne RNAV procedure na primjeru staze 11 aerodroma Dubrovnik. Za proračune se koristila postojeća prilazna RNAV karta za stazu 11, te dolazna RNAV karta koja trenutno nije službeno u upotrebi, već služi za validaciju same procedure. Navedeni proračuni su prikazani na primjeru putničkoga zrakoplova Boeing 737-800W, uz korištenje simulatora i primjenu teorijskih proračuna.

2. DOLAZNE I PRILAZNE PROCEDURE

Preporuke i kriteriji prilikom izrade dolaznih i prilaznih procedura, te operativnih procedura, propisani su od strane Međunarodne organizacije civilnog zrakoplovstva (engl. *International civil aviation organization*, ICAO) unutar dokumenta ICAO Doc 8168 Procedure za usluge u zračnoj plovidbi – Operacije zrakoplova (engl. *ICAO Doc 8168 Procedures for air navigation services – Aircraft operations*, PANS-OPS). Dokument je podijeljen u dva dijela:

1. svezak - Letne procedure (engl. *Volume I – Flight procedures*)
2. svezak - Izrada procedura za vizualno i instrumentalno letenje (engl. *Volume II - Construction of visual and instrument flight procedures*) [1].

U prvom svesku navedene su preporučene operativne procedure u svrhu usmjeravanja letačkog osoblja i osoblja zaduženog za letačke operacije. Također, opisani su različiti parametri prema kojima su bazirani kriteriji za izradu procedura u drugome svesku, s naglaskom na važnost pridržavanja objavljenim procedurama u svrha postizanja i održavanja prihvatljive razine sigurnosti.

Drugi svezak služi kao smjernica stručnjacima koji se bave izradom procedura. U njemu su opisana ključna područja i zahtjevi prilikom nadvisivanja prepreka, radi pravilnog i sigurnog izvršavanja instrumentalnih letačkih operacija. Uz to, pruža smjernice korisnicima, operatorima i organizacijama koje se bave izradom zrakoplovnih instrumentalnih karata, s ciljem postizanja homogene prakse na svim aerodromima gdje se izvode takve operacije.

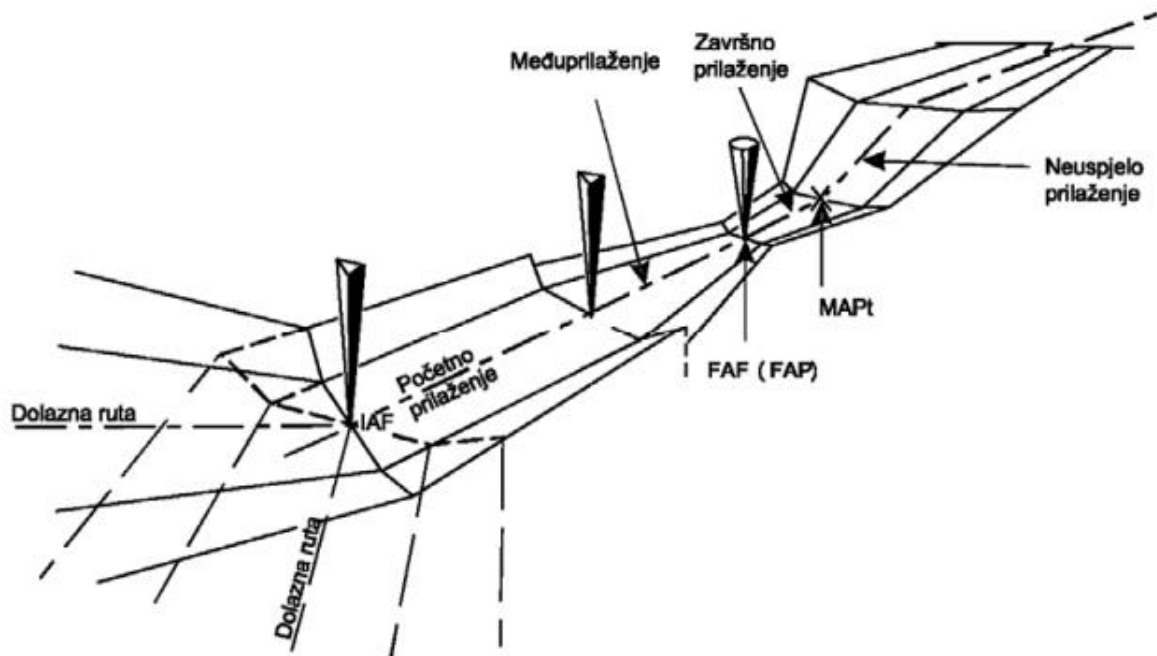
Konstruiranje procedura u skladu s PANS-OPS zahtjevima pretpostavlja operacije u normalnim uvjetima, dok su operatori zaduženi za razvoj procedura u slučaju nepredviđenih okolnosti (engl. *Contingency procedures*) [2]. Primjer takve procedure opisan je u trećem poglavlju: „3.4. Operativni postupci prilikom izvođenja PBN operacija“.

2.1. Segmenti instrumentalnoga prilaženja

Procedura instrumentalnoga prilaženja može se sastojati od pet različitih segmenata (slika 1.), koji započinju i završavaju na određenim preletištima (engl. *Fix*):

1. dolazni segment (engl. *Arrival segment*)
2. segment početnoga prilaženja (engl. *Initial segment*)
3. međusegment (engl. *Intermediate segment*)
4. završni segment (engl. *Final segment*)
5. segment neuspjeloga prilaženja (engl. *Missed approach segment*).

U određenim okolnostima pojedini segmenti mogu započeti na utvrđenim točkama (engl. *Point*), ako preletišta nisu utvrđena (npr. završni segment preciznoga prilaženja može započeti u točki završnoga prilaženja (engl. *Final approach point*, FAP), u kojoj se sijeku određena visina međusegmenta instrumentalnoga prilaženja i nominalna putanja poniranja) [3].



Slika 1. Segmenti instrumentalnoga prilaženja

IZVOR: [4]

Prema člancima 11. – 15. Pravilnika¹, segmenti instrumentalnoga prilaženja se definiraju kako slijedi:

1. Dolazni segment predstavlja rutu od napuštanja zračnoga puta do preletišta početnoga prilaženja (engl. *Initial approach fix*, IAF), od kojega počinje prilaženje. Na dolaznim rutama primjenjuju se isti uvjeti za nadvisivanje prepreka koji se primjenjuju i na ruti.
2. Segment početnoga prilaženja predstavlja trajektoriju leta od preletišta početnoga prilaženja do preletišta međuprilaženja (engl. *Intermediate fix*, IF). U ovoj fazi leta dopušteni su veliki gradijenti snižavanja (4 – 8%, što odgovara brzini snižavanja od 250 do 500 stopa/NM)². Segment početnoga prilaženja osigurava nadvisivanje prepreka od najmanje 1000 stopa u primarnom području. Putanja uzduž segmenta početnoga prilaženja do preletišta međuprilaženja može se nalaziti pod maksimalnim kutom od 90° na završni segment kod preciznoga prilaženja, odnosno 120° kod nepreciznoga prilaženja, primjenjujući pritom propisane povratne postupke (proceduralni zaokret i osnovni zaokret) ili produljene postupke koji su prikazani na Slici 2. iz Dodatka 2. ovoga Pravilnika.
3. Segment međuprilaženja predstavlja putanju zrakoplova na produženoj središnjoj liniji uzletno-sletne staze (putanja završnoga prilaženja, usmjerivač) do preletišta završnoga prilaženja (engl. *Final approach fix*, FAF). Gradijent snižavanja mora biti što blaži ili jednak nuli. Visina nadvisivanja prepreka iznosi najmanje 500 stopa.
4. Segment završnoga prilaženja predstavlja putanju leta od preletišta završnoga prilaženja do točke neuspjeloga prilaženja (engl. *Missed approach point*, MAPt). Tijekom prilaženja, minimalni/optimalni gradijent snižavanja iznosi 5,2% za segment nepreciznoga prilaženja s FAF-om (3° za precizno prilaženje). Gradijenti snižavanja strmiji od optimalnih ne smiju se koristiti osim ako su svi drugi načini za nadvisivanje prepreka u završnom prilaženju neprimjenjivi. Najveći gradijent snižavanja za neprecizna prilaženja iznosi 6,5% za zrakoplove kategorije A i B, 6,1% za zrakoplove kategorije C, D i E (3,5° za CAT I preciznoga prilaženja, odnosno 3° za CAT II i III). Završno prilaženje završava u točki neuspjeloga prilaženja, koja se ne smije nalaziti

¹ Pravilnik o oblikovanju i utvrđivanju načina, postupaka i drugih uvjeta za sigurno uzlijetanje i slijetanje zrakoplova; Narodne novine; izdanje 53/2016

² 1 ft (stopa) = 0.3048 m; 1 NM = 1852 m

ispod apsolutne/relativne visine nadvisivanja prepreka (engl. *Obstacle clearance altitude/height*, OCA/H).

5. Segment neuspjeloga prilaženja započinje na MAPt-u, te se nakon preletišta te točke nastavlja na horizontalnu udaljenost (početna faza) koja odgovara trajanju leta od najviše 15 sekundi (neprecizno prilaženje), odnosno letu do točke udaljene 900 m od praga sletne staze (precizno prilaženje). U međufazi segmenta neuspjeloga prilaženja primjenjuje se gradijent penjanja od 2.5% (152 stope/NM) (međufaza) u skladu sa shemom iz Dodatka 3. ovoga Pravilnika. Apsolutna/relativna visina nadvisivanja prepreka tijekom početne faze i međufaze iznosi najmanje 100 stopa, a nakon toga se povećava. Završna faza postupka neuspjelog prilaženja nastaje kad zrakoplov tijekom međufaze dostigne apsolutnu/relativnu visinu nadvisivanja prepreka od 164 stope. U toj fazi mora biti zadovoljen gradijent penjanja od najmanje 2.5%, uz odgovarajuće nadvisivanje prepreka, do točke s koje se može započeti ponovno prilaženje, postupak čekanja ili rutni let [3].

U određenu proceduru instrumentalnoga prilaženja mogu biti uključeni samo oni segmenti koji su potrebni, npr. ne sadrži svaka procedura segment međuprilaženja, itd.

U idućem potpoglavlju navest će se osnovni elementi prilikom konstruiranja svakog od navedenih segmenata. Većina podataka, tablica i slika preuzeto je iz ICAO priručnika „*Doc 8168 PANS-OPS; Volume II - Construction of Visual and Instrument Flight Procedures*“. Kriteriji za kategoriju zrakoplova H (helikopteri) i specifičnosti vezane za konstrukciju PBN/RNAV procedura nisu navedene u ovome radu, nego su detaljno opisane unutar priručnika.

2.2. Osnovni elementi za izradu postupaka i procedura

Zbog utjecaja na zračni prostor i potrebnu vidljivost za izvođenje određenih manevara, ICAO je uveo kategorizaciju zrakoplova s obzirom na brzinu tijekom instrumentalnoga prilaženja (tablica 1.). Kategorija se određuje na temelju indicirane brzine iznad praga uzletno-sletne staze (V_{AT}), koja je umnožak brzine prevlačenja (V_{SO}) i broja 1.3 ili brzine prevlačenja

(V_{SIG})³ i broja 1.23 u konfiguraciji za slijetanje, pri maksimalnoj dopuštenoj masi za slijetanje. Ako su poznate i V_{SO} i V_{SIG} , koristi se veća dobivena vrijednost V_{AT} [2].

Tablica 1. Brzine za proračun postupaka u čvorovima (kn)

| Kategorija zrakoplova | V_{AT} | Raspon brzina početnoga prilaženja | Raspon brzina završnoga prilaženja | Maksimalne brzine za vizualno manevriranje (kruženje) | Maksimalne brzine za neuspjelo prilaženje | |
|-----------------------|-----------|------------------------------------|------------------------------------|---|---|--------------|
| | | | | | Međufaza | Završna faza |
| A | < 91 | 90 – 150 (110*) | 70 – 110 | 100 | 100 | 110 |
| B | 91 - 120 | 120 – 180 (140*) | 85 – 130 | 135 | 130 | 150 |
| C | 121 – 140 | 160 – 240 | 115 – 160 | 180 | 160 | 240 |
| D | 141 – 165 | 185 – 250 | 130 – 185 | 205 | 185 | 265 |
| E | 166 - 210 | 185 - 250 | 155 - 230 | 240 | 230 | 275 |

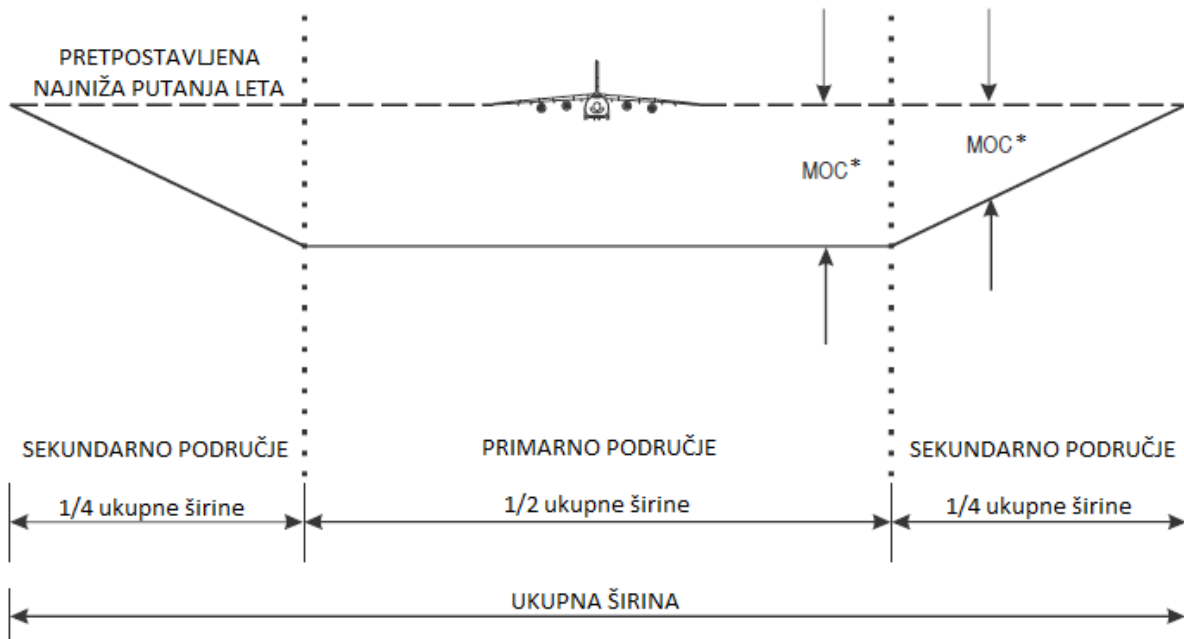
* – maksimalna brzina za povratne postupke (engl. *reversal*) i produljene postupke (engl. *racetrack*)

IZVOR: [5]

Na temelju navedenih podataka iz tablice, stručnjaci za izradu procedura vrše proračune potrebne za izradu postupaka u zračnome prostoru i nadvisivanje prepreka za segmente instrumentalnoga prilaženja.

Svaki segment ima pripadajuće područje (područje nadvisivanja prepreka), koje je simetrično s obje strane u odnosu na namjeravanu putanju leta zrakoplova. Uglavnom se dijeli na primarno i sekundarno, međutim u nekim slučajevima dozvoljeno je samo primarno područje. Kada se uvodi i sekundarno područje, onda se ono definira na vanjskim rubovima s obje strane područja (normalno 25% ukupne širine) (slika 2.) [5].

³ V_{SIG} – brzina prevlačenja uz faktor opterećenja od 1g pri kojoj zrakoplov može razviti silu uzgona jednaku svojoj težini



* – minimalno nadvisivanje prepreka (engl. *Minimum obstacle clearance*, MOC)

Slika 2. Presjek pravocrtne segmenta - primarno i sekundarno područje

IZVOR: [5]

MOC se u sekundarnom području može izračunati pomoću linearne interpolacije od vanjskog ruba primarnoga područja gdje je MOC najviši, smanjujući se prema nuli k vanjskome rubu:

$$MOC_{SY} = MOC_P * \left(1 - \frac{Y}{W_S}\right)$$

pri čemu su: MOC_P - MOC u primarnom području;

MOC_{SY} – MOC u sekundarnom području na udaljenosti Y od vanjskog ruba primarnoga područja;

Y – udaljenost prepreke od ruba primarnoga područja, mjereno okomito na nominalnu putanju leta zrakoplova; i

W_S – širina sekundarnoga područja [5].

2.2.1. Dolazni segment

Na većini aerodroma postoji dolazni segment koji povezuje rutni dio leta s IAF-om. Standardni instrumentalni dolazak (STAR) ne mora biti utvrđen na aerodromima na kojima nema operativnih razloga za implementaciju istoga (npr. aerodrom Billund u Danskoj, ICAO: EKBI, IATA⁴: BLL). Svrha STAR-a je optimizacija dolaznoga prometa, uzimajući u obzir lokalni protok zračnoga prometa i može služiti više aerodroma unutar TMA. Sama procedura mora omogućiti letenje različitim kategorijama zrakoplova. Ukoliko je to izvedivo, dizajn procedure bi trebao biti takav da omogući operacije neprekinutoga spuštanja (engl. *Continuous descent operations*, CDO), kako bi se smanjio štetni utjecaj na okoliš i povećala učinkovitost (smanjena emisija CO₂ i potrošnja goriva).

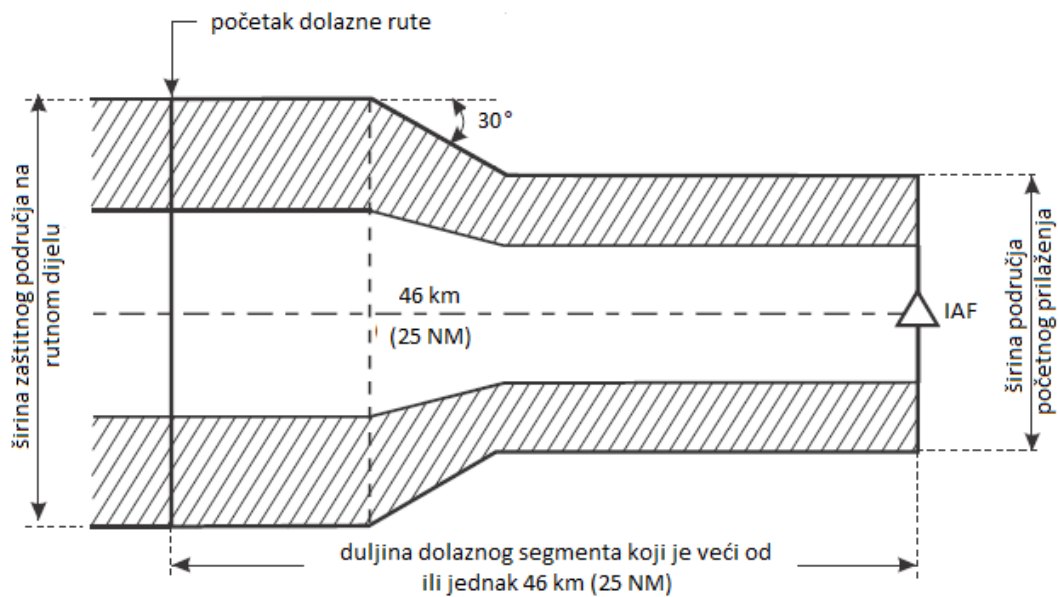
Ukoliko se zrakoplov navodi na dolaznu rutu pomoću luka radio-daljinomjera (engl. *DME⁵ arc*), on ne bi trebao biti polumjera manjeg od 18.5 km (10 NM). DME luk se može spajati s pravocrtnim segmentom na ili prije IAF-a, no u tom slučaju se ta dva segmenta ne smiju presijecati pod kutom većim od 120° [5].

U nastavku teksta su navedeni osnovni elementi prilikom konstruiranja dolaznoga segmenta:

1. Kada je duljina dolazne rute ≥ 46 km (25 NM), primjenjuju se rutni kriteriji do 46 km (25 NM) prije IAF-a. Širina zaštitnoga područja se zatim smanjuje uz kut konvergencije od 30° sa svake strane osi, dok se ne postigne širina utvrđena kriterijima početnoga prilaženja (slika 3.).
2. Kada je dolazna ruta < 46 km (25 NM), širina područja smanjuje se od početka dolazne rute uz kut konvergencije od 30° sa svake strane osi, dok se ne postigne širina utvrđena kriterijima početnoga prilaženja (slika 4.).

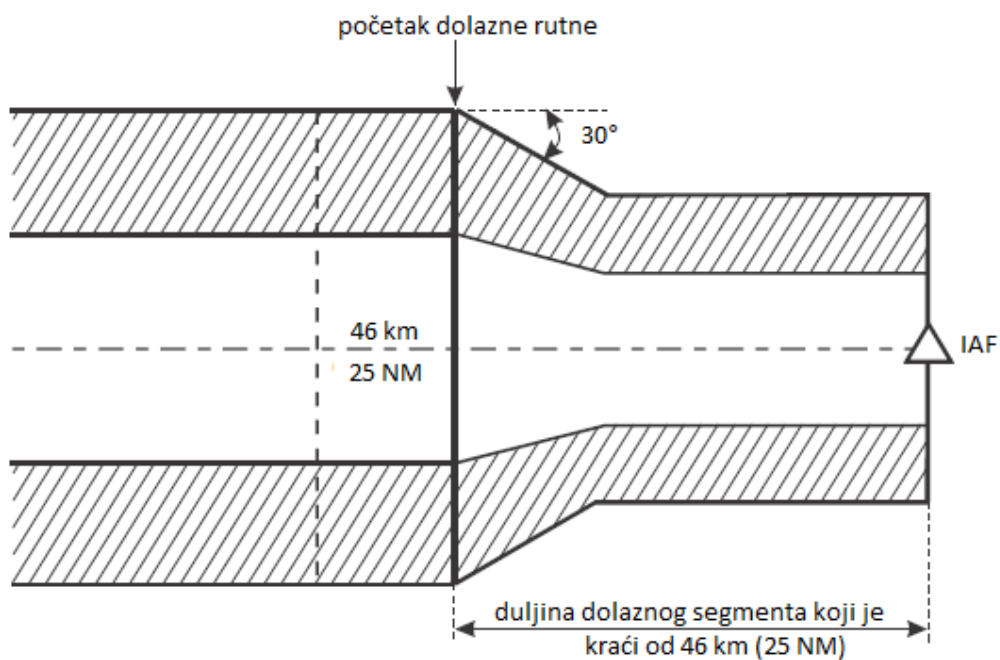
⁴ Međunarodno udruženje zračnog prometa (engl. *International air transport association*, IATA).

⁵ DME (engl. *Distance measuring equipment*) – radio-navigacijski uređaj za mjerenje udaljenosti od zrakoplova do sredstva.



Slika 3. Zaštitno područje dolaznog segmenta ≥ 46 km (25 NM)

IZVOR: [5]



Slika 4. Zaštitno područje dolaznog segmenta < 46 km (25 NM)

IZVOR: [5]

- Područje zaokreta zaštićeno je rutnim kriterijima na udaljenostima većima od 46 km (25 NM) od IAF-a i kriterijima početnoga prilaženja na udaljenostima jednakima ili manjima od 46 km (25 NM) od IAF-a.

4. Ako se dolazni segment bazira na DME luku, vrijede uvjeti pod 1. i 2., uz slijedeće iznimke:
- a) udaljenost se mjeri po DME luku; i
 - b) sužavanje područja počinje na udaljenosti od 9.6 km (5.2 NM), mjereno po DME luku [5].

Nadvisivanje prepreka bi trebalo iznositi minimalno 300 m (984 ft) u primarnom području, dok u sekundarnom području iznosi 300 m (984 ft) na unutarnjem rubu, smanjujući se linearno prema nuli k vanjskome rubu (slika 2.) [5].

Minimalna visina unutar procedure ne smije bit niža od minimalne visine za nadvisivanje prepreka (engl. *Minimum obstacle clearance altitude*, MOCA)⁶ i određuje se u skladu sa zahtjevima kontrole zračnoga prometa. Apsolutna/relativna visina unutar dolaznoga segmenta može biti utvrđena na način da zrakoplov presiječe zadani gradijent/kut spuštanja segmenta završnog prilaženja iz segmenta međuprilaženja [5].

2.2.2. Segment početnoga prilaženja

Početno prilaženje se može odvijati po VOR radijalu, NDB smjeru, određenom radarskom vektoru ili njihovoj kombinaciji. Kada ništa od navedenog nije moguće, koristi se DME luk ili zadani smjer leta [5].

Povratni i produljeni postupci, kao i spuštanje unutar postupka čekanja smatraju se segmentom početnoga prilaženja dok se zrakoplov ne nađe na putanji međuprilaženja. U slučaju da je potreban ulazak u postupak čekanja prije segmenta početnoga prilaženja, preletište čekanja i IAF bi se trebali podudarati. Kada to nije moguće, IAF bi se trebao nalaziti na putanji doleta (engl. *Inbound leg/track*) u postupku čekanja [5].

Minimalna visina u ovome segmentu ne bi trebala biti niža od visine povratnih i produljenih postupaka, ako su takvi postupci objavljeni. Također, ne smije biti niža od visina unutar međusegmenta i segmenta završnoga prilaženja. Svi segmenti početnoga prilaženja moraju imati utvrđene i objavljene proceduralne visine. Minimalna visina/elevacija unutar procedure ne smije biti niža od MOCA-e i određuje se u skladu sa zahtjevima kontrole zračnoga

⁶ MOCA omogućava nadvisivanje prepreka za 1000 ft (300 m) kod IFR letova na rutnom dijelu segmenta; u planinskim područjima ona iznosi 1500 ft (450 m) za terene s elevacijom 3000 – 5000 ft (900 – 1500 m), te 2000 ft (600 m) za terene više od 5000 ft.

prometa. Apsolutna/relativna visina unutar dolaznoga segmenta može biti utvrđena na način da zrakoplov presiječe zadani gradijent/kut spuštanja segmenta završnog prilaženja iz segmenta međuprilaženja [5].

Kut pod kojim se sijeku putanje početnoga prilaženja i međuprilaženja ne bi trebao biti veći od 120°. Ako je kut veći od 120°, u obzir bi se trebalo uzeti korištenje povratnih i produljenih postupaka [5].

DME luk se može koristiti kao metoda navođenja na putanju djelomično ili u cijelosti tijekom početnoga prilaženja. Minimalni polumjer luka iznosi 13 km (7 NM) i može se spajati s putanjom na ili prije IF-a. Prilikom spajanja s putanjom, kut presijecanja putanje i DME luka ne bi trebao biti veći od 120° [5].

Segment početnoga prilaženja nema određenu duljinu, nego bi ona trebala biti dovoljna da omogući promjenu visine sukladno proceduri. Širina područja se dijeli na:

- a) primarno područje koje se pruža lateralno, i to 4.6 km (2.5 NM) sa svake strane putanje; i
- b) sekundarno područje koje se nastavlja sa svake strane primarnoga područja u duljini od 4.6 km (2.5 NM) [5].

PRODULJENI POSTUPAK

Koristi se kada nije moguće ostvariti željeni gubitak visine u pravocrtnom segmentu, te nije praktičan ulazak u povratni postupak. Također, može biti alternativa povratnome postupku kako bi se povećala operativna fleksibilnost [5].

Oblik produljenoga postupka istovjetan je postupku čekanja, no s drugačijim brzinama i vremenima trajanja u odlaznoj putanji (engl. *Outbound leg/track*). Početak postupka je na određenom preletištu ili navigacijskom sredstvu [5].

POVRATNI POSTUPAK

Definira se kako bi se zrakoplov pozicionirao na dolaznu putanju međuprilaženja ili završnoga prilaženja, i to na željenoj visini. Postoje dvije vrste ovoga postupka: proceduralni zaokret (engl. *Procedure turn*) i osnovni zaokret (engl. *Base turn*). Oba se sastoje od odlazne

putanje nakon koje slijedi određeni manevar u zaokretu koji navodi zrakoplov na dolaznu putanju.

Početak osnovnoga zaokreta bi trebao biti na sredstvu, a proceduralnoga na sredstvu ili preletištu. Povratnom postupku može prethoditi postupak čekanja [5].

Različite vrste dopuštenih procedura opisane su kako slijedi:

- proceduralni zaokret 45°/180° koji započinje na sredstvu ili preletištu i sastoji se od:
 - a) pravocrtnog segmenta s navođenjem na putanju, a koji može biti vremenski ograničen ili određen radijalom ili DME udaljenošću;
 - b) zaokreta od 45°;
 - c) pravocrtnog segmenta bez navođenja na putanju, a koji je vremenski ograničen:
 - 1) 1 minuta mjereno od početka zaokreta za kategorije A i B; i
 - 2) 1 minuta i 15 sekundi mjereno od početka zaokreta za kategorije C, D i E; i
 - d) zaokreta od 180° u suprotnom smjeru kako bi se presjekla dolazna putanja.
 - proceduralni zaokret 80°/260° koji započinje na sredstvu ili preletištu i sastoji se od:
 - a) pravocrtnog segmenta s navođenjem na putanju, a koji može biti vremenski ograničen ili određen radijalom ili DME udaljenošću;
 - b) zaokreta od 80°; i
 - c) zaokreta od 260° u suprotnom smjeru kako bi se presjekla dolazna putanja.
- Oba prethodno navedena proceduralna zaokreta alternativa su jedan drugome, a zaštitno područje se mora konstruirati tako da omogućí izvršavanje jedne ili druge procedure, osim ako jedna od njih nije izričito isključena.
- osnovni zaokret sastoji se od određene dolazne putanje i može biti vremenski ograničen ili određen radijalom ili DME udaljenošću, nakon čega slijedi zaokret kako bi se presjekla dolazna putanja. Divergencija između odlazne i dolazne putanje (φ) se računa na slijedeći način:
 - a) za stvarnu brzinu (engl. *True airspeed*, TAS) ≤ 315 km/h (170 kn), $\varphi = 36/t$; i
 - b) za TAS > 315 km/h (170 kn):

$$\varphi = (0.116 \times \text{TAS})/t; \text{ za TAS u km/h}$$

$$\varphi = (0.215 \times \text{TAS})/t; \text{ za TAS u kn}$$

gdje je t određeno vrijeme u minutama u odlaznom segmentu, a TAS odgovara maksimalnoj indiciranoj brzini (engl. *Indicated airspeed*, IAS) određenoj za proceduru [5].

Stvarna putanja zrakoplova može varirati, stoga nije moguće definirati gradijent spuštanja za povratne i produljene postupke. Umjesto toga, definirane su maksimalne vrijednosti spuštanja u odlaznom i dolaznom segmentu kao funkcija nominalnog trajanja odlaznog segmenta (u obzir se ne uzima spuštanje ostvareno u zaokretu). Kod proceduralnoga zaokreta od 45° , nominalno trajanje odlaznoga segmenta se može produžiti za jednu minutu prilikom izračunavanja maksimalnoga spuštanja tijekom odlaznoga segmenta [5].

Minimalne visine u povratnim i produljenim postupcima ne bi smjele biti manje od 300 m (984 ft) iznad svih prepreka u primarnom području. U sekundarnom područje, minimalno nadvisivanje prepreka bi trebalo iznositi 300 m (984 ft) na unutarnjem rubu, smanjujući se linearno prema nuli k vanjskome rubu [5].

2.2.3. Segment međuprilaženja

U segmentu međuprilaženja podešavaju se konfiguracija, brzina i pozicija zrakoplova kao priprema za segment završnoga prilaženja. Postoje dvije vrste segmenta međuprilaženja:

- a) segment s početkom na IF-u; i
- b) segment koji započinje nakon završetka povratnog ili produljenog postupka.

U oba slučaja, zrakoplov bi se trebao navoditi na putanju prema FAF-u, čime ovaj segment završava [5].

Putanja u segmentu međuprilaženja bi trebala biti ista kao i u završnom prilaženju. Kada to nije moguće iz praktičnih razloga i kada je FAF navigacijsko sredstvo (NDB ili VOR) u proceduri nepreciznoga prilaženja, putanja međuprilaženja se ne bi trebala razlikovati od putanje završnoga prilaženja za više od 30° . Ako je zaokret na FAF-u veći od 10° , područje

završnoga prilaženja bi trebalo biti prošireno na vanjskome rubu zaokreta, kako bi se omogućilo prelijetanje prilikom skretanja iznad navigacijskog sredstva [5].

Duljina segmenta međuprilaženja ne bi smjela biti veća od 28 km (15 NM) ili kraća od 9.3 km (5 NM) mjereno uzduž putanje po kojoj zrakoplov leti (osim u slučajevima kada je to posebno navedeno za ILS, MLS, RNAV (DME/DME, VOR/DME, GNSS) prilaze i radarsku oblast).

Optimalna duljina iznosi 19 km (10 NM). Duljina veća od 19 km ne bi se trebala koristiti, osim ako operativni zahtjevi ne opravdaju korištenje duljih procedura. Ako je kut između putanje početnoga prilaženja i putanje međuprilaženja veći od 90°, minimalna duljina putanje međuprilaženja definira se ovisno o kutu presijecanja te dvije putanje [5].

Širina segmenta sužava se od maksimalne širine od 19 km (10 NM) na IF-u do minimalne vrijednosti na FAF-u (ili FAP-u). Segment je podijeljen longitudinalno na:

- a) primarno područje koje se širi lateralno sa svake strane putanje; i
- b) sekundarno područje sa svake strane primarnoga područja (slika 10.) [5].

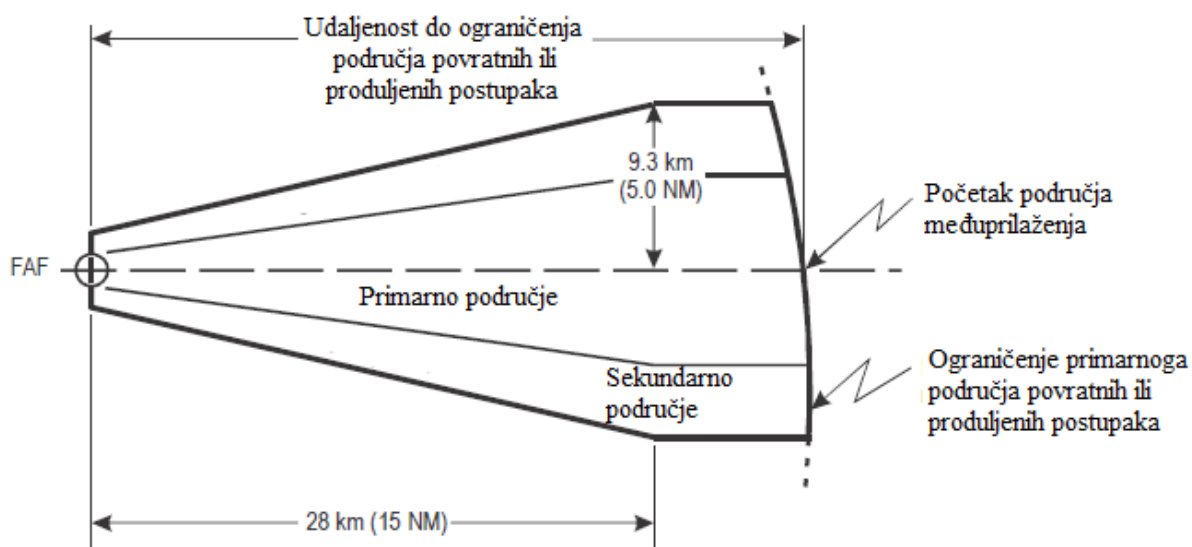
Nadvisivanje prepreka od minimalno 150 m (492 ft) bi trebalo biti omogućeno u primarnom području. U sekundarnom, 150 m (492 ft) na unutarnjem rubu, smanjujući se prema nuli k vanjskome rubu područja [5].

Zbog toga što se u ovome segmentu zrakoplov počinje konfigurirati i smanjivati brzinu za ulazak u završno prilaženje, on bi trebao biti u potpunosti ili djelomično ravan. Ako je potrebno spuštati, maksimalni gradijent spuštanja iznosi 5.2%. U tom slučaju, za kategorije zrakoplova C i D treba postojati horizontalni segment s minimalnom duljinom od 2.8 km (1.5 NM) prije ulaska u završno prilaženje. Za kategorije A i B, minimalna duljina može biti smanjena na 1.9 km (1 NM) kako bi se omogućilo da zrakoplov uspori i promijeni konfiguraciju prije segmenta završnoga prilaženja. Proceduralne visine trebale bi biti utvrđene kako bi se omogućilo zrakoplovu da presiječe zadano spuštanje u završnom prilaženju [5].

SEGMENT MEĐUPRILAŽENJA UNUTAR POVRTNIH I PRODULJENIH POSTUPAKA

Kod segmenta međuprilaženja, gdje se koriste povratni i produljeni postupci, segment počinje kada se presiječe putanja međuprilaženja. Vrijede isti kriteriji kao što je opisano prije, uz određene promjene navedene u daljnjem tekstu.

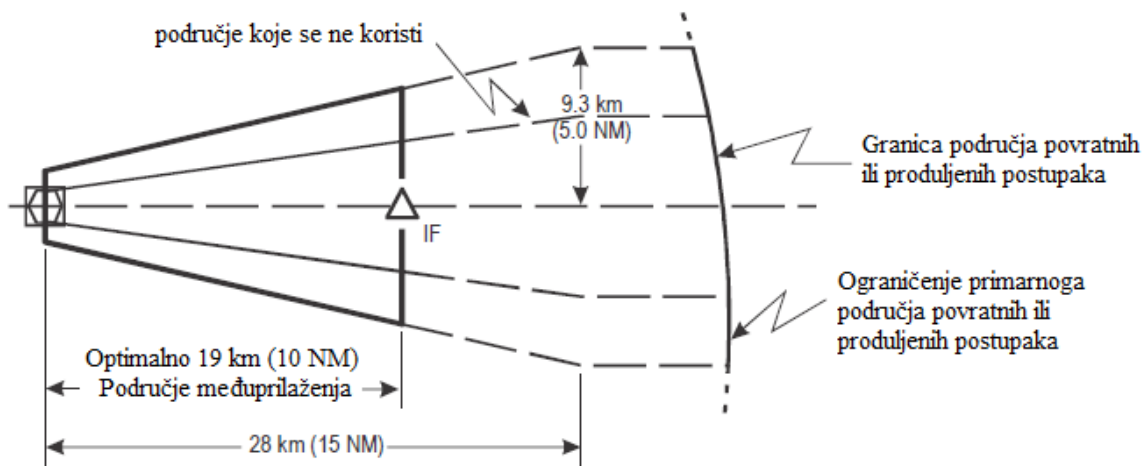
Područje se širi jednako sa svake strane putanje do 28 km (15 NM) od sredstva, i to do ukupne širine od 18.6 km (10 NM). Na udaljenosti većoj od 28 km (15 NM) od sredstva, širina područja ostaje 18.6 km (10 NM) (slika 5.) [5].



Slika 5. Segment međuprilaženja unutar povratnih i produljenih postupaka bez IF-a

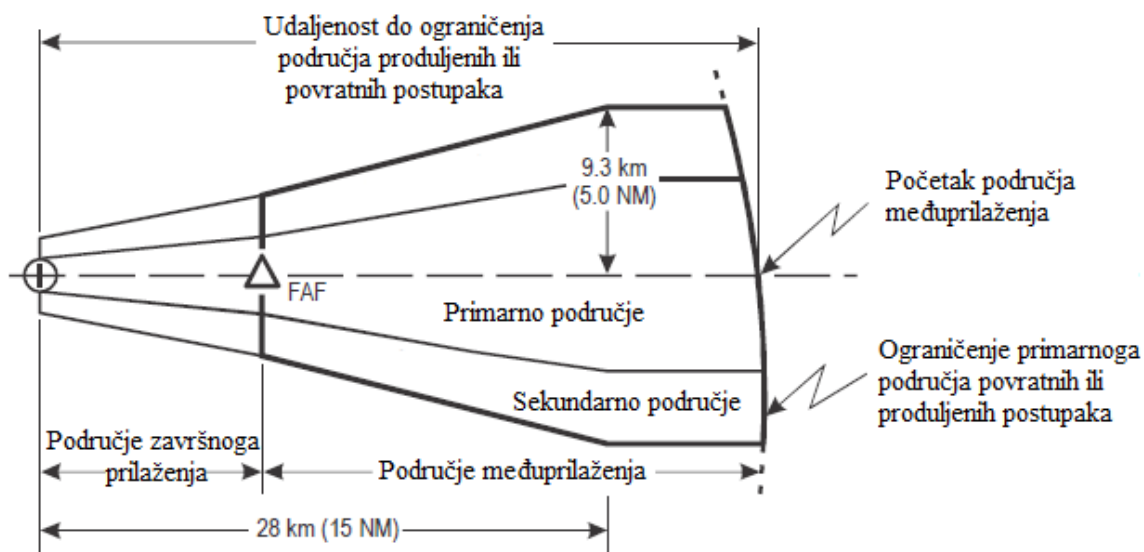
IZVOR: [5]

Kada je IF definiran, duljina područja obično iznosi 19 km (10 NM) (slika 6.). Kada IF nije definiran, područje međuprilaženja se produžuje do udaljenog kraja primarnoga područja unutar povratnoga postupka (slike 5. i 7.) [5].



Slika 6. Segment međuprilaženja unutar povratnih i produljenih postupaka s preletištem

IZVOR: [5]



Slika 7. Područje međuprilaženja unutar povratnih i produljenih postupaka baziranih na FAF-u (nije sredstvo)

IZVOR: [5]

Ako se produljeni ili povratni postupak temelji na FAF-u koji nije navigacijsko sredstvo, područje međuprilaženja proteže se 9.3 km (5 NM) sa svake strane putanje međuprilaženja na udaljenosti od 28 km (15 NM) od sredstva, te se jednoliko sužava na širinu područja završnog prilaženja na FAF-u (slika 7.) [5].

2.2.4. Segment završnoga prilaženja

U segmentu završnoga prilaženja vrši se poravnavanje i spuštanje za slijetanje. Instrumentalni dio segmenta počinje na FAF-u i završava na MAPt-u. Vođenje po putanji bi trebalo biti omogućeno za instrumentalni dio segmenta. Završno prilaženje može biti:

- a) prema stazi s izravnim prilaženjem na slijetanje (engl. *Straight-in landing*);
- b) prema aerodromu uz prilaženje kruženjem (engl. *Circling approach*) [5].

Ukoliko je to izvedivo, segment završnoga prilaženja bi trebao biti poravnat sa uzletno-sletnom stazom. Sva završna prilaženja sa FAF-om imaju optimalnu duljinu od 9.3 km (5 NM). Minimalna duljina segmenta ne smije biti manja od 5.6 km (3 NM) [5].

Završno prilaženje sa smaknutom putanjom (engl. *Offset final approach*) predstavlja dodatnu složenost prilikom izvođenja letaćkih operacija. Izrađuje se samo u slučajevima kada konfiguracija okolnog terena ne omogućava korištenje drugih postupaka. Utvrđivanje smaknute putanje ne bi trebalo služiti kao mjera smanjivanja buke. Putanja završnoga prilaženja može biti smaknuta do 5° bez utjecaja na OCA/H. Izvan tih ograničenja (ili ako drugi zahtjevi ne mogu biti zadovoljeni) koristi se prilaženje kruženjem [5].

Kod nepreciznoga prilaženja definiraju se kriteriji za poravnanje zrakoplova u završnome prilaženju, ovisno o tome da li putanja siječe ili ne siječe produljenu središnjicu uzletno-sletne staze [5].

Prilaženje kruženjem sadrži vizualni segment nakon završetka instrumentalnoga prilaza, kako bi se zrakoplov doveo na poziciju za slijetanje na stazu na koju nije prikladno izvršiti izravno prilaženje. Ako je potrebno, putanja završnoga prilaženja može prelaziti preko dijela staze koja se koristi za slijetanje. U posebnim slučajevima, putanja može biti poravnata izvan granica aerodroma, ali ne izvan područja od 1.9 km (1 NM) od površine za slijetanje [5].

GRADIJENT SPUŠTANJA

Minimalni gradijent spuštanja iznosi 5.2% kod nepreciznog prilaženja s FAF-om (3° za precizni prilaz ili prilaz s vertikalnim navođenjem (engl. *Approach with vertical guidance*, APV). Gradijenti spuštanja strmiji od optimalnih ne bi se trebali koristiti osim ako ne preostaje drugih mogućnosti za nadvisivanje prepreka. Takvi gradijenti mogu uzrokovati brzinu silaženja

(engl. *Rate of descent*, ROD) koji premašuje preporučena ograničenja za neke zrakoplove u završnom prilazu.

Maksimalni gradijent/kut spuštanja iznosi:

- a) za neprecizne prilaze s FAF-om:
 - 6.5% za kategorije zrakoplova A i B;
 - 6.1% za kategorije zrakoplova C, D i E; i
- b) za neprecizne prilaze bez FAF-a (vidi tablicu 2.);
- c) 3.5° za prilaze s vertikalnim navođenjem; i
- d) za precizne prilaze:
 - 3.5° za precizni prilaze kategorije I; i
 - 3° za precizne prilaze kategorije II i III [5].

Tablica 2. ROD za neprecizne prilaze bez FAF-a

| Kategorija zrakoplova | Brzina silaženja (ROD) | |
|-----------------------|-------------------------|------------------------|
| | Maksimalna | Minimalna |
| A, B | 200 m/min (655 ft/min) | 120 m/min (394 ft/min) |
| C, D, E | 305 m/min (1000 ft/min) | 180 m/min (590 ft/min) |

IZVOR: [5]

Apsolutna/relativna visina nadvisivanje prepreka (OCA/H)

Primjena OCA/H ovisi o proceduri prilaznja:

- 1) precizni prilaz/prilaz s vertikalnim navođenjem (APV):
 - a) OCA/H se definira kao najniža apsolutna visina ili visina na kojoj se mora započeti segment neuspjelog prilaznja kako bi se osiguralo potrebno nadvisivanje prepreka.
 - b) Vrijednost OCA-e se izračunava u odnosu na srednju razinu mora (engl. *Mean sea level*, MSL), dok se OCH mjeri u odnosu na elevaciju praga staze.
- 2) neprecizni prilaz (izravno prilaznje):

- a) OCA/H se definira kao najniža apsolutna visina ili najniža visina ispod koje zrakoplov ne smije spuštati bez narušavanja kriterija za nadvisivanje prepreka.
 - b) Vrijednost OCA-e se izračunava u odnosu na MSL, dok se OCH mjeri u odnosu na:
 - elevaciju aerodroma; ili
 - elevaciju praga staze ukoliko je elevacija praga veća od 2 m (7 ft) ispod elevacije aerodroma.
- 3) vizualni prilaz (kruženje):
- a) Za OCA/H vrijedi isto kao kod nepreciznog prilaza.
 - b) Vrijednost OCA-e se izračunava u odnosu na MSL, dok se OCH mjeri u odnosu na elevaciju aerodroma [5].

2.2.5. Segment neuspjeloga prilaženja

Procedura neuspjeloga prilaženja mora biti utvrđena za sve instrumentalne prilaze i sadržavati početnu i završnu točku. Može započeti na:

- a) na apsolutnoj/relativnoj visini odluke (engl. *Decision altitude/height*, DA/H) kod procedura preciznog prilaženja ili APV prilaženja; ili
- b) na MAPt-u kod procedura nepreciznog prilaženja.

Segment završava na apsolutnoj visini ili visini koja je dovoljna da omogući:

- a) započinjanje drugog prilaza; ili
- b) vraćanje u dodijeljeni postupak čekanja; ili
- c) nastavak rutnog dijela leta.

Segment neuspjeloga prilaženja se sastoji od tri faze:

- a) početna faza – započinje na najranijem MAPt-u, te se proteže do početka penjanja (engl. *Start of climb*, SOC) - postoje dvije metode izračuna SOC-a, a odabir metode ovisi da li je:

- MAPt definiran navigacijskim sredstvom ili preletištem; ili
 - MAPt definiran određenom udaljenošću od FAF-a.
- b) međufaza – proteže se od SOC-a do točke gdje je moguće nadvisiti prepreku za 50 m (164 ft); i
- c) završna faza – proteže se do točke gdje se započinje novi prilaz, postupak čekanja ili povratak na rutni dio leta.

Postoje dvije vrste neuspjeloga prilaznja:

- a) izravno neuspjelo prilaznje (engl. *Straight missed approach*)
(uključuje zaokrete $\leq 15^\circ$); i
- b) neuspjelo prilaznje sa zaokretom (engl. *Turning missed approach*) [5].

Širina područja neuspjeloga prilaznja na MAPt-u jednaka je širini u segmentu završnog prilaznja. Veličina i oblik područja nakon MAPt-a ovisi o proceduri neuspjelog prilaznja, uključujući točku na kojoj se započinje zaokret i veličina zaokreta [5].

Neuspjelo prilaznje počinje na MAPt-u i vrijedi za naprecizne prilaze. MAPt za naprecizne prilaze se definira kako slijedi:

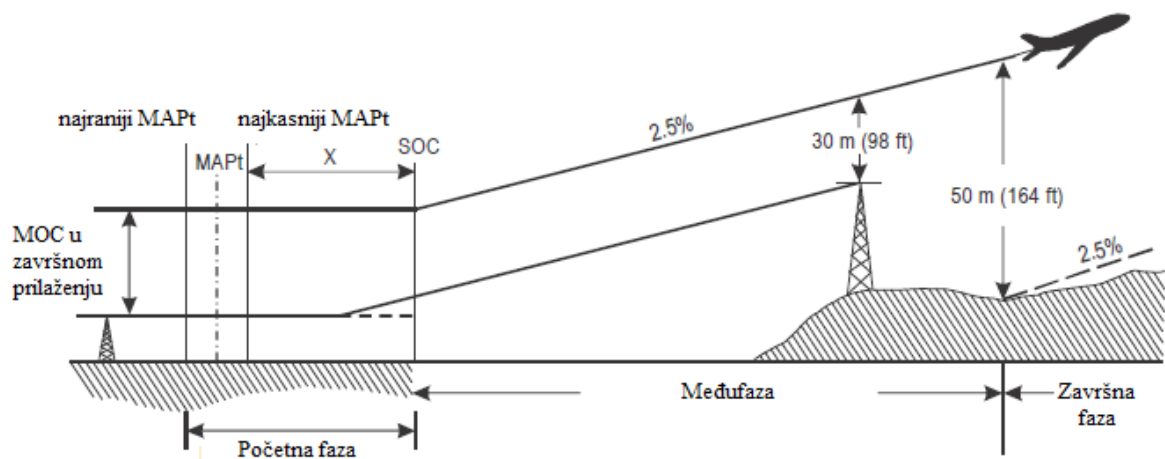
- a) procedure bez FAF-a – navigacijsko sredstvo ili preletište; i
- b) procedure s FAF-om – MAPt se definira na jedan od slijedeća tri načina:
- 1) mjerenjem vremena po udaljenosti od nominalnog FAF-a do nominalnog MAPt-a, gdje MAPt nije definiran sredstvom ili preletištem; ili
 - 2) navigacijskim sredstvom ili preletištem na MAPt-u, pri čemu u proceduri mora biti naglašeno da mjerenje vremena nije dozvoljeno prilikom definiranja MAPt-a; ili
 - 3) vrijede i pod 1) i 2). U tom slučaju objavljuje se jedna OCA/H, usporedbom OCA/H za određenu udaljenosti i OCA/H za sredstvo ili preletište, što je veće. Ukoliko postoji operativna prednost, mogu se objaviti obje vrijednosti.

Optimalna lokacija MAPt-a je na pragu staze. Ukoliko je potrebno, MAPt se može pomaknuti bliže FAF-u, uz uvjet da OCA/H nije niža od apsolutne visine/visine na MAPt-u pri nominalnom gradijentu spuštanja od 5.2% (3°) [5].

GRADIJENT PENJANJA I MINIMALNO NADVISIVANJE PREPREKA (MOC)

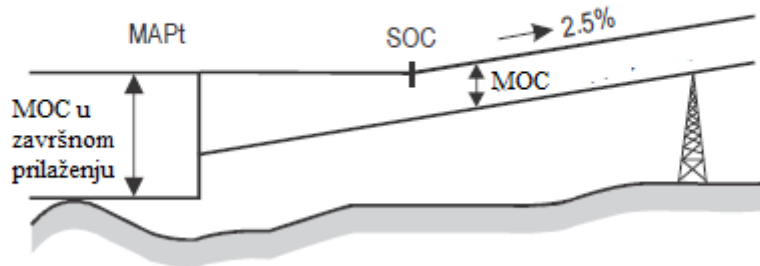
- Početna faza

Zahtijeva posebnu pozornost pilota, naročito prilikom faze penjanja i promjene konfiguracije. U ovoj fazi se ne definiraju zaokreti. Pretpostavka je da se u ovoj fazi ne koristi oprema za navođenje zrakoplova. Putanja leta je horizontalna. Minimalno nadvisivanje prepreka istovjetno je kao u zadnjem dijelu završnog prilaženja, osim kada produženje površine međufaze u smjeru MAPt-a zahtijeva niže nadvisivanje prepreka (slike 8. i 9.) [5].



Slika 8. Nadvisivanje prepreka u završnoj fazi neuspjeloga prilaženja

IZVOR: [5]



Slika 9. Produžetak površine neuspjeloga prilaznja u potpunosti pokriva početnu fazu

IZVOR: [5]

- Međufaza

Počinja na SOC-u i nastavlja se uz stabiliziranu brzinu do prve točke gdje se ostvaruje i održava nadvisivanje prepreka od 50 m (164 ft). Prilikom izrade ove faze, smatra se prednošću korištenje dostupnog navigacijskog navođenja. Putanja neuspjelog prilaznja može se mijenjati u odnosu na početni segment za maksimalno 15°.

Nominalni gradijent penjanja iznosi 2.5%. Dodatni gradijenti, npr. 3, 4 ili 5%, mogu biti određeni. Te gradijente mogu koristiti zrakoplovi boljih performansi u penjanju, što omogućava korištenje nižih vrijednosti OCA/H, uz prethodno odobrenje nadležnih zrakoplovnih vlasti.

Minimalno nadvisivanje prepreka iznosi 30 m (98 ft) u primarnom području, dok u sekundarnom području iznosi 30 m (98 ft) na unutarnjem rubu, linearno se smanjujući prema nuli na vanjskom rubu [5].

- Završna faza

Započinje u točki gdje zrakoplov može dosegnuti i održavati nadvisivanje prepreka za 50 m (164 ft). Završava u točki gdje se započinje novi prilaz, povratak čekanja ili povratak na rutni dio leta.

Gradijent penjanja u završnoj fazi odgovara onome u središnjoj fazi.

Minimalno nadvisivanje prepreka iznosi 50 m (164 ft) u primarnom području, linearno se smanjujući prema nuli u vanjskom području [5].

IZRAVNO NEUSPJELO PRILAŽENJE

Širina područja neuspjeloga prilaženja u početnom je dijelu jednaka završnom prilaženju. Nakon toga se područje širi pod kutem:

- a) koji je utvrđen preciznošću navigacijskog sredstva koji se koristi za navođenje (10.3° za NDB, 7.8° za VOR) (slika 10.); ili
- b) divergencije od 15° kada nije dostupno navođenje po navigacijskom sredstvu.

Područje se širini do minimalne udaljenosti potrebne da zrakoplov u neuspjelom prilaženju dosegne visinu na kojoj može nadvisiti prepreke za proceduru koje slijedi (npr. rutni dio leta ili postupak čekanja) [5].

NEUSPJELO PRILAŽENJE SA ZAOKRETOM

Vrijedi za zaokrete veće od 15°, koji mogu biti određeni:

- a) apsolutnom/relativnom visinom;
- b) preletištem ili sredstvom; ili
- c) MAPt-om [5].

Ako je potrebno izvršiti zaokret nakon završnoga prilaženja, konstruira se područje neuspjeloga prilaženja sa zaokretom. Kriteriji za izravno neuspjelo prilaženje vrijede do:

- a) točke zaokreta (engl. *Turning point*, TP), za zaokrete određene apsolutnom/relativnom visinom; ili
- b) najranijeg TP-a za zaokrete na određenom TP-u. Kako bi se dobila minimalna vrijednost OCA/H, potrebno je korigirati određenu visinu zaokreta ili TP.

TP može biti definiran preletištem, ograničen radijalom, smjerom ili DME udaljenošću ili radio-navigacijskim sredstvom (VOR ili NDB) [5].

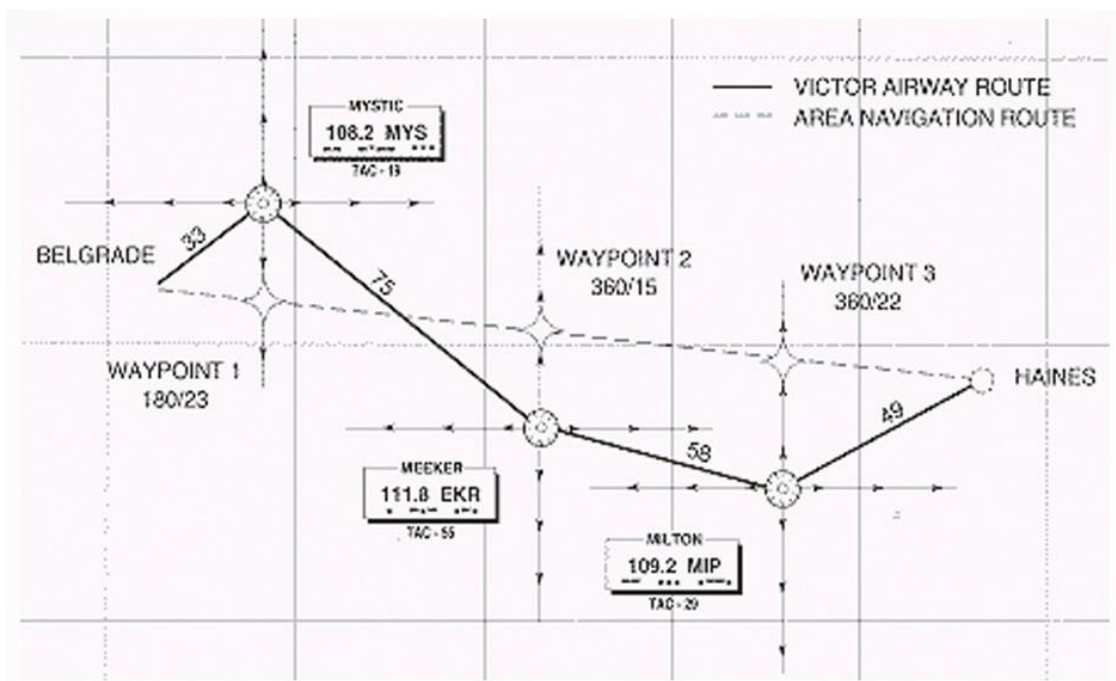
Zaokreti započinju u području završne faze neuspjelog prilaženja, a područje zaokreta u točki koja je smještena na zadnjoj granici tolerancije područja TP-a. Rub područja započinje na rubovima područja izravnog neuspjelog prilaženja [5].

3. PRIMJENA PBN POSTUPAKA UNUTAR ZAVRŠNOG KONTROLIRANOG PODRUČJA

Prostorna navigacija ili RNAV je metoda u zrakoplovnoj navigaciji koja omogućuje letove zrakoplovima na bilo kojim odabranim rutama, a koje se nalaze unutar područja pokrivanja zemaljskih radio-navigacijskih sredstava ili unutar ograničenja mogućnosti autonomnih navigacijskih sustava zrakoplova.

Do pojave RNAV-a, zrakoplovi su letjeli na rutama koje su bile definirane radio-navigacijskim sredstvima – konvencionalna navigacija. Krajem sedamdesetih godina prošloga stoljeća u Europi je došlo do naglog razvoja zračnoga prometa, što je dovelo do većih stopa kašnjenja i zagušenosti zračnoga prostora. Samim time došlo je i do potrebe za povećanjem kapaciteta unutar sustava operativnih usluga u zračnome prometu (engl. *Air traffic services*, ATS). Razvojem zrakoplova i navigacijskih sustava omogućeno je vrlo precizno letenje između bilo koje dvije točke u prostoru, neovisno o položaju sredstava na zemlji. Upravo se ta mogućnost definira kao RNAV, koji se početkom osamdesetih godina počinje smatrati osnovom za budući razvoj navigacijskih sustava [6]. Na slici 10. može se vidjeti jedan od prvih primjera RNAV rute gdje su preletišta (*waypoint 1*, *waypoint 2* i *waypoint 3*) definirana radijalom i udaljenošću od pripadajućega sredstva (u ovome slučaju VOR/DME).

Jedna od najčešćih metoda upravljanja protokom dolaznoga prometa je radarsko vektoriranje. Iako je uglavnom učinkovita i pruža fleksibilnost, na velikim aerodromima dolazi do povećane radne opterećenosti kontrolora zračnoga prometa i same frekvencije. STAR procedure konstruiraju se radi optimizacije dolaznoga prometa. Ako se bazira na zemaljskim radio-navigacijskim sredstvima, onda se radi o konvencionalnoj proceduri i zrakoplov prati putanju koja je uvjetovana tim sredstvima. Danas se mnoge konvencionalne STAR procedure zamjenjuju RNAV-om, s ciljem smanjenja potrošnje goriva i trajanja leta.

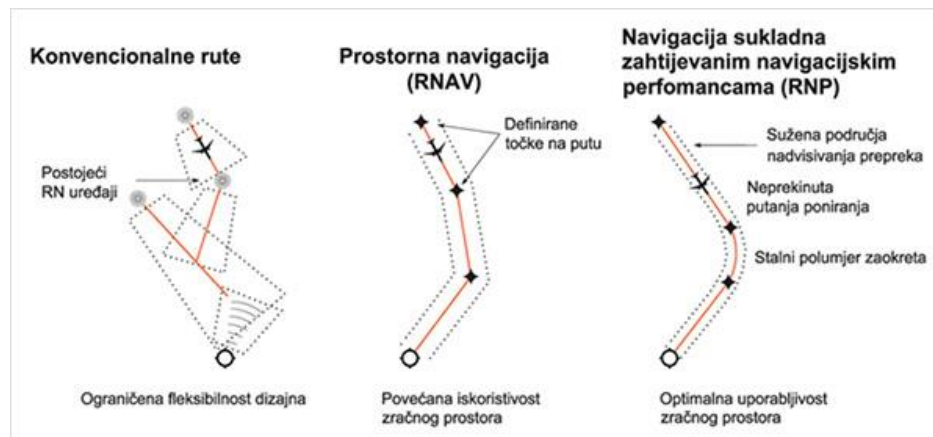


Slika 10. Primjer konvencionalne i RNAV (VOR/DME) rute

IZVOR: [7]

3.1. PBN koncept

Daljnijim razvojem zrakoplovnih i satelitskih tehnologija (GPS/GNSS), uvodi se pojam PBN, koji se zasniva na načelima prostorne navigacije i omogućava bolje definiranje sustava prostorne navigacije. PBN obuhvaća RNAV i RNP specifikacije, te ovisi o zrakoplovnim sustavima i performansama. Definicija RNP-a slična je RNAV-u, a razlika se očituje u dodatnom zahtjevu da navigacijski sustav u zrakoplovu ima ugrađenu funkciju nadzora definiranih performansi, kao i funkciju izdavanja upozorenja posadi zrakoplova. Očekuje da će u idućih 20 godina zamijeniti mnoge rute koje se baziraju na konvencionalnoj navigaciji [8]. Slika 11. prikazuje usporedbu konvencionalnih i RNAV/RNP ruta.



Slika 11. Prikaz konvencionalnih, RNAV i RNP ruta

IZVOR: [9]

U današnje vrijeme preferira se uporaba PBN postupaka unutar TMA⁷ jer omogućava učinkovitije iskorištavanje zračnoga prostora. Neke od prednosti implementacije PBN-a unutar TMA su:

- preciznije i pouzdanije lateralne i vertikalne putanje leta
- omogućava smanjene kriterije prilikom nadvisivanja prepreka
- poboljšava protok i povećava kapacitet zračnoga prometa
- smanjena kašnjenja u zagušenim zračnim prostorima
- mogućnost boljeg predviđanja putanje zrakoplova
- preciznije održavanje putanje leta
- CDO
- kreiranje putanja koje izbjegavaju područja osjetljiva na buku
- smanjeno radno opterećenje kontrolora zračnoga prometa (uporaba frekvencije)
- ekonomičnost (smanjena emisija CO₂ i potrošnja goriva), itd.

Prema [10], međunarodni aerodrom Hartsfield-Jackson u Atlanti, SAD, procijenio je da su prijevoznici u 2007. ostvarili uštedu goriva u vrijednosti od oko 37 milijuna dolara, zbog implementacije RNAV postupaka.

⁷ Kontrolirano područje koje se u načelu utvrđuje oko mjesta slijevanja ATS ruta u okolici jednog ili više većih aerodroma. Uglavnom se koristi u Europi u okviru koncepta fleksibilne uporabe zračnoga prostora.

Ukoliko se želi maksimizirati kapacitet, moguća je kombinacija konvencionalne i RNAV procedure, uz korištenje radarskoga vektoriranja. RNAV STAR procedure koje se spajaju direktno s prilaznom procedurom (RNAV ili ILS prilaz) poboljšavaju svjesnost o situaciji i omogućavaju bolje vertikalne profile.

PBN koncept zahtijeva da se performanse zrakoplova u pogledu sustava prostorne navigacije definiraju kroz preciznost, integritet, dostupnost, održivost i funkcionalnost, koji su potrebni kako bi se mogle izvoditi operacije u različitim zračnim prostorima. S ciljem postizanja jednakosti na globalnoj razini, zahtijevane performanse se definiraju kroz navigacijske specifikacije za različite faze leta [8]. U tablici 5. prikazane su navigacijske specifikacije za dolazne i prilazne procedure.

Kao što je ranije navedeno, PBN se oslanja na prostornu navigaciju, te obuhvaća tri komponente koje ne mogu biti pojedinačno implementirane, već mora postojati veza između njih:

- infrastruktura navigacijskih sredstava (engl. *NAVAID infrastructure*) - VOR, DME, GNSS
- navigacijska specifikacija (engl. *Navigation specification*) - RNAV ili RNP vrijednosti iz tablice 3.
- Navigacijska primjena (engl. *Navigation application*) – korištenje navigacijske specifikacije i pripadajuće NAVAID infrastrukture na rutama, procedurama instrumentalnog prilaženja i/ili definiranim zračnim prostorima [11].

Tablica 3. Navigacijske specifikacije za različite faze leta u dolasku

| NAVIGACIJSKA SPECIFIKACIJA | FAZA LETA | | | | |
|----------------------------|-----------|--------------------|----------------|--------------------|----------------------|
| | Dolazak | Početno prilaženje | Međuprilaženje | Završno prilaženje | Neuspjelo prilaženje |
| RNAV 5 | 5 | | | | |
| RNAV 2 | 2 | | | | |
| RNAV 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| ADVANCED RNP | 1 | 1 | 1 | 0.3 | 1 |
| RNP 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| RNP 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | | 0.3 |
| (HELIKOPTERI) | | | | | |
| RNP APCH | | 1 | 1 | 0.3 | 1 ili 0.3 |
| RNP AR APCH | | 1 – 0.1 | 1 – 0.1 | 0.3 – 0.1 | 1 – 0.1 |

IZVOR: [8]

Npr. RNAV 1 označava bočno navigacijsko odstupanje od željene putanje leta, koje ne iznosi više od ± 1 NM tijekom 95% trajanja leta.

Današnji moderni komercijalni zrakoplovi koriste navigacijske sustave s više senzora za određivanje pozicije, koji mogu biti:

- VOR/DME
- DME/DME
- IRS
- GNSS.

RNP sustav koristi GNSS za određivanje pozicije zrakoplova, dok RNAV koristi preostale prethodno navedene senzore ili GNSS, ovisno o specifikaciji.

3.2. Proces implementacije

Iako sadrži mnogobrojne prednosti, primjena PBN postupaka unutar TMA podložna je prethodnoj analizi isplativosti implementacije. Nadležne zrakoplovne ili aerodromske vlasti u obzir bi trebale uzeti sljedeće faktore:

- operativni zahtjevi (glavni čimbenici koji utječu na potrebu za implementacijom, te operativne prednosti i nedostaci za korisnike i pružatelje usluga)
 - potreba za modifikacijom ruta unutar TMA zbog utjecaja na okoliš
 - promjena strukture zračnoga prostora radi poboljšanja kapaciteta
 - operatori zrakoplova (izravnije rute/rute koje će dovesti do smanjene potrošnje goriva)
 - promjena rutne strukture koja dovodi do promjena STAR procedura
- utvrđivanje tehničkih zahtjeva (nadogradnja zrakoplovne opreme)
 - tehnički zahtjevi za izradu procedura i zračni prostor (ICAO PANS-OPS Doc 8168)
- sigurnosni plan
 - standardi koji se moraju zadovoljiti i potrebni postupci radi zadovoljavanja odgovarajuće razine sigurnosti
- pregled potrebnih mjera za zrakoplove koji ne zadovoljavaju potrebne kriterije

- razvoj alternativnih procedura za zrakoplove koji ne zadovoljavaju potrebne RNAV/RNP kriterije
- potrebne promjene ili nadogradnja postojeće navigacijske infrastrukture
 - navigacijska infrastruktura mora biti takva da omogući normalne operacije, ali i operacije u slučaju nepredviđenih okolnosti prilikom kvara navigacijskih sustava (može utjecati na jedan zrakoplov u slučaju kvara opreme unutar zrakoplova ili više njih zbog nedostatnoga GPS signala ili kvara jednog ili više DME stanica). Održavanje VOR/DME stanica u slučaju potrebe za konvencionalnom navigacijom.
- utjecaj na procedure kontrole zračnoga prometa
 - RNAV STAR i prilazne procedure dovode do promjena unutar zračnoga prostora i ATM procedura. Standardizacija frazeologije.
- konzultacije s ostalim zrakoplovnima vlastima, korisnicama (zrakoplovni prijevoznici), lokalnim organizacijama (ekološki čimbenici), ICAO, EUROCONTROL;
- poslovni plan
 - prikaz prednosti koje se očekuju implementiranjem RNAV procedura
- raspored implementacije
 - nadležne zrakoplovne vlasti moraju upozoriti prijevoznike i omogućiti im dovoljno vremena kako bi ishodili potrebna odobrenja
- izrada, validacija i objavljivanje novih procedura
 - izrada procedura mora biti temeljena na suradnji svih zainteresiranih skupina i u skladu s PANS-OPS zahtjevima. Prije provjera u zraku izvode se provjere unutar simulatora i uz pomoć posebnih računalnih programa.
- distribucija plana implementacije
 - izdavanje pravovremenih obavijesti o promjenama i novitetima. Preporuča se minimalno razdoblje od 18 mjeseci [6].

3.3. Vrste PBN prilaza

Zbog postojanja raznih mogućnosti navigacijskih sustava objavljuju se različiti minimumi za slijetanje:

LNAV

LNAV minimum bazira se na nepreciznom prilazu (bez vertikalnog navođenja), pri čemu se bočno/lateralno pozicioniranje vrši pomoću GNSS-a. Objavljeni OCA/H za LNAV minimum promatra se kao MDA/H [8]. Letačka posada mora dodati 40 ft na ovaj minimum kako bi se u obzir uzeo gubitak visine prilikom započinjanja postupka neuspjeloga prilaznja [13].

LNAV/VNAV

Lateralno pozicioniranje se vrši pomoću GNSS-a, a vertikalno pomoću barometarskog visinomjera (Baro-VNAV). Pošto sadrži vertikalno navođenje, objavljeni OCA/H se promatra kao visina odluke za precizno prilaznje (DA/H) [8].

LPV (*Localizer Performance with Vertical guidance*)

Lateralno i vertikalno navođenje pomoću SBAS-a⁸. Objavljeni OCA/H promatraju se kao DA/H [8]. Ne zahtijeva navigacijsku infrastrukturu na aerodromu.

LP (*Localizer Performance*)

Vrsta nepreciznog prilaznja koje koristi SBAS za lateralno navođenje. Upotrebljava se na aerodromima gdje nije moguće implementirati LPV ili LNAV/VNAV minimume zbog prepreka ili drugih infrastrukturnih ograničenja. OCA/H za LP minimum promatra se kao MDA/H [8].

RNP AR (*Authorization Required*) LNAV/VNAV

Ova vrsta prilaza zahtijeva posebno odobrenje koje operator mora ishoditi. Moguće je smanjenje RNP vrijednosti do čak 0.1.

GLS (*GBAS Landing System*)

GNSS verzija preciznog prilaznja i alternativa ILS-u. Koristi zemaljsku GBAS (engl. *Ground based augmentation system*) stanicu na ili u blizini aerodroma, koja odašilje korigirane GNSS podatke zrakoplovu i time omogućava letenje s povećanom fleksibilnošću [13].

⁸ SBAS (*Satellite Based Augmentation System*) je naziv za sustave koji s pomoću satelita odašilju korekcijske podatke i podatke o integritetu satelitskih sustava GPS i GLONASS (ruska vojna mreža satelita iste namjene kao i GPS). Svrha im je povećati točnost i pouzdanost određivanja položaja.

3.4. Operativni postupci prilikom izvođenja PBN operacija

Operatori zrakoplova definiraju standardne operativne postupke (engl. *Standard operating procedure*, SOP), što uključuje:

- normalne, izvanredne i procedure u slučaju nepredviđenih okolnosti
- upravljanje elektroničkom navigacijskom bazom podataka
- unosom bitnih informacija unutar liste minimalne opreme (engl. *Minimum equipment list*, MEL)⁹
- razvoj sustava za nadzor i prijavu nezgoda prilikom izvođenja PBN operacija.

PBN operacije zahtijevaju određenu pripremu prije leta, te nadziranje sustava tijekom leta i samoga prilaznja na slijetanje. Letačka posada mora imati upisano PBN ovlaštenje unutar dozvole, čemu prethodi teorijska i praktična obuka, kako bi mogla izvoditi takve operacije.

Zrakoplovni prijevoznik, na čijem primjeru će se prikazati operativni postupci, koristi sljedeće PBN specifikacije unutar europskog zračnog prostora:

- odlazne procedure: RNAV 5 i RNP 1
- krstarenje: RNAV 5
- dolazne procedure: RNAV 1 i RNP 1
- prilaznje: RNP prilaz (do LNAV i LNAV/VNAV minimuma).

3.4.1. Planiranje leta

Prije leta potrebno je provjeriti sadržaj plana leta, u kojemu je definirana mogućnost zrakoplova za izvođenje željenih PBN postupaka, i to uvidom u polja 10: „*Radio Communication, Navigation and Approach Equipment*“: **R** (=PBN) i 18: „*Other Information*“: **PBN/** (prikaz RNAV ili RNP specifikacija) (slika 12.):

- B1 (RNAV 5)
- D1 (RNAV 1)

⁹ MEL omogućuje operaciju zrakoplova, prema specifičnim uvjetima, s određenim instrumentima, dijelovima opreme ili funkcijama, neispravnima na početku leta. Ovu listu izrađuje operator zrakoplova za svoj zrakoplov, uzimajući u obzir osobine zrakoplova, odgovarajuće uvjete izvođenja operacija i održavanja zrakoplova u skladu s postupcima odobrenim od strane Hrvatske agencije za civilno zrakoplovstvo. Operator mora izraditi listu minimalne opreme u skladu s glavnom listom minimalne opreme, ako ona postoji.

- O1 (RNP 1)
- S2 (RNP APCH uz BARO-VNAV)
- S1 (RNP APCH)

[ATC Flight Plan]

```

-----
FF EUCHZMFP EUCBZMFP
312339 EDDFRYRX
(FPL-RYR160H-IS
-B738/M-SDGII[RWYZ/SB1
-LEAL0630
-N0441F360 MITOS UN608 COMPI UY90 USKAR/N0444F380 UN863 CNA UM184
TUPAR UY120 AKIKI UN867 AVANT UM184 HEMEL/N0439F370 Q3
MOGLI/N0440F360 UL613 MAMUL UY250 RIMTO RIMTO1N
-EGNT0227 EGNM
-PBN/A1B1D1O1S2 COM/TCAS DOF/190801 REG/EIEKC EET/LFFF0040 EGTT0140
OPR/RYR PER/C RVR/200 RMK/CONTACT +353 1 9451990 TCAS)

```

Slika 12. Plan leta

IZVOR: plan leta dostupan letačkoj posadi (sustav LIDO)

Ukoliko se planira slijetanje na aerodrom i/ili alternativni aerodrom s RNP prilazom, letačka posada mora provjeriti:

- da na alternativnom aerodromu postoji prilazna procedura koja nije RNP, kada je alternativni aerodrom potreban;
- da postoji najmanje jedna prilazna procedura na određišnom aerodromu koja nije RNP, ukoliko alternativni aerodrom nije potreban; i
- da u slučaju odabira alternativnoga aerodroma, vremenski uvjeti u fazi planiranja leta (1 h prije i 1 h poslije planiranoga dolaska) moraju biti bolji od minimalnih iz tablice 4.

Tablica 4. Minimumi potrebni za odabir alternativnoga aerodroma u prijeletnoj fazi

| Vrsta prilaza | Minimum za planiranje |
|----------------------|---|
| CAT II i III | CAT I RVR |
| CAT I | RVR/vidljivost i baza oblaka za neprecizni prilaz |
| Neprecizni | Minimum za neprecizni prilaz plus 1000 m/200 ft |
| APV BARO – LNAV/VNAV | Minimum za neprecizni prilaz ili CAT I minimum ovisno od DH/MDH |
| Prilaženje kruženjem | Prilaženje kruženjem |

IZVOR: [12]

U obzir je potrebno uzeti i sve NOTAM-e i materijale namijenjene informiranju posade, a koji mogu imati utjecaj na rad zrakoplovnih sustava i/ili dostupnost takvih procedura na aerodromu odlaska, dolaska ili bilo kojem alternativnom aerodromu.

PRIMJER: Aerodrom Dubrovnik odabran je kao alternativni aerodromu Split. Zbog vremenskih uvjeta u Dubrovniku u uporabi je staza 11, a prema NOTAM-u ILS prilaz nije u funkciji, te se očekuje RNAV (GNSS) prilaz do LNAV minimuma. Minimum za taj prilaz iznosi 1890 ft (1371 ft) i vidljivost 5000 m. Prema tablici 8., kako bi mogao biti odabran kao alternativni aerodrom u fazi planiranja leta, baza oblaka ne smije biti ispod 2090 ft (1571 ft), a vidljivost najmanje 6000 m.

Prijeletne provjere uključuju i RAIM¹⁰ provjeru za sve vrste prilaza koje se baziraju na GPS-u (npr. RNP APCH, RNP 1 i RNAV 1 baziran na GNSS-u). Provjera se odnosi na vremenski period od 15 minuta prije i 15 minuta poslije procijenjenog vremena dolaska (engl. *Estimated time of arrival*, ETA). U slučaju da je predviđeni gubitak signala satelita veći od 5 minuta, potrebno je odgoditi polijetanje, ući u postupak čekanja, planirati drugu vrstu prilaza, ili sl. Primjer RAIM provjere iz sustava za izradu planova leta LIDO prikazan je na slici 13.

RAIM provjera je potrebna za aerodrom odlaska, dolaska, te alternativni aerodrom. U slučaju nepredviđenih situacija na ruti i odlaska na alternativni aerodrom, moguće je započeti RNP prilaz na aerodromu koji nije bio planiran u prijeletnoj pripremi (sustavi unutar zrakoplova imaju mogućnost prikaza obavijesti letačkoj posadi u slučaju gubitka opreme potrebne za RNP prilaz).

Ukoliko neki od sustava na zrakoplovu nije u funkciji, potrebno je provjeriti MEL listu u kojoj je definirana potrebna oprema za različite PBN specifikacije (tablica 5.)

¹⁰ *Receiver Autonomous Integrity Monitoring* – procjena integriteta GPS signala unutar sustava GPS prijmnika. Objavljuju se lokacija, putanja i planirani gubitci signala GPS-a, čime je moguće unaprijed utvrditi geografska područja bez dostatne GPS pokrivenosti.

| [RAIM Briefing] | | | | |
|--|------------------------------|------------|------------|--|
| ----- | | | | |
| FUEL ADVISORY: | | | | |
| THERE ARE NO RAIM OUTAGES FOR THE PLANNED APPROACHES | | | | |
| ----- | | | | |
| RAIM BRIEFING | | | | |
| EIDW --> LDDU FR3880 / 31-Jul-19 | | | | |
| VALID: 31-Jul-19 08:00 - 31-Jul-19 14:40 | | | | |
| MINIMUM NUMBER OF HEALTHY SATELLITES: 30 | | | | |
| DURING VALIDITY OF THE BRIEFING PACKAGE FOLLOWING RAIM OUTAGES EXIST | | | | |
| DEPARTURE AIRPORT | | | | |
| EIDW / DUB | DUBLIN INTL / ENR AP | | | |
| PRECISION | BARO AIDED | MASK ANGLE | OUTAGE | |
| RNP 0.30 | yes | 5.0 | NO OUTAGES | |
| RNP 1.00 | yes | 5.0 | NO OUTAGES | |
| DESTINATION AIRPORT | | | | |
| LDDU / DBV | DUBROVNIK/CILIP / ENR AP | | | |
| PRECISION | BARO AIDED | MASK ANGLE | OUTAGE | |
| RNP 0.30 | yes | 5.0 | NO OUTAGES | |
| DESTINATION ALTERNATE(S) | | | | |
| LDSP / SPU | SPLIT/KASTELA / ENR AP | | | |
| PRECISION | BARO AIDED | MASK ANGLE | OUTAGE | |
| RNP 0.30 | yes | 5.0 | NO OUTAGES | |
| LIPQ / TRS | TRIESTE/RONCHI DEI LEGIONARI | | | |
| PRECISION | BARO AIDED | MASK ANGLE | OUTAGE | |
| RNP 0.30 | yes | 5.0 | NO OUTAGES | |
| RNP 1.00 | yes | 5.0 | NO OUTAGES | |
| LOWK / KLU | KLAGENFURT | | | |
| PRECISION | BARO AIDED | MASK ANGLE | OUTAGE | |
| RNP 0.30 | yes | 5.0 | NO OUTAGES | |
| ENROUTE AIRPORT(S) | | | | |
| EGBB / BHX | BIRMINGHAM | | | |
| PRECISION | BARO AIDED | MASK ANGLE | OUTAGE | |
| RNP 0.30 | yes | 5.0 | NO OUTAGES | |
| RNP 1.00 | yes | 5.0 | NO OUTAGES | |
| EGGP / LPL | LIVERPOOL | | | |
| PRECISION | BARO AIDED | MASK ANGLE | OUTAGE | |
| RNP 0.30 | yes | 5.0 | NO OUTAGES | |
| RNP 1.00 | yes | 5.0 | NO OUTAGES | |
| EGSS / STN | LONDON/STANSTED | | | |
| PRECISION | BARO AIDED | MASK ANGLE | OUTAGE | |

Slika 13. RAIM provjera za let Dublin – Dubrovnik

IZVOR: plan leta dostupan letačkoj posadi (sustav LIDO)

U prethodnom primjeru ne očekuje se gubitak signala satelita – *NO OUTAGES*. Ako bi postojao gubitak signala, on će se očitovati u vremenskom trajanju (početak – završetak).

Tablica 5. Prikaz minimalne opreme potrebne za različite PBN specifikacije

| MEL Item Number and Description | Installed | Minimum required for | | | | | | |
|--|-----------|----------------------|-------|----------|-------|---------------|------|------|
| | | RNAV1 | RNAV5 | RNP APCH | RNP 1 | APV Baro-VNAV | MNPS | RVSM |
| 22-01 Autopilot System | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 22-06 Mode Annunciations | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 22-15-05 F/D Switches | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 22-15-08 LNAV Switch | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 22-15-08 VNAV Switch | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 22-15-08 ALT HOLD Switch | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 22-15-09 MCP - SPD INTV | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 23-11 HF Communications System | Up to 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 34-12 Flight Director Systems | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 34-13 DME Systems | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 34-20 Radio Altimeter | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 34-25 Altitude Alerting System | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 34-26-01 EPGWS | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 34-35 Inertial Reference Systems | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 0 | * | 0 |
| 34-36 FMCS | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | * | 0 |
| 34-36-02-03 CDU/MCDU | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 34-36-02-03 Navigation Database | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 34-40 TCAS | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 34-45 GPS System | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 |

IZVOR: MEL lista dostupna letačkoj posadi

Dolaskom u zrakoplov letачka posada provjerava valjanost FMC navigacijske baze podataka i utvrđuje točnost unesene pozicije zrakoplova unutar FMC-a, te valjanost zrakoplovnih karata. Zatim identificira i potvrđuje navigacijska sredstva koja moraju biti isključena iz operacija i provjerava funkcionalnost navigacijskih sustava potrebnih za izvršavanje željenih PBN postupaka.

Kod specifikacija RNAV 1 i RNP 1, te RNP prilaza nije dozvoljeno unošenje ili modificiranje putnih točaka unutar procedure iz navigacijske baze, ali je moguće unijeti ograničenja brzina i visina na točkama, ukoliko iste nisu sadržane u bazi podataka.

3.4.2. Informiranje u letu

Prije početka spuštanja posada započinje sa pripremom za dolazak i prilaženje na odredište. Iako postoje različiti modeli informiranja (engl. *Briefing*), ovdje će se opisati tzv. DALTA (*Descent – Approach – Landing – Taxi – Apron*). Prije DALTA-e, piloti se informiraju o potencijalnim opasnostima na aerodromu dolaska (vremenske nepogode, prisutnost ptica u putanji završnog prilaženja, radovi, itd.).

- D:**
- provjera brzine spuštanja unutar FMC-a (maksimalno 250 kn ispod 10 000 ft)
 - upisivanje relevantnih vjetrova na različitim visinama, QNH i devijacija temperature od standardne na određenom aerodromu, prijelazna razina (razlog tome je kreiranje točnijeg vertikalnog profila – VNAV).
- A:**
- odabir dolazne i prilazne procedure unutar FMC-a (usporedba FMC-a i zrakoplovnih karata – redoslijed preletišta, poklapanje udaljenosti i smjerova između preletišta, te putanje završnoga prilaženja, utvrđivanje *flyby* i *flyover* preletišta, ograničenja visina i brzina)
 - kreiranje kružnica polumjera 4, tj. 5 NM ovisno da li prevladavaju VMC ili IMC uvjeti (podsjetnik za izvlačenje podvozja i zakrilaca za slijetanje), 10 NM (najkasnije kada zakrilca moraju biti izvučena u položaj 1, preporučena brzina maksimalno 200 kn i visina otprilike 3000 ft iznad elevacije aerodroma) i 3x visina krstarenje (otprilike odgovara T/D-u), mjereno od staze za slijetanje
 - unutar FMC-a odabrati ili provjeriti vrijednost RNP-a 0.3

- za RNP prilaz, potvrditi funkcionalnost oba FMC-a (uvijet za tu vrstu prilaza)
- usporediti kut poniranja u završnom prilaženju s onim na prilaznoj karti (maksimalna razlika $\pm 0.1^\circ$)
- utvrditi položaj MAPt-a na prilaznoj karti
- selektirati navigacijska sredstva po potrebi i namjestiti kurseve na MCP-u
- definirati postupke u slučaju nepredviđenih okolnosti (više detalja kasnije u tekstu).

DODATNO: Pilot koji leti (engl. Pilot flying, PF) utvrđuje tzv. točku spuštanja (engl. Descent point) – npr. FAF. 2 NM prije te točke drugi pilot će mu javiti: „APPROACHING DESCENT“, pri čemu PF na MCP-u postavlja minimum, provjerava aktivaciju moda VNAV PATH i potvrđuje kontrolu nad brzinom na MCP-u (brzina više nije kontrolirana od strane FMC-a). Dolaskom na FAF PF javlja: „FAF, XXXX FT, FLAGS/NO FLAGS“, a drugi piloti odgovara: „ALTITUDE CHECKS/ALTITUDE DOES NOT CHECK, FLAGS/NO FLAGS“. U segmentu završnog prilaženja drugi pilot će na prilaznoj karti provjeriti odnos udaljenost/visina, radi kontrole vertikalne putanje.

Za sve APV BARO – LNAV/VNAV, neprecizne i vizualne prilaze radi se standardno informiranje (u ovome slučaju DALTA), te dodatno informiranje (tzv. *Double briefing*) koje uključuje:

- provjeru i odabir QNH i minimuma za slijetanje (kod nepreciznih prilaza na minimum se dodaje 40 ft)
- korekcije visine zbog utjecaja niske temperature (engl. *Cold temperature correction*) i provjeru ograničenja temperature za APV prilaz (prilazna karta)
- redoslijed izvlačenja konfiguracije (zakrilca i podvozje)
- odabir lateralnih i vertikalnih modova na MCP-u (u slučaju RNAV/RNP prilaza su to LNAV i VNAV za prilaze do LNAV/VNAV minimuma i LNAV i VNAV ili V/S za prilaze do LNAV minimuma), te sustava automatske kontrole potiska
- postupke u slučaju vizualnih uvjeta (nastavak prilaženja – isključivanje autopilota i sustava automatske kontrole potiska)

- postupke u slučaju dolaska na MDA/DA bez vanjskih vizualnih referenci (procedura neuspjelog prilaznja)
- definiranje visine na kojoj se utvrđuje (ne)stabilnost prilaza, tzv. *Landing gate* (brzina, konfiguracija, lateralni i vertikalni položaj zrakoplova), a koja iznosi 500 ft iznad aerodroma u VMC uvjetima, te 1000 ft u IMC uvjetima. Ako je prilaz stabilan, pilot koji ne leti će reći slijedeće: „500 continue“, a u slučaju nestabilnoga prilaza: „500/1000 go-around“.

Dodatno za RNAV prilaz:

- posada mora biti kvalificirana
- zrakoplov mora biti kvalificiran, oba FMC-a u funkciji
- prilaz kvalificiran – RNAV (GNSS/GPS)
- potvrditi da se kut poniranja u završnom prilaznju unutar FMC-a ne razlikuje za više od ± 0.1 od onoga na prilaznoj karti
- unutar FMC-a odabrati ili provjeriti vrijednost RNP-a 0.3
- definirati postupke u slučaju nepredviđenih okolnosti tijekom prilaza (gubitak RNAV mogućnosti):
 - neuspjelo prilaznje je obavezno u slučaju da se na CDU pojavi jedna od slijedećih obavijesti: *UNABLE REQD NAV PERF – RNP* (stvarna navigacijska sposobna FMC-a nije dostatna za prikazani RNP), *FMC DISAGREE* (odstupanje u promatranim parametrima potrebnima za funkcioniranje oba FMC-a), *VERIFY POSITION* (informacije o poziciji su kontradiktorne), *FMC POS/RW DISAGREE* (informacije o poziciji su kontradiktorne), *IRS POS DISAGREE* (informacije o poziciji su kontradiktorne), *UNABLE PROC AIRSPACE* (minimalni proceduralni zaokret će premašiti dopušteno odstupanje – mogući ulazak u nezaštićeni zračni prostor), *GPS INVALID* (FMC ne prima korisne podatke iz GPS sustava) ili ako se aktivira *FMC amber* upozorenje (prekid rada jednog ili oba FMC-a) na prednjoj instrumentalnoj ploči, osim ako nisu uspostavljeni vizualni uvjeti koji su održivi do slijetanja (prije FAP-a/FAF-a, nakon toga ako je ANP veći od RNP), te svi ostali kvarovi ili pogreške u sustavu koje mogu utjecati na uspješno izvršavanje RNP prilaza
- ograničenja prilikom RNAV prilaza:
 - maksimalna razlika u visini između dva visinomjera iznosi 100 ft (na ili prije FAF-a)
 - vertikalna devijacija u završnom prilaznju ± 75 ft

- XTK pogreška u završnom prilaženju 0.15 NM i RNP 0.3 [12].

Vertikalnu devijaciju, XTK pogrešku i vrijednost RNP-a moguće je provjeriti unutar FMC-a na stranici RNP PROGRESS 4/4 (slika 14.)



Slika 14. Prikaz RNP karakteristika unutar FMC-a

- L:** - provjera preostale količine goriva u trenutku slijetanja i usporedba s minimalnim potrebnim gorivom, proračun mase za slijetanje, proračun performansi za slijetanje (brzina završnog prilaženja i stupnjevi zakrilaca), odabir stupnjeva zakrilaca i brzine unutar FMC-a, odabir stupnja automatske deceleracije, provjera i postavljanje minimuma za slijetanje.
- T:** - identifikacija i informiranje rute za rulanje, potencijalne prijetnje.
- A:** - provjeriti i locirati dodijeljenju poziciju za parkiranje ili očekivano područje parkiranja.

NAPOMENA:

1) Letačka posada smije prihvatiti odobrenje kontrole leta za izravan let prema IF-u, uz uvjet da će zrakoplov biti pozicioniran na putanji završnog prilaženja najmanje dvije nautičke milje prije FAF-a.

2) Odobrenje za izravan let prema FAF-u ne smije se prihvatiti. Zrakoplov mora biti pozicioniran na putanji završnog prilaženja prije FAF-a i početka snižavanja u svrhu nadvisivanje terena i prepreka.

3.4.3. Neuspjelo prilaženje

U slučaju procedure neuspjelog prilaženja FMC će nastaviti slijediti proceduru kao što je uneseno u sustav. Odabirom prilazne procedure prilikom DALTA-e, automatski se kreira i pripadajući postupak neuspjelog prilaženja. Vrijednost RNP-a za neuspjelo prilaženje iznosi 1 NM.

Ako dođe do gubitka jednog FMC-a tijekom procedure za koju su potrebna oba, posada mora prekinuti prilaz ako je do otkaza došlo prije FAF-a, ali smije nastaviti ako se otkaz dogodio poslije istoga. Kao što je navedeno u prethodnom potpoglavlju, prilaz mora biti prekinut u slučaju:

- otkaza navigacijskog sustava
- nedopuštenih lateralnih i vertikalnih odstupanja od putanje
- gubitka sustava u zrakoplovu zaduženog za praćenje i izdavanje upozorenja,

osim ako nisu uspostavljeni vizualni uvjeti dostatni za nastavak prilaza.


Gubitkom vertikalnog navođenja moguće je nastaviti prilaz kao što je prethodno navedeno. Prilikom procedure neuspjelog prilaženja može se koristiti lateralno navođenje pomoću FMC-a, ukoliko je ANP manji od 1 NM. Ako je ANP veći od 1 NM, dolazi do gubitka RNP mogućnosti i posada mora tražiti radarsko vektoriranje od kontrole leta ili izvršiti proceduru neuspjelog prilaženja koja se bazira na konvencionalnoj navigaciji.

3.4.4. Korekcija visine zbog utjecaja niske temperature

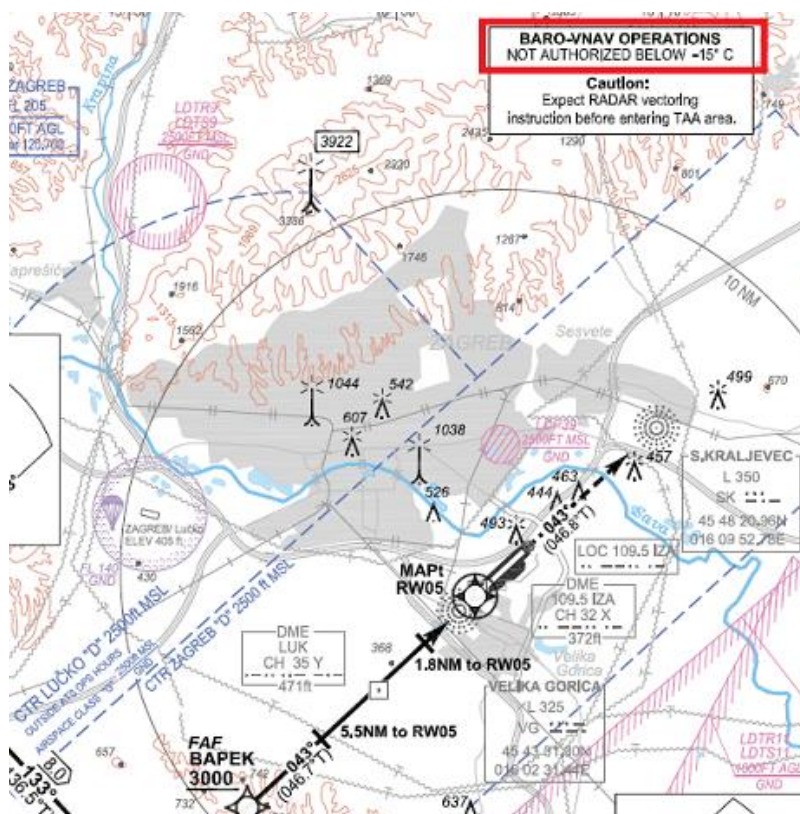
Visinomjer unutar zrakoplova je kalibriran na standardne (ISA¹¹) uvjete. Odstupanje od ISA-e dovodi do toga da stvarna visina zrakoplova može biti viša ili niža od prikazane na visinomjeru. Ulaskom u područje visokih temperatura, stvarna visina zrakoplova viša je od prikazane. Obrnuto vrijedi za područje niskih temperatura. Upravo je to jedna od prijetnji u segmentu dolaska i prilaženja, radi narušavanja normi za nadvisivanje prepreka. Korekcija iznosi oko 4% za svakih 10°C ispod standardne temperature, mjereno od izvora postavke visinomjera. Pri jako niskim temperatura (ispod -15°C) pogreška visinomjera značajno raste i potrebne su preciznije korekcije od prethodno navedenih [14].

Unutar tablice 6. prikazan je postupak korekcije temperature za prilaze do LNAV/VNAV, te LNAV minimuma.

Tablica 6. Postupak korekcije visine uzrokovane niskom temperaturom

| LNAV/VNAV minimum | LNAV minimum |
|--|--|
| Provjeriti na prilaznoj karti temperaturna ograničenja za navedenu proceduru (slika 15.). Ako je temperatura izvan limita, prelazi se na proceduru s LNAV minimumom. |  |
| Ako je temperatura na aerodromu $\leq 0^{\circ}\text{C}$: <ul style="list-style-type: none"> • korigirati MSA • korigirati LNAV/VNAV DA • korigirati sve visine ispod MSA do FAF-a • ne korigirati visine između FAF-a i MAPt-a (uključujući FAF) • korigirati visine koje su ispod MSA unutar procedure neuspjelog prilaženja | Ako je temperatura na aerodromu $\leq 0^{\circ}\text{C}$: <ul style="list-style-type: none"> • korigirati MSA • korigirati MDA i dodati 40 ft • korigirati sve visine ispod MSA, uključujući visine od FAF-a do MAPt-a • korigirati visine koje su ispod MSA unutar procedure neuspjelog prilaženja |

¹¹ Međunarodna standardna atmosfera (engl. *International standard atmosphere*) - međunarodno prihvaćen model stanja atmosfere (od 1920.) i vertikalne raspodjele temperature i tlaka, do 90 km visine, koja se uzima kao svjetski prosjek vrijednosti tih veličina. Za stanje pri tlu definira se temperatura od 15 °C, tlak od 1013,25 hPa i gustoća zraka od 1,225 kg/m³. Temperatura zraka od tla do tropopauze opada za 6,5 °C/km, sve do visine od 11 km, gdje iznosi -56,5 °C, a ostaje nepromijenjena u sloju od daljnjih 9 km.



Slika 15. Isječak iz prilazne RNAV (GNSS) karte za stazu 05 aerodroma Zagreb

IZVOR: [15]

U tablici 7. može se vidjeti primjer korekcije visine za različite devijacije temperature. Uočljivo je da potrebna korekcija raste povećanjem visine i snižavanjem temperature.

Tablica 7. Vrijednost korekcije visine u odnosu na devijaciju temperature

| KOREKCIJA VISINOMJERA ZBOG UTJECAJA NISKE TEMPERATURE (ft) | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| TEMPERATURA NA AERODROMU | RELATIVNA VISINA IZNAD ELEVACIJE AERODROMA | | | | | | | | | | | | | |
| (°C) | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1500 | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 |
| 0 | 20 | 20 | 30 | 30 | 40 | 40 | 50 | 50 | 60 | 90 | 120 | 170 | 230 | 280 |
| -10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 150 | 200 | 290 | 390 | 490 |
| -20 | 30 | 50 | 60 | 70 | 90 | 100 | 120 | 130 | 140 | 210 | 280 | 420 | 570 | 710 |
| -30 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 150 | 170 | 190 | 280 | 380 | 570 | 760 | 950 |
| -40 | 50 | 80 | 100 | 120 | 150 | 170 | 190 | 220 | 240 | 360 | 480 | 720 | 970 | 1210 |
| -50 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 450 | 590 | 890 | 1190 | 1500 |

IZVOR: [12]

PRIMJER: Temperatura na aerodromu Zagreb iznosi 0°C , te se očekuje prilaženje do LNAV minimuma. Prema slici 15. visina na FAF-u (BAPEK) iznosi 3000 ft, što je 2647 ft iznad elevacije aerodroma. Prema podacima iz tablice iznad i uz korištenje linearne interpolacije, dobijemo vrijednost korekcije od otprilike 152 ft za visinu od 2647 ft. Korigirana visina na FAF-u iznosi $3000\text{ ft} + 152\text{ ft} = 3152\text{ ft}$. U ovome slučaju letачka posada bi na MCP-u namjestila visinu od 3200 ft.

Letačka posada zadužena je za primjenu korekcije, osim u slučajevima radarskog vektoriranja. Tada kontrolor zračnoga prometa, primjenjujući potrebnu korekciju, izdaje odobrenja koja osiguravaju nadvisivanje prepreka u svim slučajevima [2].

4. SUSTAV ZA UPRAVLJANJE I VOĐENJE LETA ZRAKOPLOVA

Jedna od najbitnijih komponenti modernih zrakoplova je sustav za upravljanje i vođenje leta zrakoplova (engl. *Flight management and guidance system*, FMGS) - termin koji se uglavnom koristi kod proizvođača zrakoplova *Airbus*, tj. sustav za upravljanje leta zrakoplova (engl. *Flight management system*, FMS), koji koriste *Boeing* i većina ostalih proizvođača. U tekstu koji slijedi opisan će se ključne značajke ovog vrlo složenog sustava na primjeru zrakoplova *Boeing 737-800*.

Implementacijom FMS-a uvelike je smanjena opterećenost letačke posade, jer sustav pruža informacije o navigaciji i performansama zrakoplova. FMS se sastoji od slijedećih komponenti:

- *Flight management computer system (FMCS)*
- *Autopilot/flight director system (AFDS)*
- *Autothrottle (A/T)*
- *Inertial reference systems (IRS)*
- *Global positioning system (GPS)*.

Svaka od navedenih komponenti djeluje kao nezavisan sustav, te se kao takav može koristiti pojedinačno ili u različitim kombinacijama. Pojam FMS označava međusobnu interakciju pojedinačnih sustava, s ciljem kontinuiranoga navođenja, navigacije i upravljanja performansama.

Glavni dio sustava je *Flight Management Computer (FMC)*, koji vrši navigacijske, kao i proračune o performansama zrakoplova, te pruža naredbe o upravljanju i vođenju zrakoplova [12].

4.1. Općenito o sustavu

FMS pomaže letačkoj posadi prilikom upravljanja automatskom navigacijom, nadgledanju goriva, optimizaciji performansi tijekom leta i podešavanju informacija na prikaznicima (npr. brzina zrakoplova, potreban N1 za polijetanje, itd.). Funkcije automatskoga leta omogućavaju upravljanje lateralnom (engl. *Lateral navigation*, LNAV) i vertikalnom (engl. *Vertical navigation*, VNAV) putanjom leta.

Podaci o samoj ruti i letu upisuju se unutar CDU-a (*Control display unit*) (slika 14.). FMS zatim koristi različite podatke (navigacijska baza, pozicija zrakoplova, podaci o ostalim sustavima zrakoplova) kako bi proračunao potrebne parametre za ručnu ili automatsku kontrolu putanjom letom. Dva identična i nezavisna CDU-a služe posadi kao interakcija s FMC-om. Podaci se mogu upisivati u bilo koji CDU, a preporuča se izbjegavanje istovremenoga unosa podataka. Podaci i proračuni iz FMC-a dostupni su na oba CDU-a, međutim, svaki pilot ima individualnu kontrolu nad prikazom podataka na CDU-u kojega koristi.

FMS omogućava automatski odabir navigacijskih sredstava i utvrđivanje LNAV kurseva. Navigacijska baza podataka sadrži informacije o rutama, SID-ovima, STAR-ovima, postupcima čekanja i proceduralnim zaokretima.

Kod vertikalne navigacije vrše se proračuni o potrošnji goriva, optimalnoj brzini i preporučenim visinama. Korištenjem visine krstarenja i ograničenja visina na određenim točkama zadaju se naredbe u modu rada VNAV. Ako se koristi mod rada Zahtijevano vrijeme dolaska (engl. *Required time of Arrival*, RTA), proračuni uključuju potrebne brzine, vrijeme polijetanja i podatke o napretku samoga leta.

Kao što je ranije navedeno, osnovni element FMS-a je FMC. FMC je računalo koje prikuplja slijedeće podatke: informacije o planu leta koje unosi letačka posada, informacije iz različitih sustava zrakoplova i podatke iz navigacijske baze. Ti podaci služe za proračun trenutne pozicije zrakoplova i izdavanje naredbi vezanih za propinjanje, valjanje i potrebni potisak, a koje su potrebne za izradu optimalnog profila leta. Naredbe se zatim šalju u sustave automatske kontrole potiska (engl. *Autothrottle*), autopilota i upravljanja letom (engl. *Flight Director*, FD). Informacije o ruti i mapi se šalju u prikazne jedinice (engl. *Display units*). Uz pomoć EFIS (engl. *Electronic flight instrument System*) upravljačke ploče (slika 16.) moguće je odabrati prikaz željenih informacija na navigacijskim prikaznicima (engl. *Navigation display*) (slika 17.) i primarnim letačkim prikaznicima (engl. *Primary flight display*) (slika 18.)

(npr. prikaz položaja zrakoplovu u odnosu na VOR ili NDB, prikaz terena, odabir minimuma za slijetanje, radarska slika vremena, aerodromi, navigacijska sredstva, itd.).



Slika 16. EFIS upravljačka ploča



Slika 17. Navigacijski prikaznik

Navigacijski prikaznik prikazuje razne opcije, od kojih je jedna od najvažnijih prikaz rute upisane unutar FMC-a. Prilikom spuštanja, u donjem desnom kutu prikaznika, pojavljuje se i prikaz vertikalne putanje leta.



Slika 18. PFD

PFD prikazuje aktivne lateralne i vertikalne navigacijske modove, te modove sustava automatske kontrole potiska, zatim brzinu, visinu i vertikalnu brzinu, status sustava upravljanja letom i autopilota, te podatke o putanji i smjeru.

Kontrolna ploča za odabir modova (*engl. Mode control panel, MCP*) (slika 19.) koristi se za odabir načina rada sustava automatske kontrole potiska, autopilota i upravljanja letom. Omogućava unos kurseva, brzine, smjera, visine i vertikalne brzine.



Slika 19. MCP

IZVOR: [12]

FMC i CDU koriste se za navigaciju na ruti, te u završnoj kontroliranoj zoni, RNAV prilazima i kao dodatak primarnoj navigaciji prilikom izvođenja svih vrsta instrumentalnoga prilaznja.

Zbog toga što se u zrakoplovu nalaze dva FMC-a, dozvoljeno je letjeti izvan područja pokrivenosti radio-navigacijskih sredstava. Drugi FMC služi kao pričuva u slučaju kvara prvoga, pružajući jednake navigacijske mogućnosti. Jedan FMC uvijek je označen kao primarni, a odabir se vrši pomoću prekidača *FMC Source Selector* (slika 20).



Slika 20. FMC Source Selector

Kao što je vidljivo na prethodnoj slici, prekidač ima tri položaja: *BOTH ON L*, *NORMAL* i *BOTH ON R*. Odabirom položaja *BOTH ON L* ili *BOTH ON R* izolira se rad FMC-a na lijevi ili desni. U položaju *NORMAL*, lijevi FMC je primarni. Iako posada može unositi informacije u bilo koji CDU, primarni FMC je zadužen za:

- automatsko podešavanje navigacijskih sredstava i funkciju ažuriranja između FMC-a,
- sinkronizaciju između FMC-a,
- kontrolu CDU prikaznika,
- slanje podataka autopilotu, i
- slanje podataka sustavu automatske kontrole potiska [12].

Kada utvrđivanje položaja pomoću vanjskih izvora nije moguće (GPS ili radio-navigacijska sredstva), FMC kao referentne podatke o poziciji zrakoplova koristi inercijalni referentni sustav (engl. *Inertial reference system*, IRS)¹². Kada je IRS jedini izvor podataka o

¹² Boeing 737-800 sadrži dva nezavisna IRS-a. Svaki IRS sastoji se od tri seta laserskih žiroskopa i akcelerometara. IRS-ovi su jedini izvor informacija o položaju i smjeru zrakoplova. U normalnom modu rada, IRS-ovi šalju

poziciji, FMC koristi automatsko ispravljanje IRS pozicije kako bi utvrdio navjerojatniju FMC poziciju. Uz to, izračunava faktor ispravke „promatranjem“ IRS performansi tijekom razdoblja normalnoga utvrđivanja pozicije, kako bi utvrdio tipičnu vrijednost pogreške IRS-a. U slučaju da podaci iz vanjskih izvora nisu dostupni, može doći do degradacije navigacijske sposobnosti.

4.2. Način rada

Nakon pokretanja, FMS ulazi u prijeletnu fazu rada. Postepeno, kako se faze leta mijenjaju, FMS automatski vrši njihovu promjenu, i to slijedećim redoslijedom:

PRIJE LETA: U prijeletnoj fazi unutar CDU-a se unose podaci iz plana leta i liste opterećenja i uravnoteženja zrakoplova. Time se definira ruta od aerodroma polaska do aerodroma dolaska, te se aktivira inicijalizacija LNAV-a. Podaci iz plana leta, zajedno s informacijama iz liste opterećenja i uravnoteženja daju informacije o performansama potrebne za inicijalizaciju VNAV-a.

Prijeletne podatke koje je potrebno unijeti su:

- početna pozicija,
- ruta,
- podaci o polijetanju, i
- podaci o performansama.

Dodatni podaci koje je moguće unijeti su:

- navigacijska baza podataka
- SID i STAR
- ruta br. 2
- RTA podaci
- vjetar u krstarenju
- smanjena ograničenja potiska za polijetanje i penjanje.

odgovarajućim sustavima zrakoplova informacije o položaju, pravom i magnetskom smjeru, akceleraciji, vertikalnoj brzini, brzini u odnosu na zemlju, putanji, trenutnoj poziciji i podatke o vjetru.

| | |
|------------------------|--|
| <u>Polijetanje:</u> | Ova faza započinje odabirom TO/GA ¹³ i traje do visine gdje se smanjuje potisak i prelazi na potisak za penjanje. |
| <u>Penjanje:</u> | Faza penjanja započinje na visini gdje dolazi do smanjivanja potiska i traje to trenutka kada zrakoplov dosegne visinu krstarenja – <i>Top of Climb (T/C)</i> , koja je unešena u CDU. |
| <u>Krstarenje:</u> | Traje od T/C-a do trenutka gdje bi trebalo započeti spuštanje – <i>Top of Descent (T/D)</i> . |
| <u>Spuštanje:</u> | Počinje na T/D-u ili prilikom aktiviranja <i>level change</i> ili <i>vertical speed</i> (odabiru se na MCP-u), koji služe za početak spuštanja. Traje do faze prilaznja. |
| <u>Prilazjenje:</u> | Počinje dvije nautičke milje prije dolaska na prvu putnu točku (engl. <i>Waypoint</i>) iz objavljene prilazne procedure. |
| <u>Završetak leta:</u> | Nakon slijetanja dolazi do brisanja aktivnoga plana leta i prethodno unesenih podataka. Neki prijeletni podaci vraćaju se na početne vrijednosti kao priprema za slijedeći let. |

4.2.1. Utvrđivanje pozicije

Trenutna pozicija utvrđuje se prema podacima iz IRS-a, GPS-a i dostupnih radio-navigacijskih sredstava. Na zemlji, FMC proračunava poziciju na temelju GPS podataka. Ako ti podaci nisu dostupni, koriste se IRS podaci. Tijekom leta, pozicija se ažurira na temelju GPS podataka, signala dostupnih radio-navigacijskih sredstava, te IRS-a. Prioritet prilikom ažuriranja pozicije ovisi o dostupnosti valjanih podataka iz pratećih sustava.

FMC vrši ažuriranje podataka o poziciji s navigacijskih senzora prema prioritetu kako slijedi:

- GPS
- dvije ili više DME stanica
- jedan VOR/DME

¹³ TO/GA (*Takeoff/Go-Around*) – prekidač na ručicama potiska; pritiskom na TO/GA tijekom polijetanja, sustav za automatsko upravljanje potiskom se aktivira u N1 načinu rada (time se postiže potrební potisak za polijetanje), te se aktiviraju komande FD-a na primarnom prikazniku leta (engl. *Primary flight display*, PFD).

- jedan LOC/DME
- jedan LOC¹⁴ [12].



Slika 21. Prikaz radio-navigacijskih sredstava

Na slici 21. prikazan je popis radio-navigacijskih sredstava na temelju kojih bi FMC odredio poziciju u slučaju kvara oba GPS prijemnika.

FMC bira sredstva na temelju najboljega signala u pogledu geometrije i jačine, osim ako je neko sredstvo dio rute unutar plana leta. Utvrđivanje radio pozicije vrši se pomoću sjecišta dva DME luka, a ukoliko DME stanice nisu dostupne, koristi se IRS.

¹⁴ Odašiljač pravca slijetanja (engl. *Localizer*, LOC).

4.2.2. Navigacijska sposobnost

Trenutna pozicija zrakoplova u obliku koordinata prikazana je unutar FMC-a na stranici *POS REF 2/3* (slika 22.). FMC pozicija se utvrđuje na temelju proračuna dobivenim od strane GPS-a, IRS-a i navigacijskih sredstava, te predstavlja procjenu stvarne pozicije zrakoplova.

Navigacijska sposobnost promatra se pomoću dva parametra: stvarna navigacijska sposobnost (engl. *Actual navigation performance*, ANP) i zahtijevana navigacijska sposobnosti (engl. *Required navigation performance*, RNP). ANP se definira kao procjena točnosti određivanja FMC pozicije. Može se očitati unutar FMC-a na stranicama *FMC LEGS* i *POS SHIFT 3/3* (slike 23. i 24.)

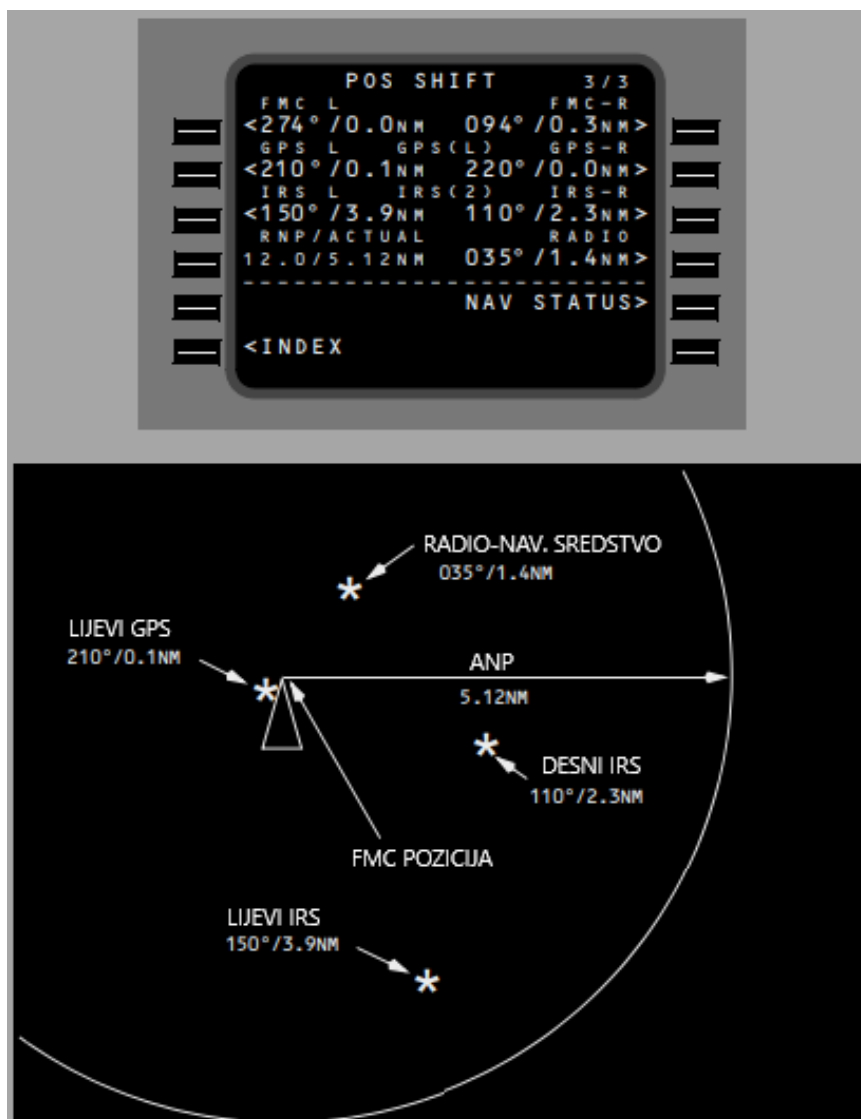


Slika 22. Proračunata pozicija zrakoplova



Slika 23. RNP i ANP

ANP predstavlja maksimalnu pogrešku u određivanju pozicije uz vjerojatnost od 95%, tj. stvarna pozicija zrakoplova leži unutar kružnice polumjera vrijednosti ANP-a oko FMC pozicije sa sigurnošću od 95%. Na slici 24. prikazan je način određivanja stvarne pozicije zrakoplova. Može se primjetiti da stvarna pozicija zrakoplova leži unutar kružnice koja opisuje ANP.



Slika 24. ANP

IZVOR: [12]

RNP se definira kao potrebna navigacijska preciznost unutar određenog zračnog prostora, izražena u NM. Operacije u takvim prostorima zahtijevaju navigacijske sustave unutar zrakoplova koji imaju mogućnost upozorenja u slučaju da vrijednost ANP-a bude veća od RNP-a. U tablici 8. prikazane su vrijednosti RNP-a i vrijeme do upozorenja za različite faze leta. Poruka koja se aktivira u tom slučaju unutar FMC-a glasi: „UNABLE REQD NAV PERF-RNP“.

Tablica 8. Vrijeme do aktivacije upozorenja za različite faze leta

| Faza leta | RNP [NM] | Vrijeme do aktivacija upozorenja [s] |
|-------------------------------|----------|--------------------------------------|
| Prekooceanski | 10 | 60 |
| Na ruti | 2 | 30 |
| Završno kontrolirano područje | 1 | 10 |
| Prilaženje | 0.3 | 10 |

IZVOR: [16]

4.2.3. Postupci prilaženja uz kontrolu bočnog odstupanja (LNAV)

Zadaća LNAV-a je da omogući lateralno navođenje zrakoplova između putnih točaka unesenih u FMC, te izvođenje prilaza do LNAV i LNAV/VNAV minimuma. Funkciju je moguće aktivirati ukoliko se zrakoplov nalazi bočno unutar 3 NM od aktivne crte puta. Ako je udaljenost veća od 3 NM, zrakoplov mora biti u smjeru presretanja putanje pod kutom od maksimalno 90°, uz uvjet da će se presretanje dogoditi prije trenutno aktivne putne točke. Aktivacija se vrši odabirom LNAV funkcije na MCP-u uz prethodno zadovoljene uvjete.

Unutar FMC-a moguće je samostalno unositi putne točke u obliku koordinata, smjera i udaljenosti od točke ili smjera od dvije različite točke koje su već kodirane u navigacijskoj bazi podataka. Nazivi putnih točaka sadrže maksimalno 5 znakova.

4.2.4. Funkcija vođenja u vertikalnoj ravnini (VNAV)

VNAV omogućuje navođenje po vertikalnoj putanji u fazama penjanja, krstarenja i spuštanja. Određene procedure (npr. SID i STAR) mogu sadržavati ograničenja po visini i brzini na određenim putnim točkama. Po potrebi, moguće je ručno unijeti navedena ograničenja. Proračunate brzine moguće je mijenjati u svim fazama leta.

U penjanju, FMC generira brzinu kao funkciju težine zrakoplova i indeksa troškova (engl. *Cost index*, CI)¹⁵. Brzinu je moguće promijeniti ili odabrati opcije penjanja uz maksimalni kut ili uz maksimalnu brzinu uzdizanja.

Brzina krstarenja, osim o težini zrakoplova i indeksu troškova, ovisi i o visini krstarenja, te komponenti čeonoga ili leđnoga vjetra. Proračunata je da daje minimalne operativne troškove za odabrani CI. Uz ručno upisanu brzinu, postoji i mogućnost odabira *long range cruise* (LRC)¹⁶ brzine.

Tijekom spuštanja, proračunata brzina ovisi o odabranom indeksu troškova. Postoje dvije vrste spuštanja uz VNAV opciju: *VNAV SPEED* i *VNAV PATH*. Kod prve opcije, zrakoplov spušta tako da održava brzinu promjenom kuta propinjanja, uz minimalno opterećenje motora (engl. *Idle*), dok kod druge, uglavnom uz minimalno opterećenje motora, zrakoplov održava proračunatu putanju s ciljem zadovoljavanja ograničenja brzina i visina na određenim putnim točkama.

4.3. Prednosti i nedostaci

Iako su prednosti FMS-a već navedene na početku ovoga poglavlja, kao i svaki drugi sustav, FMS ima nekoliko nedostataka.

Najbitnije prednosti FMS-a su:

- smanjena radna opterećenost letачke posade
- visoka preciznost prilikom proračuna vertikalnog i lateralnog profila
- precizno utvrđivanje pozicije zrakoplova
- proračun optimalnih brzina i visina (smanjena potrošnja goriva) u svim fazama leta
- 4D navigacija (mogućnost odabira ciljanog vremena dolaska na određenu putnu točku – RTA)
- mogućnost izvođenja RNAV/RNP operacija
- proračun potrošnje goriva
- proračun optimalnih performansi za polijetanje, itd.

¹⁵ CI je omjer vremenski ovisnih troškova izraženih u minutama leta i troškova goriva izraženih u kilogramima.

¹⁶ LRC – brzina koja je veća od brzine za maksimalni dolet (engl. *Maximum range cruise*, MRC) (obično 2-4%), uz samo 1% povećanje potrošnje goriva.

Nedostatci FMS-a očituju se u:

- potrebnom vremenu za unos podataka
- prevelikom oslanjanju pilota na sustav
- unosu podataka – zahtijeva preciznost – npr. unosom krivih podataka o vjetru tijekom krstarenja, FMC će proračunati pogrešni T/D, što dovodi do pogrešnog profila leta u spuštanju (dodatno: pogrešan prikaz predviđenoga vremena dolaska i potrošnje goriva); unosom pogrešne težine zrakoplova sustav ne izbacuje pogrešku, nego proračunava parametre za polijetanje/slijetanje, što može dovesti do poteškoća prilikom upravljanja zrakoplovom; i sl.

5. OSNOVNI ELEMENTI ZA ODREĐIVANJE I PRORAČUN PERFORMANSI MLAZNOGA ZRAKOPLOVA

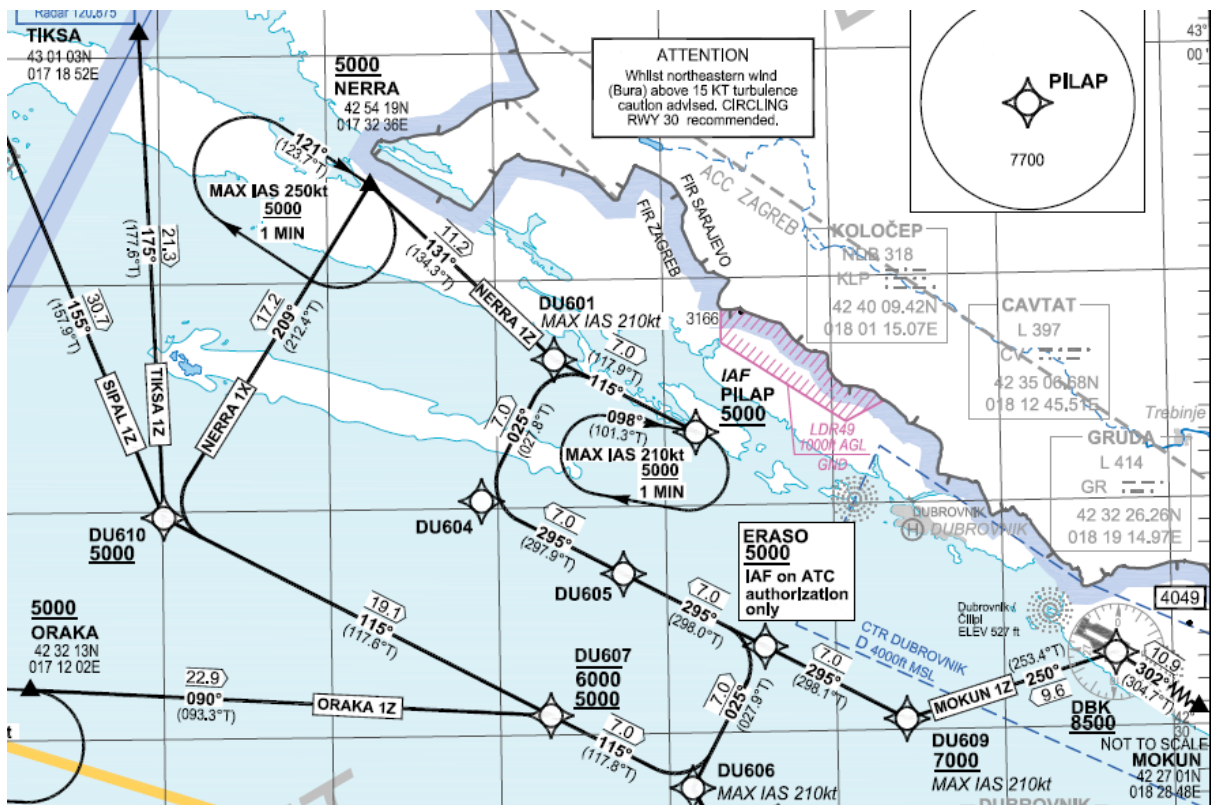
U ovome poglavlju prikazat će se mogućnost uspješnog izvođenja dolazne RNAV (GNSS) procedure za stazu 11 aerodroma Dubrovnik (slika 25.) do IAF-a PILAP i ERASO, s tranzicijom na RNAV (GNSS) prilaz (slika 26.) za istu stazu. Kroz pet različitih dolaznih scenarija promatra se potrebno vrijeme i utrošeno gorivo za izvođenje navedenih procedura, s početkom u TIKSA-i, te završetkom na 50 ft iznad praga staze (RW11). Scenariji prikazuju neke od mogućih putanja zrakoplova prilikom ulaska u TMA Dubrovnik:

1. TIKSA – NERRA – DU601 – PILAP – DU402 – DU400 – RW11
2. TIKSA – NERRA – DU610 – DU607 – DU606 – ERASO – DU402 – DU400 – RW11
3. TIKSA – NERRA – DU610 – DU607 – DU606 – ERASO – DU605 – DU604 – DU601 – PILAP – DU402 – DU400 – RW11
4. TIKSA – NERRA – DU610 – DU607 – DU606 – ERASO – DU605 – PILAP – DU402 – DU400 – RW11
5. TIKSA – NERRA – DU610 – DU604 – DU601 – PILAP – DU402 – DU400 – RW11.

U svim scenarijima su poštivana ograničenja visina i brzina prikazanih na dolaznoj karti, uz primjenu operacija neprekinutoga spuštanja - CDO. Također, se tzv. *low-drag approach* tehnika, čija je svrha smanjena potrošnja goriva (kasnije izvlačenje zakrilaca i podvozja za slijetanje).

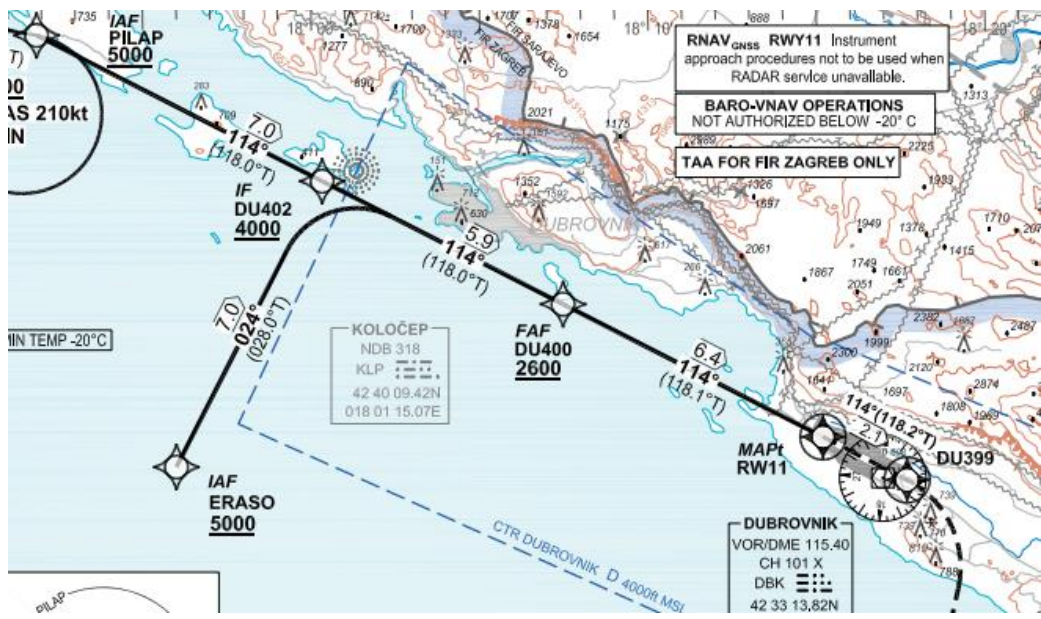
Proračuni su izvedeni na primjeru putničkoga zrakoplova Boeing 737-800W, koristeći službeni simulator tipa FFS, namijenjenog za školovanje letачke posade. Uz to, izvršeni su i pojednostavljeni teorijski proračuni kako bi se prikazale razlike u dobivenim rezultatima. Pri tome su u obzir uzeti slijedeći početni kriteriji:

- visina na početnoj točki TIKSA = 12,000 ft (promatranjem stvarne prometne situacije unutar TMA Dubrovnik, uočeno je da većina dolaznoga prometa prolazi TIKSA-u na navedenoj visini)
- ukupna težina zrakoplova = 62,000 kg
- ukupna količina goriva = 3,180 kg
- temperatura na aerodromu = 30°C (ISA + 15)
- QNH na aerodromu = 1,013 hPa
- vjetar = 110°/10 kn (konstantan tijekom prilaza)
- početna brzina (IAS) = 250 kn



Slika 25. Isječak iz dolazne RNAV karte za stazu 11 aerodroma Dubrovnik

IZVOR: [17]



Slika 26. Aerodrom Dubrovnik – isječak iz prilazne RNAV (GNSS) karte za stazu 11

IZVOR: [18]

U tablici 9. iskazani su promatrani parametri na pojedinim preletištima, te ukupno utrošeno gorivo i potrebno vrijeme, proračunati koristeći simulator. Rezultati istraživanja mogu poslužiti kao primjer prilikom planiranja leta, jer je vidljivo da je moguća razlika od čak 10 minuta i oko 400 kg između najkraćega i najdužega scenarija, ovisno o obujmu prometa unutar TMA.

Tablica 9. Prikaz utrošenoga goriva i potrebnoga vremena – simulator

| 1. | TIKSA | NERRA | DU601 | PILAP | DU402 | DU400 | RW11 | UKUPNO | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|--------------|
| GORIVO [KG] | 3180 | 3160 | 3120 | 3100 | 3080 | 3060 | 3000 | 180 | | |
| VRIJEME [MIN] | 00:00 | 02:18 | 05:04 | 06:57 | 08:54 | 10:53 | 13:17 | 13:17 | | |
| 2. | TIKSA | NERRA | DU610 | DU607 | DU606 | ERASO | DU402 | DU400 | RW11 | UKUPNO |
| GORIVO [KG] | 3180 | 3160 | 3120 | 3000 | 2940 | 2920 | 2900 | 2860 | 2820 | 370 |
| VRIJEME [MIN] | 00:00 | 02:17 | 05:41 | 09:55 | 11:21 | 13:09 | 14:52 | 16:57 | 19:17 | 19:17 |

| 3. | TIKSA | NERRA | DU610 | DU607 | DU606 | ERASO | DU605 | DU604 | DU601 |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|---------------|-------|-------|-------|-------|
| GORIVO [KG] | 3180 | 3160 | 3100 | 3000 | 2960 | 2920 | 2880 | 2840 | 2800 |
| VRJEME [MIN] | 00:00 | 02:18 | 05:43 | 10:00 | 11:25 | 13:04 | 14:50 | 16:13 | 17:46 |
| | PILAP | DU402 | DU400 | RW11 | UKUPNO | | | | |
| GORIVO [KG] | 2740 | 2700 | 2680 | 2620 | 560 | | | | |
| VRJEME [MIN] | 19:51 | 21:44 | 23:41 | 26:10 | 26:10 | | | | |

| 4. | TIKSA | NERRA | DU610 | DU607 | DU606 | ERASO | DU605 | PILAP | DU402 |
|------------------------|--------------|-------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| GORIVO [KG] | 3180 | 3160 | 3100 | 2980 | 2940 | 2900 | 2860 | 2840 | 2800 |
| VRJEME [MIN] | 00:00 | 02:16 | 05:42 | 09:51 | 11:26 | 12:56 | 14:35 | 16:04 | 18:09 |
| | DU400 | RW11 | UKUPNO | | | | | | |
| GORIVO [KG] | 2780 | 2720 | 460 | | | | | | |
| VRJEME [MIN] | 20:00 | 22:26 | 22:26 | | | | | | |

| 5. | TIKSA | NERRA | DU610 | DU604 | DU601 | PILAP | DU402 | DU400 | RW11 | UKUPNO |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| GORIVO [KG] | 3180 | 3160 | 3120 | 3060 | 3020 | 2980 | 2940 | 2920 | 2860 | 320 |
| VRJEME [MIN] | 00:00 | 02:18 | 05:30 | 08:04 | 09:25 | 11:23 | 13:21 | 15:19 | 17:50 | 17:50 |

Prilikom izvođenja scenarija na simulatoru nije bilo moguće ostvariti inicijalno spuštanje uz minimalno opterećenje motora, zbog početnoga uvjeta od 12,000 ft na TIKSA-i. Proračunati

vertikalni profil na simulatoru prikazao je da je zrakoplov niže u odnosu na „idealnu“ putanju leta, pri čemu zrakoplov leti s vertikalnom brzinom od -1000 ft/min dok ne „uhvati“ profil.

U svim scenarijima izvlačenje zakrilaca započelo je otprilike 2 NM prije preletišta DU402, osim u 2. scenariju, gdje su zakrilca izvučena iznad točke ERASO. Samim time, brzina se počela smanjivati s prethodnih 210 kn na brzine koje odgovaraju pojedinim stupnjevima zakrilaca. Podvozje je izvučeno na otprilike 4 NM od praga staze, nakon čega je uslijedilo izvlačenje zakrilaca u položaj za slijetanje. Minimalna brzina prilaznja (engl. *Minimum approach speed*) iznosila je 149 kn.

Tijekom izvođenja simulacija, unutar FMC-a se nisu pojavile nikakve poruke upozorenja (npr. *Drag required*, *Unable next altitude*, *Steep descent after (waypoint)* ili bilo kakve poruke vezane za navigacijsku sposobnost), a koje mogu biti pokazatelj određenih poteškoća prilikom izvođenja definiranih procedura.

NAPOMENA: Zrakoplovni prijevoznici koriste razne tehnike izvlačenja konfiguracije. Rezultat toga su veća/manja potrošnja goriva, kao i trajanje leta. Uz to, dodatni utjecaj može imati i odobrenje kontrole zračnoga prometa (letenje određenom brzinom radi separacije zrakoplova, horizontalni let umjesto neprekinutoga spuštanja, itd.)

Teorijski proračuni (tablica 10.) temeljeni su na brzini zrakoplova iznad Zemljine površine (engl. *Ground speed*, GS), koja se računa kao zbroj stvarne brzine zrakoplova (TAS) i komponente vjetra (engl. *Wind component*, WC). Pri niskim brzinama i visinama, TAS je približno jednak IAS-u, dok s porastom brzine i visine TAS raste zbog promjene gustoće zraka. WC ima pozitivni predznak ukoliko se radi o leđnome, te negativni u slučaju čeonoga vjetra. Za potrebe proračuna, a i na čemu se temelje službeni priručnici zrakoplova za pojednostavljeno planiranje leta, pretpostavilo se da je $TAS = IAS$. Zbog toga se očekuje da potrebno vrijeme bude veće u odnosu na simulator zbog korištenja niže brzine (IAS) od stvarne. Prilikom izračuna koristili su se slijedeći izrazi:

$$GS = TAS \pm WC;$$

$$TAS = IAS \text{ (u stvarnosti otprilike } TAS = IAS + 2\% IAS \text{ (1000 ft)); i}$$

$$WC = \text{brzina vjetra} \times \cos(\text{upadni kut vjetra}).$$

Potrebno vrijeme izračunato je kao omjer prijedena puta i prosječne brzine zrakoplova (GS) u pojedinom segmentu. Uz to, promatrane su performanse zrakoplova tijekom deset letova u

stvarnom okruženju, kako bi se dobile približne vrijednosti potrošnje goriva po satu pri spuštanju uz minimalno opterećenje motora, prilikom izvlačenja zakrilaca, te podvozja. Uzete su prosječne vrijednosti u spuštanju, počevši od 12,000 ft. Tijekom spuštanja, potrošnja goriva raste s padom visine zbog porasta potrebnoga potiska, što je direktan utjecaj povećane gustoće i otpora zraka.

Tablica 10. Prikaz utrošenoga goriva i potrebnoga vremena – teorijski proračuni

| 1. | TIKSA | NERRA | DU601 | PILAP | DU402 | DU400 | RW11 | UKUPNO |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| GORIVO [KG] | 3180 | 3146 | 3112 | 3088 | 3061 | 3029 | 2964 | 216 |
| VRIJEME [MIN] | 00:00 | 03:00 | 06:00 | 08:06 | 10:19 | 12:27 | 15:04 | 15:04 |

| 2. | TIKSA | NERRA | DU610 | DU607 | DU606 | ERASO | DU402 | DU400 | RW11 | UKUPNO |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| GORIVO [KG] | 3180 | 3146 | 3097 | 3043 | 3021 | 2998 | 2972 | 2940 | 2875 | 305 |
| VRIJEME [MIN] | 00:00 | 03:00 | 07:18 | 12:04 | 13:58 | 15:58 | 18:05 | 20:13 | 22:50 | 22:50 |

| 3. | TIKSA | NERRA | DU610 | DU607 | DU606 | ERASO | DU605 | DU604 | DU601 |
|--------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|---------------|-------|-------|-------|-------|
| GORIVO [KG] | 3180 | 3146 | 3097 | 3043 | 3021 | 2998 | 2976 | 2954 | 2931 |
| VRIJEME [MIN] | 00:00 | 03:00 | 07:18 | 12:04 | 13:58 | 15:58 | 17:52 | 19:46 | 21:46 |
| | PILAP | DU402 | DU400 | RW11 | UKUPNO | | | | |
| GORIVO [KG] | 2907 | 2880 | 2848 | 2783 | 397 | | | | |
| VRIJEME [MIN] | 23:52 | 26:05 | 28:13 | 30:50 | 30:50 | | | | |

| 4. | TIKSA | NERRA | DU610 | DU607 | DU606 | ERASO | DU605 | PILAP | DU402 |
|------------------------|--------------|-------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| GORIVO [KG] | 3180 | 3146 | 3097 | 3013 | 2991 | 2968 | 2946 | 2923 | 2896 |
| VRJEME [MIN] | 00:00 | 03:00 | 07:18 | 12:04 | 13:58 | 15:58 | 17:52 | 19:52 | 22:05 |
| | DU400 | RW11 | UKUPNO | | | | | | |
| GORIVO [KG] | 2864 | 2799 | 381 | | | | | | |
| VRJEME [MIN] | 24:13 | 26:50 | 26:50 | | | | | | |

| 5. | TIKSA | NERRA | DU610 | DU604 | DU601 | PILAP | DU402 | DU400 | RW11 | UKUPNO |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| GORIVO [KG] | 3180 | 3146 | 3097 | 3057 | 3035 | 3011 | 2984 | 2952 | 2887 | 293 |
| VRJEME [MIN] | 00:00 | 03:00 | 07:18 | 10:48 | 12:42 | 13:48 | 16:01 | 18:09 | 20:46 | 20:46 |

Kao što je ranije napomenuto, za potrebe teorijskih proračuna su uzete vrijednosti potrošnje goriva s minimalnim opterećenjem motora (do trenutka izvlačenja konfiguracije kada postepeno dolazi do povećanje potrebnoga potiska radi održavanje brzine). Rezultat toga je manja potrošnja goriva kod teorijskih proračuna, iako su vremena potrebna da se scenariji odlete dulja nego na simulatoru.

Prema [15], zrakoplovu je potrebno 3 NM da promijeni visinu za 1,000 ft, pri uvjetima bez vjetra i uz letenje ekonomičnom brzinom za odabrani CI. Piloti prilikom procjene vertikalne situacije koriste nekoliko metoda, od kojih je jedna (vrijedi za trostupanjski kut poniranja): 3x udaljenost + elevacija aerodroma (npr. za aerodrom s elevacijom od 1,000 ft, zrakoplov bi se na 10 NM trebao nalaziti na otprilike 4,000 ft). Iz navedenoga se može zaključiti da je visina od 12,000 na TIKSA-i za sve scenarije niža za minimalno 3,000 ft od one za najekonomičnije spuštanje, kod dolaznih postupaka prema definiranim scenarijima, što bi omogućilo let s minimalnim opterećenjem motora, tj. manju potrošnju goriva.

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu dokazana je mogućnost uspješnoga izvođenja RNAV dolazne procedure s tranzicijom na RNAV (GNSS) prilaz za stazu 11 aerodroma Dubrovnik. Rezultati dobiveni na simulatoru prikazuju određene razlike u odnosu na teorijske proračune. Razlika utrošenoga goriva/potrebna vremena između najkraćega i najduljega scenarija na simulatoru iznosi 380 kg/12 minuta i 53 sekundi, te 181 kg/15 minuta i 46 sekundi kod teorijskih proračuna. Razlog tome je u činjenici da je kod teorijskih proračuna od samoga početka pretpostavljeno spuštanje uz minimalno opterećenje motora, dok je na simulatoru takvo spuštanje ostvareno u kasnijoj fazi prilaza. Prethodno je direktan utjecaj početnoga uvjeta od 12,000 ft na TIKSA-i, što je niže u odnosu na optimalni profil leta. Razlika u vremenu je očekivana s obzirom na to da je za potrebe pojednostavljenih teorijskih proračuna uzeto da je $TAS = IAS$, dok FMC unutar zrakoplova proračunava potrebno vrijeme na temelju GS-a. Da bi se prednosti koje donosi CDO potpuno iskoristile, ovisno o mogućnostima kontrole zračnoga prometa, potrebno je napraviti analizu vertikalnoga navođenja zrakoplova u dolaznome segmentu, kako bi se omogućilo spuštanje uz minimalno opterećenje motora.

Izrada dolaznih i prilaznih procedura ovisi o tome radi li se o konvencionalnoj ili RNAV/PBN dolaznoj proceduri, te vrsti prilaza (ILS, RNP, VOR, NDB, itd.). Detaljne smjernice propisuje ICAO unutar svojih priručnika, a koje osim stručnjaka za izradu procedura, koriste i prijevoznici te kompanije koje se bave izradom zrakoplovnih karata.

Primjena PBN postupaka unutar TMA donosi mnogobrojne prednosti, što se očituje u smanjenju radne opterećenosti kontrolora zračnoga prometa i uštedama koje ostvaruju korisnici zračnoga prostora, poglavito u pogledu potrošnje goriva i emisije CO₂. Proces implementacije takvih postupaka podložan je prethodnoj analizi isplativosti, ovisno o samoj strukturi zračnoga prostora i raspoloživom kapacitetu. Uz to, operatori moraju ishoditi odobrenja i letačka posada mora biti ovlaštena izvoditi PBN operacije, čemu prethodi odgovarajuća teorijska i praktična obuka.

Današnji putnički zrakoplovi opremljeni su modernom navigacijskom opremom (FMGS/FMS), što omogućava sigurno i efikasno izvođenje PBN operacija. FMS je vrlo složeni sustav koji osim navigacijskih, sadrži i mnoge druge funkcije koje uvelike smanjuju radnu opterećenost letačke posade.

Republika Hrvatska započela je proces implementacije PBN postupaka, s ciljem uvođenja istih na sve međunarodne aerodrome unutar zemlje. Zračna luka Dubrovnik, kao prva koja je uvela prilaz po satelitima GPS/GNSS, planira do kraja 2019. uvesti RNAV dolaznu proceduru koja je trenutno u procesu validacije.

LITERATURA

- [1] ICAO: *Annexes and PANS*;
<https://www.icao.int/safety/airnavigation/OPS/Pages/flsannex.aspx> (pristupljeno: travanj 2019.)
- [2] ICAO: *Doc 8168 PANS-OPS; Volume I – Flight procedures*; fifth edition; 2006.
- [3] Narodne novine, izdanje NN 53/2016: *Pravilnik o oblikovanju i utvrđivanju načina, postupaka i drugih uvjeta za sigurno uzlijetanje i slijetanje zrakoplova*;
https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2016_06_53_1388.html (pristupljeno: svibanj 2019.)
- [4] Narodne novine, izdanje 53/2016: *Pravilnik o oblikovanju i utvrđivanju načina, postupaka i drugih uvjeta za sigurno uzlijetanje i slijetanje zrakoplova*; Dodatak 2. slika 1.; <https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/dodatni/440684.pdf> (pristupljeno: svibanj 2019.)
- [5] ICAO: *Doc 8168 PANS-OPS; Volume II - Construction of Visual and Instrument Flight Procedures*; sixth edition; 2014.
- [6] ICAO: *European region area navigation (RNAV) guidance material*; fifth edition; September 2019
- [7] Boldmethod: *Does RNAV always mean GPS?*; <https://www.boldmethod.com/learn-to-fly/aircraft-systems/does-rnav-always-mean-you-are-using-gps/> (pristupljeno: srpanj 2019.)
- [8] ICAO: *Performance-based Navigation (PBN) Operational Approval Manual*; second edition; 2015.
- [9] Hrvatska kontrola zračne plovidbe: *PBN koncept*;
<http://www.crocontrol.hr/default.aspx?id=36> (pristupljeno: lipanj 2019.)
- [10] Nakamura D, Royce W.: *Operational Benefits of Performance-Based Navigation*; Aero (Boeing); 2008; QTR_02: 13 - 21;
https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_2_08/AERO_Q208.pdf (pristupljeno: srpanj 2019.)

- [11] ICAO: *Performance-based Navigation (PBN) Manual*; fourth edition; 2013.
- [12] Boeing: *Boeing 737-700/800 Flight Crew Operations Manual*; revision number: 30; revision date: March 21, 2019
- [13] Skybrary: *GBAS Landing System (GLS)*;
[https://www.skybrary.aero/index.php/GBAS_Landing_System_\(GLS\)](https://www.skybrary.aero/index.php/GBAS_Landing_System_(GLS)) (pristupljeno: lipanj 2019.)
- [14] Skybrary: *Altimeter Temperature Error Correction*;
https://www.skybrary.aero/index.php/Altimeter_Temperature_Error_Correction (pristupljeno: svibanj 2019.)
- [15] Hrvatska kontrola zračne plovidbe: *eAIP; LDZA – Zagreb/Pleso*;
<http://www.crocontrol.hr/UserDocsImages/AIS%20produkti/eAIP/2019-07-19-AIP/html/eAIP/LD-AD-2.LDZA-en-HR.html> (pristupljeno: kolovoz 2019.)
- [16] Boeing: *737 NG Flight Crew Training Manual*; revision number: 16; revision date: June 30, 2017
- [17] Hrvatska kontrola zračne plovidbe: *eAIP; LDDU – Zračna luka Dubrovnik/Čilipi – Objava probnih PBN zrakoplovnih navigacijskih postupaka (Dopuna AIP REPUBLIKA HRVATSKA)*;
<http://www.crocontrol.hr/UserDocsImages/AIS%20produkti/eAIP/2019-07-19-AIP/html/eSUP/LD-eSUP-2019-007-hr-HR.html> (pristupljeno: kolovoz 2019.)
- [18] Hrvatska kontrola zračne plovidbe: *eAIP; LDDU – Dubrovnik/Čilipi*;
<http://www.crocontrol.hr/UserDocsImages/AIS%20produkti/eAIP/2019-07-19-AIP/html/eAIP/LD-AD-2.LDDU-en-HR.html> (pristupljeno: kolovoz 2019.)

POPIS ILUSTRACIJA

| | |
|---|----|
| Slika 1. Segmenti instrumentalnoga prilaznja..... | 3 |
| Slika 2. Presjek pravocrtnoga segmenta - primarno i sekundarno područje..... | 7 |
| Slika 3. Zaštitno područje dolaznoga segmenta ≥ 46 km (25 NM) | 9 |
| Slika 4. Zaštitno područje dolaznoga segmenta < 46 km (25 NM) | 9 |
| Slika 5. Segment međuprilaznja unutar povratnih i produljenih postupaka bez IF-a | 15 |
| Slika 6. Segment međuprilaznja unutar povratnih i produljenih postupaka s preletištem | 16 |
| Slika 7. Područje međuprilaznja unutar povratnih i produljenih postupaka baziranih na FAF-u (nije sredstvo)..... | 16 |
| Slika 8. Nadvisivanje prepreka u završnoj fazi neuspjeloga prilaznja..... | 21 |
| Slika 9. Produžetak površine neuspjeloga prilaznja u potpunosti pokriva početnu fazu | 22 |
| Slika 10. Primjer konvencionalne i RNAV (VOR/DME) rute | 25 |
| Slika 11. Prikaz konvencionalnih, RNAV i RNP ruta | 26 |
| Slika 12. Plan leta | 32 |
| Slika 13. RAIM provjera za let Dublin – Dubrovnik | 34 |
| Slika 14. Prikaz RNP karakteristika unutar FMC-a..... | 39 |
| Slika 15. Isječak iz prilazne RNAV (GNSS) karte za stazu 05 aerodroma Zagreb..... | 42 |
| Slika 16. EFIS upravljačka ploča..... | 46 |
| Slika 17. Navigacijski prikaznik..... | 46 |
| Slika 18. PFD..... | 47 |
| Slika 19. MCP..... | 47 |
| Slika 20. FMC Source Selector..... | 48 |
| Slika 21. Prikaz radio-navigacijskih sredstava | 51 |
| Slika 22. Proračunata pozicija zrakoplova..... | 52 |
| Slika 23. RNP i ANP | 53 |
| Slika 24. ANP | 54 |
| Slika 25. Isječak iz dolazne RNAV karte za stazu 11 aerodroma Dubrovnik..... | 59 |
| Slika 26. Aerodrom Dubrovnik – isječak iz prilazne RNAV (GNSS) karte za stazu 11..... | 60 |
| Tablica 1. Brzine za proračun postupaka u čvorovima (kn)..... | 6 |
| Tablica 2. ROD za neprecizne prilaze bez FAF-a..... | 18 |
| Tablica 3. Navigacijske specifikacije za različite faze leta u dolasku..... | 27 |
| Tablica 4. Minimumi potrebni za odabir alternativnoga aerodroma u prijeletnoj fazi | 32 |
| Tablica 5. Prikaz minimalne opreme potrebne za različite PBN specifikacije | 35 |
| Tablica 6. Postupak korekcije visine uzrokovane niskom temperaturom | 41 |
| Tablica 7. Vrijednost korekcije visine u odnosu na devijaciju temperature | 42 |
| Tablica 8. Vrijeme do aktivacije upozorenja za različite faze leta..... | 55 |
| Tablica 9. Prikaz utrošenoga goriva i potrebnoga vremena – simulator | 60 |
| Tablica 10. Prikaz utrošenoga goriva i potrebnoga vremena – teorijski proračuni..... | 63 |



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj diplomski 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 diplomskog rada
pod naslovom OPERATIVNA PRIMJENA STANDARDNIH DOLAZNIH POSTUPAKA
U ZAVRŠNOM KONTROLIRANOM PODRUČJU
na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 10/09/2019

Studentica:

Marija Vukobratović
(potpis)