

Proračun površine tolerancije preletišta

Trošić, Josip

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:779200>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Josip Trošić

PRORAČUN POVRŠINE TOLERANCIJE
PRELETIŠTA

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, 2020.

Zagreb, 4. studenoga 2019.

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

DIPLOMSKI ZADATAK br. 5469

Pristupnik: **Josip Trošić (0135233862)**
Studij: **Aeronautika**

Zadatak: **Proračun površine tolerancije preletišta**

Opis zadatka:

Uvodno opisati koncept navigacije zasnovane na performansama. Navesti specifičnosti pojedinih navigacijskih specifikacija s naglaskom na RNAV i RNP aplikacije. Opisati opći način definiranja procedura u vertikalnoj navigaciji (VNAV). Opisati metodologiju proračuna tolerancije preletišta (fixa). Definirati minimalnu udaljenost određenog segmenta između dvije točke te posebno objasniti pojam prve točke (first waypoint).

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

prof. dr. sc. Doris Novak

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

PRORAČUN POVRŠINE TOLERANCIJE PRELETIŠTA DETERMINING FIXED POSITION TOLERANCE AREA

Mentor: prof. dr. sc. Doris Novak

Student: Josip Trošić

JMBAG: 0135233862

Zagreb, srpanj 2020.

PRORAČUN POVRŠINE TOLERANCIJE PRELETIŠTA

SAŽETAK

Letenje prema pravilima instrumentalnog letenja omogućeno je razvojem radionavigacijskih sredstava. Održavanjem navigacije zrakoplova s obzirom na radionavigacijska sredstva utemeljila se konvencionalna navigacija. Daljnjim razvojem tehnologije, konvencionalna radionavigacijska sredstva nadopunila su se konstrukcijom preletišta. Preletišta predstavljaju imaginarne točke koje fizički ne postoje te se stoga još nazivaju i fantomske stanice. Formiranjem preletišta definiraju se i odgovarajuće površine tolerancije preletišta koje su omeđene uzdužnom i poprečnom vrijednosti dopuštenog odstupanja. Održavanjem navigacije zrakoplova s obzirom na definirana preletišta omogućen je razvoj metode prostorne navigacije. Unutar prostorne navigacije, preletišta su definirana preko putnih točaka. Razlikuju se točke obveznog preleta i točke neobveznog preleta. Metodu prostorne navigacije nadopunio je PBN koncept. PBN koncept nastoji implementirati navigacijske aplikacije kroz propisane navigacijske specifikacije uz potporu odgovarajuće navigacijske infrastrukture.

KLJUČNE RIJEČI: metoda prostorne navigacije; PBN koncept; navigacijske specifikacije; navigacijska infrastruktura; preletišta

DETERMINING FIXED POSITION TOLERANCE AREA

SUMMARY

Flying according to the instrument flight rules is enabled by the development of radio navigation aids. By maintaining the navigation of aircraft with respect to radio navigation aids, conventional navigation was established. With further development of technology, conventional radio navigation aids were supplemented by the construction of fixes. Fixes represents imaginary points that do not physically exist and are therefore called phantom stations. With construction of fixes, appropriate tolerance area should also be established which includes along track tolerance and cross track tolerance. By maintaining the navigation of aircraft, with regards to defined fixes, it was possible to develop area navigation (RNAV). Within area navigation, fixes are defined as waypoint and they can be divided into fly-over and fly-by waypoint. Area navigation (RNAV) was complemented by the PBN concept. The PBN concept seeks to implement navigation application through described navigation specification with the support of an appropriate navigation infrastructure.

KEYWORDS: area navigation (RNAV); performance-based navigation (PBN); navigation specification; navigation infrastructure; waypoint

SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
2. Prostorna navigacija.....	2
2.1. Analiza prostorne i konvencionalne navigacije	2
2.2. Sustav prostorne navigacije na zrakoplovu	6
2.2.1. Navigacijska funkcija računala	8
2.2.2. Funkcija planiranja leta	9
2.2.3. Funkcija kontrole i vođenja zrakoplova	10
2.2.4. Prikaznici rada sustava koji omogućuju provedbu prostorne navigacije	11
2.3. Razvoj prostorne navigacije prema konceptu navigacije zasnovane na performansama	12
3. Navigacija zasnovana na performansama	13
3.1. Navigacijske specifikacije	15
3.1.1. Označavanje i područje primjene navigacijskih specifikacija	16
3.1.2. Klasifikacija navigacijskih specifikacija.....	17
3.2. Navigacijska infrastruktura	20
3.2.1. Zahtjevi performansi globalnih navigacijskih satelitskih sustava unutar navigacije zasnovane na performansama.....	21
3.2.1.1. Točnost.....	22
3.2.1.2. Cjelovitost.....	22
3.2.1.3. Kontinuitet.....	23
3.2.1.4. Raspoloživost	24
3.2.2. Navigacijske greške	24
4. Vertikalna navigacija unutar koncepta navigacije zasnovane na performansama	28
4.1. Klasifikacija postupaka instrumentalnog prilaženja.....	29
4.2. Postupci prilaženja s vertikalnim vođenjem i bez njega	30
4.2.1. Prednosti postupaka prilaženja s vertikalnim vođenjem i bez njega	31
4.2.2. Klasifikacija postupaka prilaženja s vertikalnim vođenjem i bez njega ..	32
4.3. Postupak prilaženja s vertikalnim vođenjem i bez njega koji ne zahtijevaju posebno odobrenje nadležnih zrakoplovnih vlasti	34
4.3.1. Postupci prilaženja bez vertikalnog vođenja	37
4.3.2. Postupci prilaženja s vertikalnim vođenjem.....	38
4.3.2.1. Postupak prilaženja s podatkom o visini zrakoplova dobivenim preko barometarskog visinomjera.....	38

4.3.2.2. Postupak prilaženja s podatkom o visini zrakoplova dobivenim preko globalnih navigacijskih satelitskih sustava	41
4.4. Postupak prilaženja s vertikalnim vođenjem i bez njega koji zahtijevaju posebno odobrenje nadležnih zrakoplovnih vlasti	43
5. Metodologija proračuna tolerancije preletišta	47
5.1. Definicija i način određivanja preletišta	47
5.2. Površina tolerancije preletišta određene preko VOR/DME stanice	50
5.2.1. Definiranje zahtjeva točnosti VOR/DME stanice	50
5.2.2. Uzdužna i poprečna vrijednost dopuštenog odstupanja pri određivanju VOR/DME preletišta	52
5.3. Površina tolerancije preletišta određene preko DME/DME stanice	55
5.3.1. Definiranje zahtjeva točnosti DME/DME stanice	55
5.3.2. Uzdužna i poprečna vrijednost bočnog odstupanja pri određivanju DME/DME preletišta	56
5.3.3. Tehničke karakteristike korištenja dme/dme preletišta	59
5.4. Primjer proračuna površine tolerancije preletišta DME/DME stanice	60
5.4.1. Uzdužne i poprečne vrijednosti dopuštenog odstupanja segmenta početnog prilaženja i segmenta međuprilaženja za visinu 7000 ft	63
5.4.2. Uzdužne i poprečne vrijednosti dopuštenog odstupanja segmenta završnog prilaženja i segmenta neuspjelog prilaženja za visinu 2000 ft	64
5.5. Preletišta unutar koncepta prostorne navigacije	66
5.5.1. Vrste preletišta (putnih točaka)	66
5.5.2. Određivanje minimalne udaljenosti određenog segmenta između dvije točke	68
5.5.2.1. Tablice minimalnih stabilizacijskih udaljenosti	69
5.5.2.2. Proračuni minimalnih stabilizacijskih udaljenosti	73
5.5.2.3. Primjeri minimalnih stabilizacijskih udaljenosti	76
5.6. Pojam prve točke	80
6. Zaključak	81
Literatura	83
Popis kratica	84
Popis slika	90
Popis tablica	91
Popis simbola	92

1. UVOD

Uzimajući u obzir činjenicu da je prvi let u povijesti avijacije trajao svega 12 sekundi (avion *Flyer I* braće *Wright*), može se zaključiti da je avijacija doživjela izuzetan napredak u svega jednom stoljeću postojanja. Napredak se najviše očituje kroz općeniti razvoj tehnologije koja omogućuje uvođenje raznih noviteta unutar svijeta avijacije te u konačnici veću učinkovitost i sigurnost letova. Tehnički napredak avijacije istovremeno je popraćen i pisanim pravilima zrakoplovnih postupaka.

Jedan aspekt propisanih pravila odnosi se i na površinu tolerancije preletišta što je ujedno i tema ovog diplomskog rada. Naime, propisani postupci vezani uz problematiku preletišta nalaze se unutar propisa definiranih za instrumentalne letne postupke koji su se usavršavali s obzirom na raspoloživu tehnologiju. Danas, instrumentalni letni postupci su standardizirani i usavršeni unutar koncepta navigacije zasnovane na performansama. Koncept navigacije zasnovane na performansama obradit će se u nastavku rada koji je podijeljen kroz šest poglavlja.

U drugom poglavlju obrađuje se tema prostorne navigacije koja je naslijedila konvencionalnu navigaciju te omogućila prijelaz prema navigaciji zasnovanoj na performansama. Predstaviti će se prednosti i nedostaci prostorne navigacije te definirati noviteti koji su omogućeni njenom primjenom.

Problematika trećeg poglavlja odnosi se na navigaciju zasnovanu na performansama unutar koje se iznose definirane navigacijske specifikacije te se obrađuje satelitska navigacijska infrastruktura.

Poboljšanja koja je omogućila primjena navigacije zasnovane na performansama tijekom instrumentalnih postupaka prilaženja tema su četvrtog poglavlja. Naglasak je stavljen na primjenu koncepta navigacije zasnovane na performansama u vertikalnoj navigaciji.

U petom poglavlju obrađuje se problematika preletišta. Načini definiranja kao i izračun potrebnih površina tolerancija. Također se obrađuje i problematika preletišta unutar koncepta prostorne navigacije.

Rad je popraćen odgovarajućim slikama i tablicama, a objedinjen je u posljednjem poglavlju odnosno zaključku u kojem se iznose završna razmatranja i cjelokupna analiza prethodno obrađenih poglavlja.

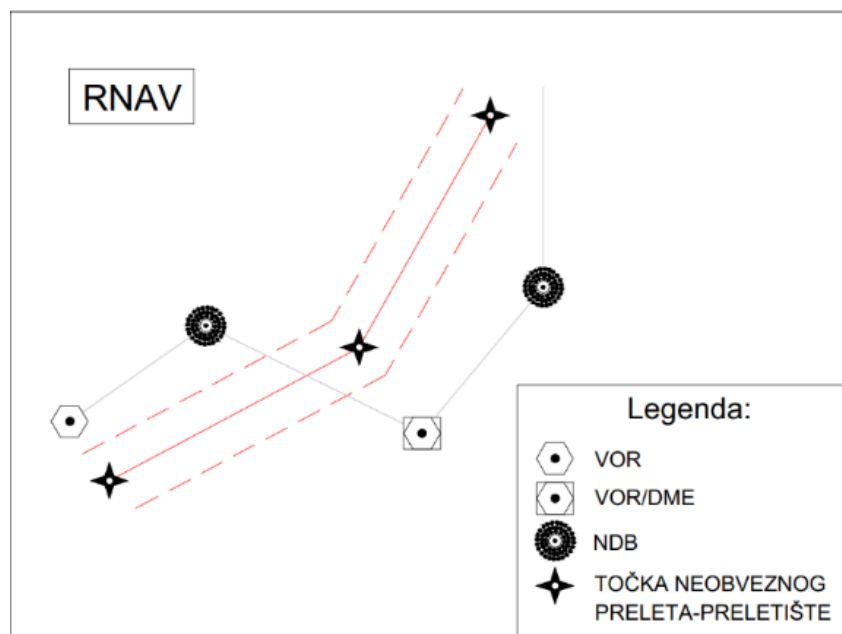
2. PROSTORNA NAVIGACIJA

Za razumijevanje koncepta navigacije zasnovane na performansama (engl. *Performance Based Navigation* ili *PBN*) prije svega potrebno je objasniti pojam prostorne navigacije (engl. *Area Navigation* ili *RNAV*). Uzimajući u obzir generalni pojam zrakoplovne navigacije, tada je moguće navigaciju podijeliti na vizualnu i instrumentalnu, [1]. I dok se vizualna navigacija, koja prvenstveno ovisi o vizualnim meteorološkim uvjetima (engl. *Visual Meteorological Conditions* ili *VMC*) tijekom godina u suštini nije mijenjala (određivanje pozicije zrakoplova s obzirom na karakteristične orijentire u prostoru te njihova identifikacija na zrakoplovnim kartama), instrumentalna navigacija se s razvojem tehnologije postupno unaprjeđivala.

Naime, prostorna navigacija, kao metoda instrumentalne navigacije razvila se sedamdesetih godina prošlog stoljeća te od tada predstavlja napredniji oblik navigacije u odnosu na metodu radionavigacije, poznatiju još kao i konvencionalna navigacija. Upravo zbog činjenice da je prostorna navigacija naslijedila konvencionalnu navigaciju, njene prednosti kao i razlozi moguće daljnje implementacije prikazat će se kroz komparaciju s konvencionalnom navigacijom.

2.1. Analiza prostorne i konvencionalne navigacije

Za potrebe analize prostorne navigacije u odnosu na konvencionalnu, koristit će se slika 2.1. koja prikazuje imaginarni zračni prostor u kojem se (radi jednostavnije komparacije) nalazi i konvencionalna ruta kao i ruta karakteristična za prostornu navigaciju (RNAV ruta).



Slika 2.1. Usporedba konvencionalne konstruirane rute s RNAV rutom

Izvor: [2]

Kao što se može primijetiti, konvencionalna ruta (označena sivom linijom) ovisi o razmještanju radionavigacijskih sredstava na zemlji. U ovom slučaju, ako zrakoplov mora preletjeti prikazani zračni prostor metodom radionavigacije, dužan je preletjeti iznad svakog radionavigacijskog sredstva sljedeći propisane radijale za VOR (engl. *Very High Frequency Omnidirectional Range*) odnosno odgovarajući smjer QDM za NDB (engl. *Non Directional Beacon*) stanicu. Kada se zrakoplov nalazi u položaju iznad radionavigacijskog sredstva, posada zrakoplova može pozitivno identificirati to sredstvo čime završava jedan segment rute ili procedure te započinje sljedeći, [1].

Na ovom primjeru se može uočiti prvi nedostatak metode radionavigacije, a to je da konstrukcija zračnih puteva ovisi isključivo o fizičkom položaju radionavigacijskog sredstva. Drugim riječima, metoda radionavigacije ne dopušta kreiranje optimalnih zračnih ruta i/ili postupaka zbog činjenice da instalacija radionavigacijskih sredstava nije moguća na određenim lokacijama na Zemlji. Primjer su rute koje prolaze iznad mora i oceana. Nadalje, izgradnja novih radionavigacijskih sredstava može biti nepraktična zbog već postojećih gradova i naselja ili zbog prirodnih prepreka u vidu reljefa (planine). Također, razmatraju li se propisane zaštitne površine koje pružaju zrakoplovu dodatno razdvajanje od ostalih zrakoplova ili prepreka u smislu sigurne

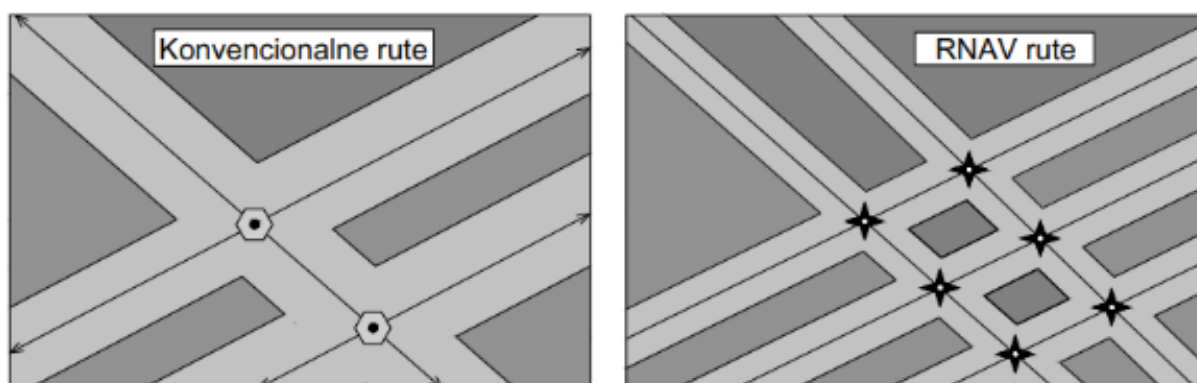
visine nadvisivanja i dopuštene bočne udaljenosti od prepreka (engl. *Obstacle Protection Areas*), zaključuje se da zauzimaju razmjerno veliki dio zračnog prostora. Uz to, udaljavanjem zrakoplova od radionavigacijskog sredstva povećava se i greška navigacijskog sustava u smislu prikaza točnosti informacije o položaju zrakoplova s obzirom na to radionavigacijsko sredstvo, [1].

Također, konstantan rast zračnog prometa nije pogodovao opstanku konvencionalne navigacije. Naime, s povećanjem zračnog prometa povećala se i konstrukcija zračnih puteva, a budući da u metodi radionavigacije zračni put započinje ili završava iznad određenog radionavigacijskog sredstva s vremenom su se počela događati prometna zagušenja. Ova činjenica ujedno je i predstavljala prekretnicu prema razvoju i implementaciji superiornijeg oblika navigacije.

Ponovnim proučavanjem imaginarnog zračnog prostora iz slučaja sa slike 2.1, ovaj put će se obraditi ruta prostorne navigacije označena crvenom linijom. Za razliku od konvencionalne rute, uočljivo je kako ruta prostorne navigacije ne prolazi iznad radionavigacijskih sredstava već iznad preletišta. Službena definicija, problematika i način određivanja preletišta obradit će se u zasebnom poglavlju tijekom nastavka rada, no ono što je za sada bitno naglasiti je da preletišta predstavljaju virtualne putne točke koje se još nazivaju fantomske postaje (engl. *phantom stations*), [1]. Dakle, za konstrukciju ruta i procedura prema pravilima prostorne navigacije umjesto radionavigacijskih sredstava koriste se preletišta koja fizički na Zemlji ne postoje, no određena su geografskim koordinatama i pripadajućim nazivom.

Mogućnošću zrakoplova da obavlja let koristeći koordinate (preletišta) umjesto pozitivne identifikacije radionavigacijskih sredstava razvila se prostorna navigacija koja se definira kao metoda zrakoplovne navigacije koja zrakoplovima omogućuje letove na bilo kojim izabranim (željenim) rutama, koje se nalaze unutar područja pokrivanja zemaljskih radionavigacijskih sredstava ili unutar ograničenja mogućnosti autonomnih navigacijskih sustava zrakoplova ili u međusobnoj kombinaciji, [1]. Korištenje preletišta omogućilo je konstrukciju zračnih puteva i postupaka koja su manje, a u određenim slučajevima i potpuno nezavisna o fizičkoj lokaciji radionavigacijskih sredstava. Stoga, u teoriji je omogućena konstrukcija koja je prilagođena specifičnim zahtjevima određenog zračnog prostora i njegovih operacija.

Dakle, metodom prostorne navigacije, moguće je konstruiranje optimalnijih i fleksibilnijih zračnih ruta i instrumentalnih postupaka što predstavlja napredak u odnosu na konvencionalnu navigaciju. Nadalje, napredak je i vidljiv i u broju mogućih konstrukcija putanja leta u istom sektoru zračnog prostora što je i prikazano preko slike 2.2.



Slika 2.2. Usporedba povećanja mogućih zračnih putova korištenjem RNAV rute u odnosu na konvencionalne rute istog sektora

Izvor: [1]

Naime, razmatrajući problematiku propisanih zaštitnih površina, metodom prostorne navigacije zaštitne površine zauzimaju manji dio zračnog prostora u odnosu na metodu radionavigacije što rezultira povećanjem kapaciteta zračnog prostora i njegove veće iskoristivosti. Bitno je napomenuti da volumen kojeg zaštitne površine zauzimaju prvenstveno ovisi o vrsti preletišta odnosno o njegovoj površini tolerancije (engl. *Fix Tolerance Area*). Smanjenje volumena zaštitnih površina, koje su u metodi prostorne navigacije uže u odnosu na metodu radionavigacije moguće je zbog povećane razine točnosti vođenja zrakoplova s obzirom na zadanu putanju leta. Dakle, novost koju je pružila upotreba prostorne navigacije je navigacija zrakoplova s obzirom na preletišta uz povećanje razine točnosti vođenja zrakoplova u odnosu na putanju leta. Ipak, da bi navedena poboljšanja bila ostvariva i u praksi zaslužna je ključna komponenta prostorne navigacije - navigacijsko računalo.

Prvi komercijalni zrakoplov s navigacijskim računalom bio je Lockheed L1011 Tristar, [2]. Računalo je nosilo naziv *Carousel* i omogućavalo je pilotima ručni unos koordinata, a zatim uz primjenu inercijalnog navigacijskog sustava (engl. *Inertial*

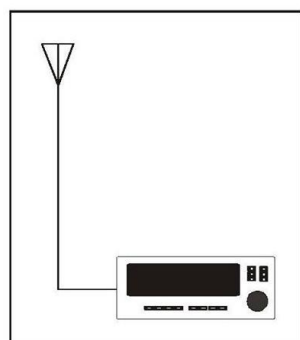
Navigation System ili *Inertial Reference System/Unit* ili *IRS*) bi navodilo zrakoplov prema unesenim koordinatama, [2]. Prva navigacijska računala u biti su preteče današnjeg kompleksnog sustava za upravljanje letom (engl. *Flight Management System* ili *FMS*) kojeg sadrži svaki zrakoplov namijenjen za komercijalno letenje. Razvitak navigacijskog računala, između ostalog, omogućio je i pohranu preletišta u vlastitu bazu podataka čime se smanjilo radno opterećenje posade i poboljšala sigurnost leta.

Navigacijsko računalo u prostornoj navigaciji se naziva još i RNAV računalo i kao što je prethodno objašnjeno čini ključnu komponentu u razvitku prostorne navigacije. Ipak, kako bi ono moglo pravilno funkcionirati, potreban je ispravan rad svih njegovih komponenti koje će se detaljnije obraditi u sljedećem potpoglavlju.

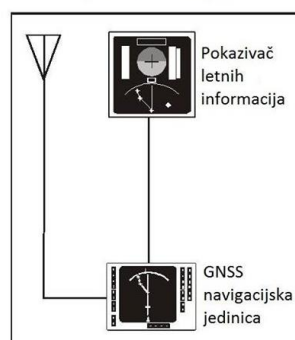
2.2. Sustav prostorne navigacije na zrakoplovu

Skup zrakoplovne opreme koja omogućuje rad RNAV računala čini RNAV sustav na zrakoplovu. RNAV sustav na zrakoplovu definira se kao navigacijski sustav koji zrakoplovima omogućuje letove na bilo kojim izabranim (željenim) rutama, koje se nalaze unutar područja pokrivanja zemaljskih radionavigacijskih sredstava ili unutar ograničenja mogućnosti autonomnih navigacijskih sustava zrakoplova ili u međusobnoj kombinaciji, [1]. Izvedbe RNAV sustava na zrakoplovu su raznolike, od jednostavnijih koji koriste podatke iz jednog senzora pa sve do kompleksnijih rješenja koja se koriste na suvremenim transportnim zrakoplovima, a čiji se rad temelji na prikupljanju podataka iz mnoštva različitih senzora. Primjer različitih vrsta RNAV sustava na zrakoplovu prikazan je i kroz sliku 2.3.

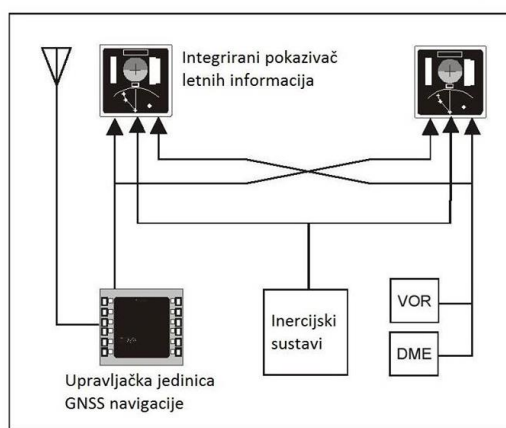
a) Osnovni RNAV sustav u zrakoplovu



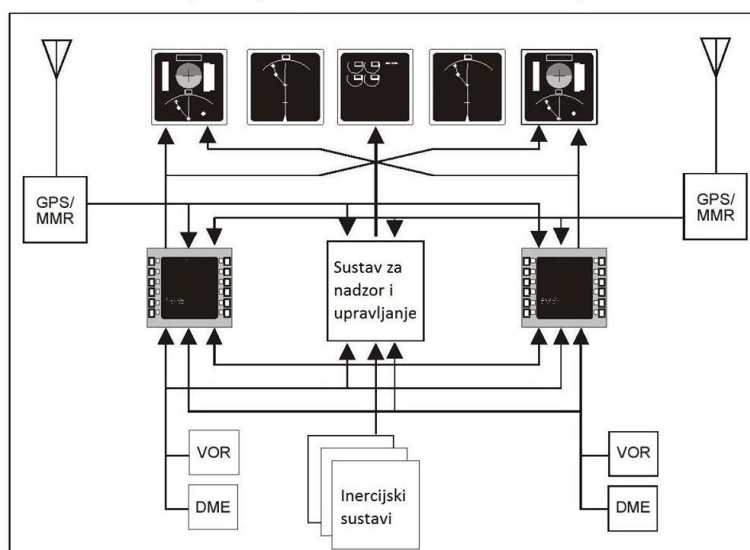
b) RNAV mapa



c) Jednostavni više-senzorski sustav avionike zrakoplova

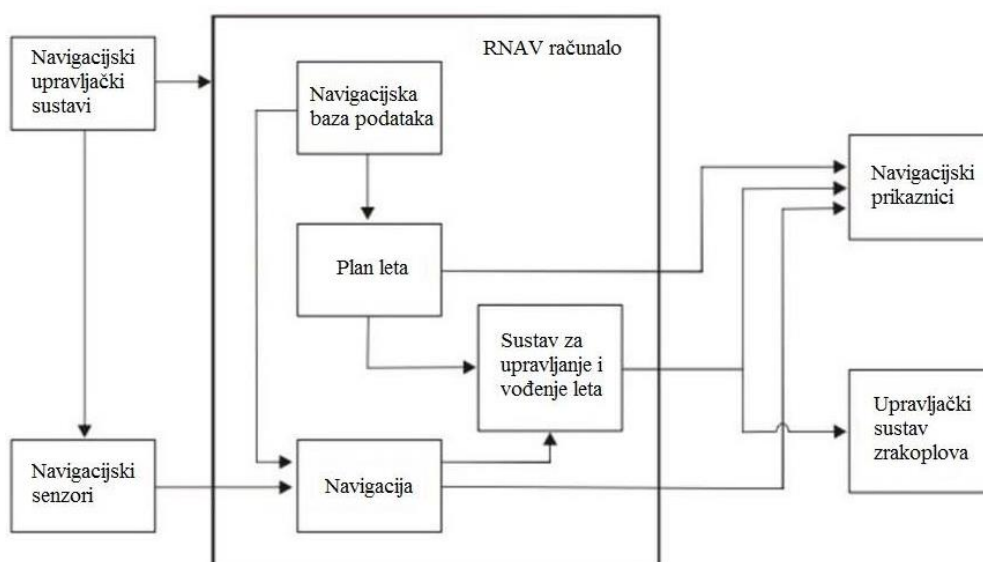


d) Kompleksni sustav avionike zrakoplova



Slika 2.3. Prikaz različitih izvedbi RNAV sustava na zrakoplovu, [3]

Nadalje, RNAV sustav na zrakoplovu može biti i ukomponiran s drugim sustavima kao što su autopilot (engl. *Autopilot* ili *AP*), upravitelj leta (engl. *Flight Director* ili *FD*), automatski potisak (engl. *Autothrust* ili *A/THR*) čime se postiže veća automatizacija (smanjenje radnog opterećenja posade) i razina učinkovitosti izvedbe letne operacije (manja potrošnja goriva), [3]. Ipak, bez obzira na razlike u kompleksnosti opreme RNAV sustava na zrakoplovu, osnovno načelo rada svima je zajedničko. Sakupljanjem podataka iz odgovarajućih senzora sa zadovoljavajućom razinom točnosti, s podacima iz baze podataka te s unesenim podacima od strane posade omogućiti provedbu sljedećih zadaća: navigacija zrakoplova, planiranje leta, kontrola i vođenje zrakoplova te prikaza rada RNAV sustava, [3], (slika 2.4.).



Slika 2.4. Prikaz komponenata RNAV sustava na zrakoplovu, [3]

2.2.1. NAVIGACIJSKA FUNKCIJA RAČUNALA

Primarna zadaća navigacijskog sustava je prikupljanje podataka dobivenih iz senzora, njihova obrada te izračun potrebnih parametara kao što su brzina i pozicija zrakoplova, korekcija visine, magnetska varijacija, brzina i smjer vjetrova, kut zanošenja (engl. *drift angle*), kut vertikalnog profila leta (engl. *Vertical Flight Path Angle* ili *VPA*) te mnoge druge za provedbu što sigurnijeg i učinkovitijeg leta, [1].

Navigacijski sustav unutar RNAV računala, uz ručni unos podataka, također sadrži mogućnost automatskog pronalaženja potrebnih stanica za prikupljanje što preciznijih podataka. Kao što je ranije objašnjeno, senzori u sklopu RNAV sustava na zrakoplovu mogu biti raznoliki no današnji suvremeni transportni zrakoplovi za izračunavanje potrebnih parametara uobičajeno sadrže senzore za primitak signala iz globalnih navigacijskih satelitskih sustava (engl. *Global Navigation Satellite System* ili *GNSS*), VOR stanica, DME uređaja te inercijskih navigacijskih sustava IRS. Prije prikaza određenog podatka, RNAV sustav na zrakoplovu tijekom leta provjerava točnost podataka dobivenih iz svih raspoloživih senzora. Tako su razine provjere podataka tijekom korištenja GNSS senzora strože u odnosu na podatke dobivene iz VOR/DME stanice. Razlog različite razine provjere dobivenih podataka je u činjenici da svaki senzor sadrži vlastite, specifične mogućnosti i značajke integrirane u RNAV računalo, [3].

Također, jedna od značajki navigacijskog sustava unutar RNAV računala je mogućnost automatskog selektiranja senzora za prikaz potrebnih podataka, [2]. Drugim riječima, ako iz nekog razloga (kvar satelitske postaje) GNSS senzor postane nedostupan, tada se navigacijski sustav za izračun potrebnih parametara automatski prebacuje na DME/DME ili VOR/DME način rada. Nadalje, u slučaju da niti DME/DME ili VOR/DME način rada nije dostupan, tada se koristi autonomni navigacijski sustav odnosno IRS. Bitna značajka navigacijskog sustava unutar RNAV računala je korištenje navigacijske baze podataka. Navigacijska baza podataka sadrži unaprijed pohranjene podatke o radionavigacijskim sredstvima, preletištim, rutama, instrumentalnim postupcima i ostalim informacijama potrebnih za sigurno odvijanje leta, [3]. RNAV sustav na zrakoplovu koristi navedene podatke iz baze podataka za planiranje leta kao i za provedbu unakrsnih provjera (engl. *cross-checks*) između podatka dobivenih iz vanjskih senzora, [2].

2.2.2. FUNKCIJA PLANIRANJA LETA

Funkcija planiranja leta, kao jedna od zadaća RNAV sustava na zrakoplovu, očituje se u kreiranju horizontalnog i vertikalnog profila namjeravanog leta, čije podatke potom koristi sustav za kontrolu i vođenje zrakoplova, [3]. Ključni aspekt tijekom planiranja leta je korištenje preletišta odnosno njihove pripadajuće geografske

koordinate za kreaciju specifičnog profila leta namijenjenog za određenu operaciju zrakoplova. Napredniji RNAV sustav na zrakoplovu ukomponiran je sa sustavima kao što je autopilot i upravitelj leta te se stoga prilikom kreiranja profila leta koristi raznolik niz podataka kao što su ukupna količina i potrošnja goriva, pozicija zakrilaca u svim fazama leta, razni podaci o stanju motora, brzina penjanja i spuštanja, Machov broj, temperature te još mnoštvo ostalih informacija, [1].

Također, RNAV sustavi na zrakoplovu tijekom leta progresivno prate i pružaju podatke s obzirom na zadana preletišta i očekivane instrumentalne postupke. To uključuje i podatke o predviđenom vremenu dolaska (engl. *Estimated Time of Arrival* ili *ETA*) kao i informaciju o udaljenosti od točke dodira (engl. *Distance to go* ili *DTG*) što je korisno za taktičko planiranje leta i suradnjom s kontrolom zračnog prometa (engl. *Air Traffic Control* ili *ATC*), [2].

2.2.3. FUNKCIJA KONTROLE I VOĐENJA ZRAKOPLOVA

Kontrola i vođenje zrakoplova nadovezuje se na funkciju planiranja leta te omogućuje zrakoplovu let u horizontalnoj ravnini, a u određenim slučajevima i u vertikalnoj ravnini. Navođenje po horizontalnoj ravnini omogućeno je uspoređivanjem pozicije zrakoplova (koja se određuje s obzirom na navigacijske senzore) sa željenom putanjom leta, [3]. Naime, u odnosu na željenju putanju leta, zrakoplov uobičajeno sadrži određenu grešku bočnog odstupanja. S obzirom na veličinu odstupanja, sustav za kontrolu i vođenje zrakoplova korigira grešku i zrakoplov usmjerava prema željenoj putanji leta, [3]. Navigacijske greške u prostornoj navigaciji bit će detaljnije objašnjene u nastavku rada.

RNAV sustavi na zrakoplovu koji su opremljeni i za vođenje zrakoplova u vertikalnoj ravnini, sadrže mogućnost vođenja zrakoplova uzduž planiranog vertikalnog profila leta, vodeći brigu o eventualnim ograničenjima koji se nalaze u planu leta. Rezultat funkcije vertikalnog navođenja obično se očituje preko komande nagiba prema sustavima za prikaz podataka i/ili sustavu upravitelja leta (FMS) te preko komandi potiska također prema sustavima za prikaz podataka koji mogu biti suspregnuti sa sustavom automatskog potiska (A/THR), [3].

2.2.4. PRIKAZNICI RADA SUSTAVA KOJI OMOGUĆUJU PROVEDBU PROSTORNE NAVIGACIJE

Kao i što sam naziv nagovještjuje, uloga prikaznika rada RNAV sustava je prikaz svih potrebnih parametara izračunatih preko RNAV računala na odgovarajućim prikaznicima. Kao što je slučaj kod navigacijskih senzora i prikaznici RNAV sustava dolaze u raznim izvedbama, od jednostavnijih pa do onih koji se koriste na suvremenim zrakoplovima. Jednostavnija izvedba podrazumijeva uporabu primarnog letnog prikaznika (engl. *Primary Flight Display* ili *PFD*) te višenamjenskog prikaznika (engl. *Multi Function Display* ili *MFD*). PFD uobičajeno prikazuje osnovne instrumente u digitalnom obliku, dakle brzinomjer, visinomjer, variometar, pokazivač pravca leta, itd, [1]. MFD sadrži motorske instrumente te navigacijsku pokretnu kartu. Primjer zrakoplova koji koristi jednostavniju izvedbu prikaza rada RNAV sustava je modernija izvedba Cessne 172 sa sustavom za vođenje satelitske navigacije Garmin 1000. Suvremeni transportni zrakoplovi (Airbus A320 i inačice, Boeing 747, itd.) opremljeni su sustavom za upravljanjem i vođenjem leta (engl. *Flight Management and Guidance System* ili *FMGS*) koji ujedno i prikazuje sve podatke RNAV sustava na zrakoplovu.

Oni uključuju, [3]:

- računalo sustava za upravljanje i vođenje leta (engl. *Flight Management and Guidance Computer* ili *FMGC*)
- višenamjensku kontrolno-prikazničku jedinicu (engl. *Multipurpose Control Display Unit* ili *MCDU*)
- panel za upravljanje letom (engl. *Flight Control Unit* ili *FCU*)
- ručicu potiska (engl. *Thrust Levers*)
- primarni letni prikaznik (engl. *Primary Flight Display* ili *PFD*)
- prikaznik navigacijskih podataka (engl. *Navigational Display* ili *ND*)

2.3. Razvoj prostorne navigacije prema konceptu navigacije zasnovane na performansama

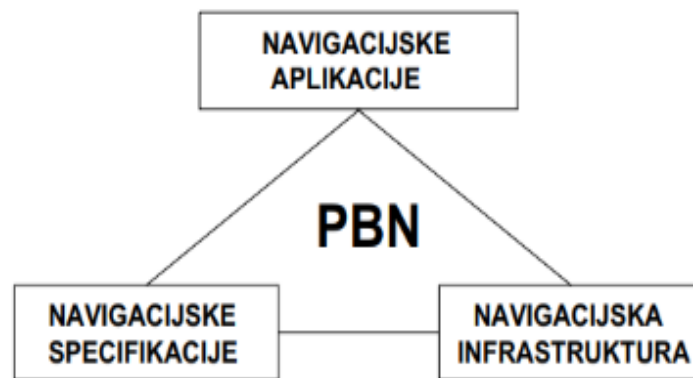
Kao što se može zaključiti iz prethodnih poglavlja, upotreba prostorne navigacije označila je veliki iskorak u svijetu avijacije. Navigacija s obzirom na preletišta uz pomoć RNAV sustava na zrakoplovu omogućila je značajan niz prednosti u odnosu na konvencionalnu navigaciju. Međutim, upravo napredak tehnologije kao i konstantan rast zračnog prometa ukazalo je na određene nedostatke u korištenju prostorne navigacije. Naime, metoda prostorne navigacije razvijala se tako da su se prvo definirali zahtjevi za RNAV sustavom na zrakoplovu, a potom su se s obzirom na njegove karakteristike i performanse, definirale specifičnosti zračnog prostora u kojem zrakoplov operira, [1]. Drugim riječima, određene specifikacije zračnog prostora bile su namijenjene isključivo zrakoplovima prema čijem su se RNAV sustavu te specifikacije i definirale. Problem je nastao što nisu postojali razvijeni standardi u specifikacijama RNAV opreme i zračnog prostora te je došlo do pojave različite upotrebe prostorne navigacije u različitim dijelovima svijeta, [2].

Zbog različitih specifikacija, operatori su morali dobiti odobrenje za let u određenom zračnom prostoru što je zahtijevalo i obuku posade za provođenje gotovo istih operacija. Ova činjenica, osim što je predstavljala dodatan trošak operatorima zbog obuke posade, dovela je i do nedosljednosti u smislu označavanja pojmova i terminologije. Stoga, bilo je potrebno poduzeti odgovarajuće mjere. U svrhu pronalaska rješenja navedene situacije, Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva (*International Civil Aviation Organization – ICAO*) je 2004. godine osnovala posebnu organizaciju pod nazivom *Required Navigation Performance and Special Operational Requirements Study Group (RNPSORSG)* s ciljem standardizacije upotrebe prostorne navigacije kao i korištene terminologije, [2]. Rezultat rada navedene organizacije je razvoj koncepta navigacije zasnovane na performansama (PBN) koji je službeno objavljen 2007. godine donošenjem PBN priručnika.

3. NAVIGACIJA ZASNOVANA NA PERFORMANSAMA

Službeni dokument koji razlaže problematiku navigacije zasnovane na performansama je PBN priručnik odnosno *ICAO Doc 9613 Performance-based Navigation (PBN) Manual*. Prema njemu, navigacija zasnovana na performansama ili PBN koncept može se izraziti kao dio prostorne navigacije zasnovane na specifičnim zahtjevima namijenjenim zrakoplovima koji koriste i prometuju u određenom sektoru zračnog prostora, uključujući ATS rute te postupke instrumentalnih prilaznja, [3]. Jednostavnije izraženo, PBN koncept predstavlja tranziciju s konvencionalne (upotreba klasičnih radionavigacijskih sredstava na zemlji) na prostornu navigaciju zasnovanu na performansama. Potrebno je napomenuti kako se pojam performanse odnosi na ranije spomenuti izraz specifični zahtjevi, a ne na karakteristike određenog zrakoplova (npr. potrošnja goriva, maksimalna brzina u penjanju, silaženju i slično). Prema tome, performanse odnosno specifični zahtjevi uključuju elemente točnosti (engl. *Accuracy*), cjelovitosti (engl. *Integrity*), raspoloživosti (engl. *Availability*) kontinuiteta (engl. *Continuity*) i funkcionalnosti (engl. *Functionality*), a definirani su kroz navigacijske specifikacije – jednog od tri čimbenika PBN koncepta, [3]. Samim time utječu na izbor navigacijskih senzora i opreme koja se može koristiti u svrhu ispunjena propisanih zahtjeva tj. performansi. Navedeni specifični zahtjevi bit će razrađeni u nastavku rada, no već ovdje se može primijetiti napredak PBN koncepta u odnosu na metodu prostorne navigacije koja se temelji isključivo na točnosti pozicioniranja, [1].

Uz navigacijske specifikacije, ostala dva čimbenika PBN koncepta su navigacijska infrastruktura te navigacijske aplikacije. Navigacijska infrastruktura se odnosi na zemaljska radionavigacijska sredstva (VOR, DME) te satelitsku navigacijsku infrastrukturu (GNSS). Neovisno o vrsti infrastrukture koja se koristi (zemaljska i/ili satelitska), obje moraju omogućiti provedbu zahtjeva definiranih u navigacijskim specifikacijama. Konkretna primjena navigacijske specifikacije kroz adekvatnu navigacijsku infrastrukturu za definiranje određenog sektora zračnog prostora, zračnog puta ili instrumentalnog postupka čini posljednji čimbenik PBN koncepta – navigacijsku aplikaciju. Navedeni čimbenici PBN koncepta prikazani su i kroz sliku 3.1.



Slika 3.1. Prikaz PBN koncepta

Izvor: [1]

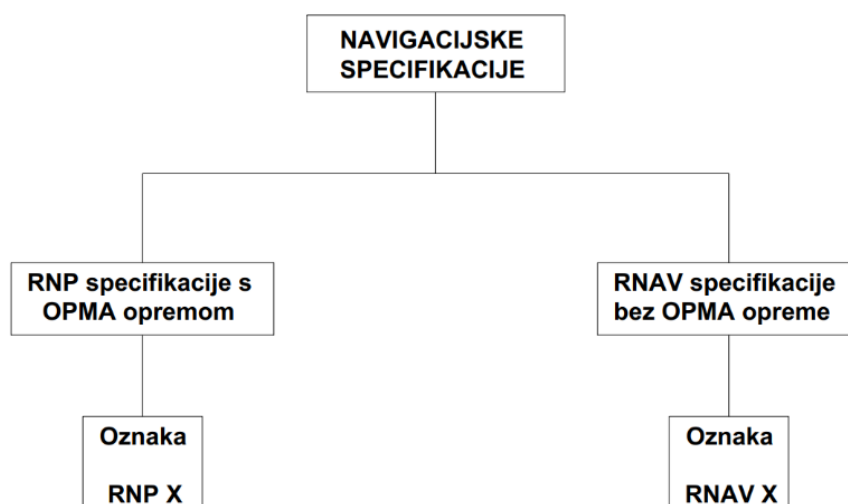
Prednosti koncepta navigacije zasnovane na performansama u odnosu na klasičnu metodu vođenja navigacije prema zemaljskim radionavigacijskim sredstvima uključuju, [1], [3]:

- smanjenje korištenja zemaljskih radionavigacijskih sredstava za provođenje navigacije zrakoplova na pripadajućim zračnim putevima i instrumentalnih postupaka kao i troškova vezanih uz njihovo održavanje
- smanjenje potrebe za razvojem i implementacijom operacija temeljenih na zemaljskim radionavigacijskim sredstvima koja postaju financijski neisplativa s razvojem satelitskih navigacijskih infrastruktura
- mogućnost efikasnijeg korištenja zračnog prostora s naglaskom na povećanje njegova kapaciteta (učinkovitija konstrukcija zračnih puteva uz smanjenu potrošnju goriva i razine buke)
- razjašnjava način korištenja RNAV sustava na zrakoplovu
- operatorima olakšava postupak dobivanja odobrenja za izvođenje zrakoplovnih operacija pružajući ograničeni skup navigacijskih specifikacija namijenjenih za globalnu upotrebu

3.1. Navigacijske specifikacije

Kao što je ranije objašnjeno, navigacijske specifikacije predstavljaju skup specifičnih zahtjeva namijenjenim zrakoplovima i posadi u svrhu ostvarivanja provedbe navigacijskih aplikacija unutar definiranog sektora zračnog prostora. Osim navigacijskih specifikacija, pružatelji usluga u zračnoj plovidbi (engl. *Air Navigation Service Provider* ili *ANSP*) također su nužni osigurati adekvatnu navigacijsku infrastrukturu u svrhu provedbe istog. Navigacija prema PBN konceptu podrazumijeva daljnju eksploataciju upotrebe metode prostorne navigacije (RNAV) s krajnjim ciljem pružanja 4D navigacije (gdje navigacijski sustav osim navođenja zrakoplova u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini, omogućuje i dodatak komponente vremena s kojom je definiran trenutak preleta određene točke na zračnom putu ili instrumentalnom postupku, [1]). Dakle, očito je, da se navigacija unutar PBN koncepta u velikoj mjeri oslanja na upotrebu RNAV sustava na zrakoplovu, a upravo zbog navedene činjenice, potrebna je i viša razina cjelovitosti navigacijskog sustava. Drugim riječima, konvencionalni prikaznici u suvremenim zrakoplovima (koji zahtijevaju češće unakrsne provjere) više nisu primarna sredstva s kojima se vodi navigacija zrakoplova po namjeravanom planu leta. Stoga, u svrhu pružanja više razine cjelovitosti navigacijskog sustava, potrebna je određena indikacija pilotima pomoću koje se može utvrditi zadovoljavaju li se propisani zahtjevi za navigaciju unutar određenog sektora zračnog prostora, zračnog puta ili instrumentalnog postupka.

Sukladno navedenom, PBN koncept uključuje opremu koja kontinuirano prati i kontrolira rad sustava te omogućuje dojavu posadi u slučaju ne zadovoljavajućeg stupnja rada (engl. *On-board performance monitoring and alerting* ili *OPMA*). Navigacijska specifikacija koja zahtjeva navedenu opremu (OPMA) naziva se RNP specifikacija, [2], [3]. Osim RNP specifikacije, postoji i RNAV specifikacija čiji je temelj rada u osnovi sličan RNP specifikaciji, no ipak ne zahtijeva OPMA opremu, [2], [3]. Podjela navigacijskih specifikacija prikazana je i kroz sliku 3.2.



Slika 3.2. Klasifikacija navigacijskih specifikacija, [3]

3.1.1. OZNAČAVANJE I PODRUČJE PRIMJENE NAVIGACIJSKIH SPECIFIKACIJA

Kao što se može primijetiti preko slike 3.2, uz RNP i RNAV specifikaciju nalazi se oznaka X. Naime, oznaka X se odnosi na najveće dopušteno poprečno odstupanje izraženo u nautičkim miljama tijekom 95% vremena trajanja leta što uključuje zrakoplovne operacije unutar određenog sektora zračnog prostora, zračnog puta ili instrumentalnog postupka, [3]. Drugim riječima, oznaka X predstavlja specifičan zahtjev točnosti unutar PBN koncepta. Bitno je naglasiti činjenicu da zrakoplovi koji posjeduju odobrenje za korištenje RNP specifikacija (sadrže OPMA opremu) ne ispunjavaju nužno i uvjete za let prema RNAV specifikacijama. Također, čak i ako zrakoplov unutar iste specifikacije posjeduje odobrenje više razine točnosti poprečnog odstupanja (oznaka X), nije automatski odobren za let unutar određenog sektora zračnog prostora, zračnog puta ili instrumentalnog postupka s nižim zahtjevom točnosti, [3]. Odnosno, navigacijska specifikacija RNAV 5 ne osigurava let po zahtjevima specifikacije RNAV 10, kao što niti navigacijska specifikacija RNP 0.3 ne osigurava let po zahtjevima specifikacije RNP 4.

Nadalje, zahtjevi navigacijskih specifikacija određeni su s obzirom na područja u kojima se primjenjuju. Ona uključuju, [1], [3]:

- područja iznad oceana i velikih kopnenih prostranstva (engl. *Oceanic and Remote Continental*)
- područja rutnih segmenata iznad kopna (engl. *Continental En-route*)
- terminalne zone – dolazni i odlazni postupci (engl. *Terminal Airspace: Arrival and Departure*)
- prilazi za slijetanje (engl. *Approach*)

U područjima iznad oceana i velikih kopnenih prostranstava, rutnih segmenata iznad kopna te terminalnih zona koriste se i RNP i RNAV navigacijske specifikacije. Područja koja uključuju prilaze za slijetanje, namijenjena su isključivo RNP specifikacijama, a detaljnija analiza izvršit će se u nastavku rada.

3.1.2. KLASIFIKACIJA NAVIGACIJSKIH SPECIFIKACIJA

U poglavlju područje primjene navigacijskih specifikacija, predstavljena su područja mogućih zrakoplovnih operacija s obzirom na fazu leta zrakoplova te je rečeno da su se navigacijske specifikacije razvile s obzirom na područja gdje će se primjenjivati. Stoga, daljnja analiza RNP i RNAV specifikacija obaviti će se koristeći tablicu 1.

Tablica 1. Prikaz navigacijskih specifikacija i pripadajućih točnosti vođenja (bočno odstupanje) unutar različitih faza leta

Navigacijske specifikacije	Faze leta							
	Rute (velika prostranstva)	Rutni segmenti i terminalne zone	Dolazni postupci	Segment instrumentalnog prilaženja				Odlazni postupci
				Početno prilaženje	Među prilaženje	Završno prilaženje	Neuspjelo prilaženje	
RNAV 10	10							
RNAV 5		5	5					
RNAV 2		2	2					2
RNAV 1		1	1	1	1		1	1
RNP 4	4							
RNP 2	2	2						
RNP 1			1	1	1		1	1
NAPREDNI RNP POSTUPCI	2	2 ili 1	1	1	1	0.3	1	1
RNP APCH				1	1	0.3	1	
RNP AR APCH				1 - 0.1	1 - 0.1	0.3 - 0.1	1 - 0.1	
RNP 0.3		0.3	0.3	0.3	0.3		0.3	0.3

Izvor: [3]

Tablica 1 prikazuje PBN koncept navigacijskih specifikacija s obzirom na fazu leta zrakoplova. Kao što je ranije objašnjeno, broj u svakoj odgovarajućoj kolumni predstavlja zahtjev za održavanjem točnosti bočnog odstupanja u iznosu od 95% od namjeravane putanje leta izraženog u nautičkim miljama za vrijeme trajanja leta. Tamo gdje nema broja znači da navigacijska specifikacija nije prikladna za određenu fazu leta. Daljnjom analizom zaključuje se da PBN koncept razlikuje 11 navigacijskih specifikacija od kojih 4 spadaju unutar RNAV specifikacije (RNAV 10, 5, 2, 1), a preostalih 7 unutar RNP navigacijskih specifikacija (RNP 4, 2, 1, napredni RNP postupci, RNP APCH, RNP AR APCH te RNP 0.3). Nadalje, može se primijetiti kako napredni RNP postupci uz svoj naziv ne uključuju broj koji označava zahtijevanu razinu točnosti poprečnog odstupanja (oznaka x), a razlog je u tome što napredni RNP postupci predstavljaju krovnu specifikaciju koja uključuje razne zahtjeve navigacijske

točnosti (od 0.3 do 2) koje se primjenjuju u različitim fazama leta. Također, rečeno je da se u područjima koja uključuju prilaze za slijetanje koriste isključivo RNP navigacijske specifikacije, a one se dijele na RNP APCH te RNP AR APCH specifikacije. Navedene specifikacije bit će analizirane u poglavlju vertikalna navigacija (VNAV) unutar PBN koncepta. Posljednja navigacijska specifikacija unutar tablice 1 je RNP 0.3, a ona se odnosi na zrakoplovne operacije namijenjene isključivo helikopterima.

Da bi zrakoplov mogao održavati let prema određenoj navigacijskoj specifikaciji, mora biti u mogućnosti održavati točnost pozicije zrakoplova u odnosu na zahtijevanu navigacijsku specifikaciju. Drugim riječima, provedba određene navigacijske specifikacije moguća je korištenjem odgovarajućih navigacijskih senzora te zrakoplovne opreme koju je PBN koncept propisao (tablica 2).

Tablica 2. Prikaz potrebnih navigacijskih senzora i opreme s obzirom na navigacijske specifikacije

	Dopušteni senzori					AP/FD
	GNSS	IRU	DME/DME	DME/DME/IRU	DME/VOR	
RNAV 10	✓	✓				Pilot će manualnim letenjem biti u stanju održavati pravac leta zrakoplova u granicama od iznosa polovice maksimalnog otklona prikaznika devijacije kursa
RNAV 5	✓	✓	✓	✓	✓	
RNAV ½	✓		✓	✓		
RNP 4	✓					
RNP 2	✓					
RNP 1	✓		✓			
A-RNP	✓		✓			✓
RNP 0.3	✓					✓
RNP APCH	✓		✓ ^a	✓ ^a		
RNP AR APCH	✓					✓
^a - Ne zahtijeva se upotreba AP/FD						

Izvor: [3]

Analizom tablice 2 zaključuje se da satelitski navigacijski senzori (GNSS) podržavaju sve navigacijske specifikacije, stoga i predstavljaju ključnu komponentu u implementaciji PBN koncepta. Nadalje, tablicom 2 propisana je i zahtijevana oprema zrakoplova koja uključuje korištenje autopilota (AP) i upravitelja leta (FD). Kao što se može zaključiti, većina specifikacija ne zahtijeva korištenje AP/FD jer se očekuje da će manualnim letenjem pilot biti u stanju održati pravac leta zrakoplova u granicama iznosa od polovice maksimalnog otklona prikaznika devijacije kursa (engl. *Course Deviation Indicator* ili *CDI*). Nadalje, prema tablici 2, zaključuje se da navigacijski senzor DME/DME također može podržati zahtjeve točnosti određenih RNP navigacijskih specifikacija, no potrebno je napomenuti da ova činjenica ovisi o povoljnom razmještaju DME navigacijskih stanica na zemlji. Osim toga, zbog različitih izvedbi, pojedini zrakoplovi nemaju mogućnost pružanja OPMA opreme korištenjem DME/DME senzora te stoga u konačnici ne mogu ni zadovoljiti određenu RNP navigacijsku specifikaciju.

Budući da satelitski navigacijski senzori omogućuju korištenje svih navigacijskih specifikacija, sljedeće poglavlje predstaviti će satelitsku navigacijsku infrastrukturu koja u cijelosti omogućuje implementaciju PBN koncepta.

3.2. Navigacijska infrastruktura

Navigacijska infrastruktura unutar PBN koncepta podrazumijeva korištenje zemaljskih radionavigacijskih sredstava (VOR, DME stanice) te satelitsku navigacijsku infrastrukturu odnosno korištenje globalnog navigacijskog sustava GNSS (engl. *Global Navigation Satellite System*). U prethodnom poglavlju predstavljeni su navigacijski senzori koji omogućuju provedbu navigacijskih specifikacija te se zaključilo da je upotrebom GNSS senzora moguće provesti sve navigacijske specifikacije (tablica 2).

Naredno poglavlje predstaviti će zahtjeve performansi GNSS-a u svrhu ispunjavanja zahtjeva propisanih u PBN konceptu (točnost, cjelovitost, kontinuitet, raspoloživost). Također će se predstaviti i moguće navigacijske greške koje je potrebno poznavati tijekom vođenja navigacije upotrebom satelitskih sustava.

3.2.1. ZAHTJEVI PERFORMANSI GLOBALNIH NAVIGACIJSKIH SATELITSKIH SUSTAVA UNUTAR NAVIGACIJE ZASNOVANE NA PERFORMANSAMA

Tijekom rada već je objašnjeno da je PBN koncept u odnosu na prostornu navigaciju (RNAV), koja se temelji isključivo na točnosti pozicioniranja, unio novitet preko specifičnih zahtjeva (performansi) u obliku točnosti, cjelovitosti, kontinuiteta, raspoloživosti te funkcionalnosti. Također, naglašeno je da se specifični zahtjevi odnose na faze leta odnosno vrstu operacije u kojoj se zrakoplov nalazi. S obzirom na navedene činjenice, preko ICAO Annexa 10, definirani su i zahtjevi performansi GNSS-a, a koji su prikazani kroz tablicu 3.

Stoga, u nastavku rada će se opisati značaj svakog specifičnog zahtjeva u odnosu na globalni navigacijski satelitski sustav. Potrebno je istaknuti da su u koncept zahtjeva GNSS-a uključeni svi satelitski sustavi, a ne isključivo GPS (engl. *Global Positioning System*).

Tablica 3. Zahtjevi performansi GNSS-a

Vrsta operacije	Bočna točnost	Vert. točnost	Cjelovitost	Vrijeme do upozorenja	Kontinuitet	Dostupnost
Rutni segmenti iznad kopna	3.7km	N/A	$1-1 \times 10^{-7}/h$	5 min	$1-1 \times 10^{-4} - 1-1 \times 10^{-8}/h$	0.99-0.99999
Terminalne zone	0.74km	N/A	$1-1 \times 10^{-7}/h$	15s	$1-1 \times 10^{-4} - 1-1 \times 10^{-8}/h$	0.99-0.99999
Neprecizni prilazi	220m	N/A	$1-1 \times 10^{-7}/h$	10s	$1-1 \times 10^{-4} - 1-1 \times 10^{-8}/h$	0.99-0.99999
APV-I	16m	20m	$1-2 \times 10^{-7}$	10s	$1-8 \times 10^{-6}$ unutar 15s	0.99-0.99999
APV-II	16m	8m	$1-2 \times 10^{-7}$	6s	$1-8 \times 10^{-6}$ unutar 15s	0.99-0.99999
ILS CAT I	16m	6-4m	$1-2 \times 10^{-7}$	6s	$1-8 \times 10^{-6}$ unutar 15s	0.99-0.99999

Izvor: [2], [4]

3.2.1.1. Točnost

Točnost je razina statističkog odstupanja od predviđene, izmjerene ili željene pozicije ili putanje tijekom ukupnog vremena trajanja leta, [1]. Drugim riječima, točnost predstavlja mjeru greške pozicioniranja odnosno razliku između predviđene i stvarne pozicije zrakoplova tijekom leta. Vjerojatnost s kojom će se postići određena razina točnosti, prema tablici 3 iznosi 95% vremena ukupnog trajanja leta, a podijeljena je s obzirom na bočnu i vertikalnu točnost. Prema tome, ako se za primjer razmatra faza leta u određenoj terminalnoj zoni, tada (prema tablici 3) se u nominalnim okolnostima očekuje vjerojatnost od 95% da je greška bočnog odstupanja < 0.74 km za vrijeme trajanja leta.

3.2.1.2. Cjelovitost

Cjelovitost predstavlja mogućnost sustava da na vrijeme, unutar definiranog vremenskog perioda, pruži upozorenja korisniku u trenucima kad navigacijski sustav nije operativan, ili u trenucima kad informacija koju sustav daje nije pouzdana za vođenje navigacije, [1]. Drugačije izraženo, cjelovitost predstavlja mjeru povjerenja točnosti pozicije koju pruža navigacijski sustav uz odgovarajuća i pravovremena upozorenja. Također, uz pojam cjelovitosti, povezuje se i pojam rizika gubitka kriterija cjelovitosti (engl. *Integrity Risk*), a opisuje se kao statistička vjerojatnost da će korisnik iskusiti grešku bočnog odstupanja veću od horizontalne granice upozorenja (engl. *Horizontal Alert Limit* ili *HAL*) i/ili grešku vertikalnog odstupanja veću od vertikalne granice upozorenja (engl. *Vertical Alert Limit* ili *VAL*) bez upozorenja unutar propisanog vremena za izdavanje upozorenja (engl. *Time-to-alert* ili *TTA*) tijekom ukupnog vremena trajanja leta, [2]. U avijaciji, vremensko ograničenje unutar kojeg sustav treba upozoriti korisnika da upotreba GNSS-a nije pouzdana iskazana je kao $1 \times 10^{-7}/h$. To znači da je vjerojatnost pojave jedne neprepoznate pogreške moguće unutar 10 000 000 sati rada. Također, s obzirom na kriterij cjelovitosti, posebno su definirane i horizontalne granice upozorenja (HAL) te vertikalne granice upozorenja (VAL) tijekom određene operacije leta. Navedene vrijednosti prikazane su tablicom (4).

Tablica 4. Vrijednosti horizontalne granice upozorenja (HAL) i vertikalne granice upozorenja (VAL)

Faza leta	HAL	VAL
Ruta (oceanska područja)	4 NM	Nema
Ruta (kopnena područja)	2 NM	Nema
Terminalne zone	1 NM	Nema
Neprecizni prilazi	0.3 NM	Nema
APV - I	130 ft	164 ft
APV - II	130 ft	66 ft
ILS CAT I	130 ft	115 – 33 ft

Izvor: [2], [4]

3.2.1.3. Kontinuitet

Kontinuitet je sposobnost funkcioniranja cjelokupnog navigacijskog sustava, odnosno skupa svih njegovih pojedinih elemenata koji su nužni za određivanje pozicije zrakoplova unutar definiranog zračnog prostora, [1]. Također, kontinuitet se može definirati i kao vjerojatnost da je korisnik u mogućnosti odrediti poziciju unutar propisane točnosti kao i izvršiti nadzor cjelovitosti svoje pozicije za vrijeme trajanja odgovarajuće faze leta, [2]. Ako se za primjer uzme kontinuitet u područjima rutnih segmenata iznad kopna (En-route), tada prema tablici 3, kontinuitet iznosi između $10^{-4}/h$ do $10^{-8}/h$.

Drugim riječima, ako je usluga navigacije prema GNSS-u dostupna početkom nadolazećeg sata, to znači da se vjerojatnost gubitka usluge u tom satu kreće između navedenih vrijednosti, tj. između $10^{-4}/h$ do $10^{-8}/h$, [2]. Može se primijetiti da je razina kontinuiteta viša što je određena operacija faze leta kraća. Tako razina kontinuiteta za vrijeme prilaznih postupaka (koji traju relativno kratko) iznosi svega 15 sekundi.

3.2.1.4. Raspoloživost

Raspoloživost predstavlja indikator sposobnosti navigacijskog sustava u pružanju odgovarajuće navigacijske informacije tijekom namjeravane operacije zrakoplova unutar specifičnog zračnog prostora, [1].

Zahtjev raspoloživosti u biti je sličan zahtjevu kontinuiteta s ključnom razlikom da se vjerojatnost određivanja pozicije unutar propisane točnosti te vršenje nadzora cjelovitosti pozicije ne zahtijeva tijekom vremena trajanja odgovarajuće faze leta već na njenom početku [2]. Drugim riječima, a prema tablici 3, očekuje se da će vjerojatnost zahtjeva raspoloživosti (točnost i cjelovitost pozicije zrakoplova) u trenutku početka bilo koje faze leta iznositi minimalno 99%.

3.2.2. NAVIGACIJSKE GREŠKE

Prethodno poglavlje obradilo je temu zahtjeva performansi GNSS-a te se moglo zaključiti da su potrebni zahtjevi propisani tablicom 3. S druge strane, analizom navigacijskih specifikacija, zaključuje se da su propisani i specifični zahtjevi koje oprema zrakoplova mora ispuniti u određenoj fazi leta s ciljem provedbe različitih navigacijskih aplikacija (tablica 1). Prema tome, za obradu ovog poglavlja usporedno će se koristiti podaci iz tablice 1 i 3.

Naime, ponovnim razmatranjem tablice 1, zaključuje se da su definirane RNAV i RNP navigacijske specifikacije u odnosu na fazu leta u kojoj se zrakoplov nalazi. Uzme li se za primjer navigacijska specifikacija RNP 2, zaključuje se da se navedena navigacijska specifikacija može primijeniti na područja rutnih segmenata iznad kopna (*Continental En-route*), a uz pomoć tablice 2 zaključuje se da jedino globalni navigacijski satelitski sustav može ispuniti potrebnu navigacijsku specifikaciju.

Kao što je objašnjeno u prethodnim poglavljima, navigacijska specifikacija RNP 2 podrazumijeva da zahtjev za održavanjem točnosti bočnog odstupanja iznosi 2 NM tijekom 95% vremena ukupnog trajanja leta. Nadalje, razmatranjem tablice 3 koja propisuje zahtjeve performansi GNSS-a, zaključuje se da prema zahtjevu bočne točnosti operacija zrakoplova u području rutnih segmenata iznad kopna (*Continental En-route*) iznosi 3.7 km odnosno približno 2 NM (1.9978 NM). Navedeni kriterij također

vrijedi za očekivanje u iznosu od 95% od ukupnog vremena trajanja leta. Drugačije izraženo, razina propisane točnosti GNSS-a za određenu fazu leta mora odgovarati ili čak biti stroža od zahtjeva točnosti definiranim preko navigacijskih specifikacija.

Dakle, kao što se može zaključiti, bitan parameter u PBN konceptu je propisana razina točnosti. Stoga, uz poznatu činjenicu da se ukupna vrijednost bočnog odstupanja sastoji od triju navigacijskih pogrešaka, potrebno je dizajnirati takav navigacijski sustav koji ipak omogućuje let zrakoplova uz uvjet zadovoljavanja navigacijskih specifikacija tijekom 95% vremena ukupnog trajanja leta.

Navigacijske pogreške uključuju, [1], [2]:

- Pogreške pri definiranju putanje (engl. *Path Definition Error* ili *PDE*)

Navedena pogreška je rezultat razlike između definirane putanje navigacijskog sustava na zrakoplovu te putanje u odnosu na zemlju prema konstruiranom (željenom) postupku, [2]. PDE pogreške su vrlo malene (gotovo zanemarive) te se strogo nadziru preko navigacijskog računala. Uzroci PDE pogrešaka uključuju, [1]: razlike između stvarnog oblika i zakrivljenosti Zemlje u odnosu na geoid, odstupanje geometrijske visine leta u odnosu na visinu po tlaku i stvarnu visinu, promjene u magnetskoj varijaciji, pogreške pri mjerenju geografskih koordinata zemaljske postaje te razlučivost i veličinu baze podataka koja se upotrebljava u sustavu.

- Tehničke pogreške tijekom leta (engl. *Flight Technical Error* ili *FTE*)

FTE pogreške podrazumijevaju odstupanja između predviđene pozicije zrakoplova tijekom leta u odnosu na definiranu putanju leta, [2]. Navedena pogreška u biti predstavlja mjeru uspješnosti vođenja navigacije kada pilot upravlja zrakoplovom bez upotrebe autopilota odnosno mjeru uspješnosti avionike zrakoplova da održava navigaciju uz pomoć upravitelja leta i/ili autopilota. Ove pogreške su rezultat zakašnjele reakcije posade na pokazivanje

i promjenu određenih navigacijskih elemenata te utjecaja atmosferskih elemenata (vjetar, turbulencije), [2].

- Pogreška u predviđanju pozicije zrakoplova (engl. *Navigation System Error* ili *NSE*)

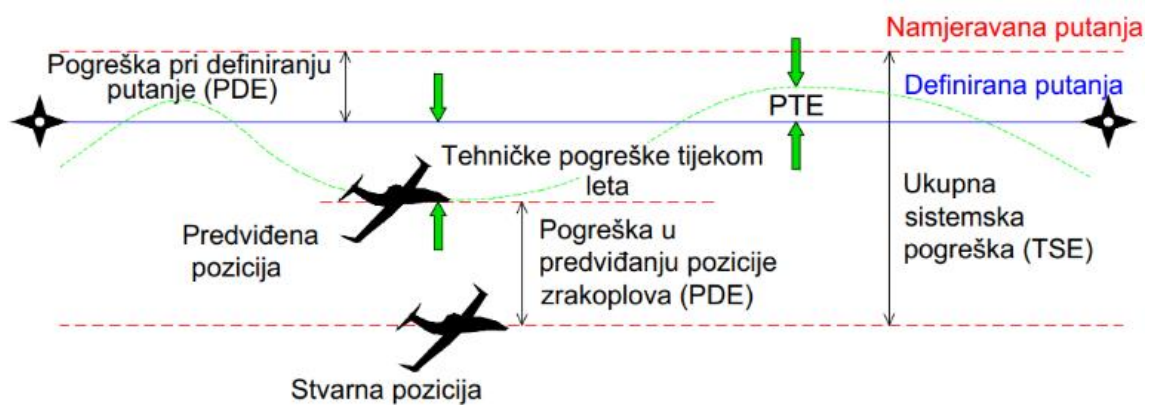
Pogreška koja se odnosi na odstupanje stvarne pozicije zrakoplova u odnosu na predviđenu (proračunatu) poziciju, [2]. NSE pogreška je uzrokovana kombinacijom pogrešaka navigacijskog sustava/senzora i računalnog programa koji obrađuje proračunate podatke.

Ukupna pogreška bočnog odstupanja od namjeravane putanje leta rezultat je triju prethodno opisanih navigacijskih grešaka te se može izraziti preko formule:

$$TSE = \sqrt{FTE^2 + NSE^2 + PDE^2} \quad (3.1.)$$

gdje TSE predstavlja ukupnu sistemsku pogrešku (engl. *Total System Error*) i odgovara najvećem dopuštenom bočnom odstupanju za pojedinu navigacijsku specifikaciju unutar 95% ukupnog vremena trajanja leta tijekom određene faze leta.

Ukupna sistematska pogreška, kao i pripadajuće navigacijske pogreške prikazane su kroz sliku 3.3.



Slika 3.3. Prikaz navigacijskih pogrešaka

Izvor: [2]

4. VERTIKALNA NAVIGACIJA UNUTAR KONCEPTA NAVIGACIJE ZASNOVANE NA PERFORMANSAMA

Tijekom razrade PBN koncepta, ustanovljeno je da su pojedine navigacijske specifikacije namijenjene određenom području unutar kojeg se provode zrakoplovne operacije. Jedno od tih područja podrazumijeva i prilaze za slijetanje (engl. *Approach*). Propisane navigacijske specifikacije unutar područja prilaza za slijetanje isključivo se odnose na postupke instrumentalnog prilaženja (engl. *Instrument Approach Procedure*). Postupci instrumentalnog prilaženja službeno se definiraju kao niz unaprijed utvrđenih manevara zrakoplova pomoću letačkih instrumenata s utvrđenom zaštitom od prepreka koji započinje od preletišta početnog prilaženja ili od početka utvrđene dolazne rute do točke s koje se slijetanje može završiti, odnosno ako se slijetanje ne završi do pozicije na kojoj se primjenjuju mjerila za nadvisivanje prepreka za čekanje ili rutu, [1]. Također, sve propisane navigacijske specifikacije za postupak instrumentalnog prilaženja odnose se i na njegove segmente, a oni uključuju, [1]:

- Dolazni segment (engl. *Arrival route*)
- Segment početnog prilaženja (engl. *Initial approach*)
- Segment međuprilaženja (engl. *Intermediate approach*)
- Segment završnog prilaženja (engl. *Final approach*)
- Segment neuspjelog prilaženja (engl. *Missed approach*)

U nastavku rada iznijet će se klasifikacija postupaka instrumentalnog prilaženja s posebnim naglaskom na instrumentalna prilaženja koja uključuju i kontrolu prilikom vertikalnog vođenja zrakoplova u sklopu PBN koncepta.

4.1. Klasifikacija postupaka instrumentalnog prilaženja

Osnovna klasifikacija postupaka instrumentalnog prilaženja podijeljena je u dvije kategorije koje uključuju postupke nepreciznog i preciznog prilaženja.

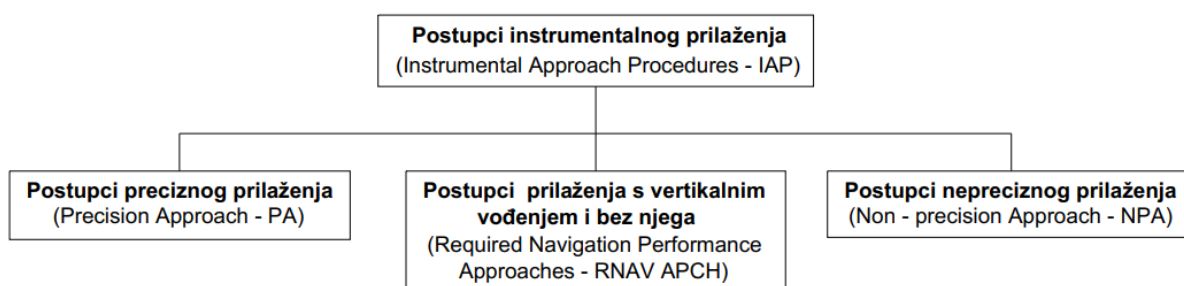
- Postupci nepreciznog prilaženja (engl. *Non-Precision Approach* ili *NPA*) podrazumijevaju kontrolu vođenja navigacije isključivo u horizontalnoj ravnini tijekom segmenta završnog prilaženja. Dakle, u svakom trenutku segmenta završnog prilaženja pilotu je poznata informacija o bočnom odstupanju (engl. *lateral*) u odnosu na definiranu putanju prilaženja.
- Postupci preciznog prilaženja (engl. *Precision Approach* ili *PA*) uz kontrolu vođenja navigacije u horizontalnoj ravnini podrazumijevaju i kontrolu vođenja navigacije u vertikalnoj ravnini tijekom segmenta završnog prilaženja. Pritom kontrola navigacije u vertikalnoj ravnini se odnosi na podatak o eventualnom odstupanju zrakoplova u odnosu na predviđeni kut prilaza. Drugim riječima, tijekom postupka preciznog prilaženja, pilotu je poznata informacija o vertikalnom odstupanju (engl. *vertical*) u odnosu na definirani kut prilaza.

Dakle, kao što se može zaključiti, osnovna razlika između postupaka preciznih prilaženja u odnosu na neprecizne je što postupci preciznog prilaženja uz kontrolu vođenja navigacije u horizontalnoj ravnini omogućuju i kontrolu vođenja navigacije u vertikalnoj ravnini. Nadalje, zbog razloga što je kod postupaka preciznog prilaženja dostupna i informacija o vertikalnom odstupanju u odnosu na definirani kut prilaza, minimalna visina do koje pilot može navoditi zrakoplov (apsolutna visina odluke – engl. *decision altitude* ili *DA*) je niža u odnosu na postupak nepreciznog prilaženja (minimalna apsolutna visina snižavanja – engl. *minimum descent altitude* ili *MDA*).

Razvojem globalnih satelitskih navigacijskih sustava, samim time i razvojem prostorne navigacije (kasnije i PBN koncepta) uz navedene dvije klasifikacije omogućena je i treća (posljednja) klasifikacija.

- Postupci prilaženja s vertikalnim vođenjem i bez njega (*Required Navigation Performance Approaches – RNAV APCH*)

Navedeni postupak prilaženja analizirat će se u sljedećem poglavlju, a cjelokupna klasifikacija prikazana je i kroz sliku 4.1.



Slika 4.1. Klasifikacija postupaka instrumentalnog prilaženja, [1]

4.2. Postupci prilaženja s vertikalnim vođenjem i bez njega

Analizom slike 4.1. gdje je prikazana klasifikacija postupaka instrumentalnog prilaženja, može se primijetiti da je kod postupaka prilaženja s vertikalnim navođenjem i bez njega službena kratica RNAV APCH (engl. *Required Navigation Performance Approaches*). Također, tijekom slijetanja zrakoplova prema navedenom postupku, službena karta koja se koristi nosi naziv RNAV (GNSS) Rwy XX gdje je XX oznaka za uzletno–sletnu stazu, [2].

Ipak, potrebno je napomenuti da su unutar PBN koncepta postupci prilaženja s vertikalnim vođenjem i bez njega definirani kao RNP postupci prilaženja (engl. *RNP Approaches*) jer navedeni postupci zahtijevaju OPMA opremu. Razlog različite terminologije je u činjenici da su se određeni postupci već implementirali u praksi pod nazivom RNAV (iako zahtijevaju OPMA opremu) ranije nego ih je ICAO službeno definirao kao *RNP Approaches*, [2]. Stoga, ICAO planira izvršiti tranziciju prema upotrebi RNP terminologije u službenim kartama do kraja 2023. godine, [2]. U nastavku rada iznijet će se prednosti koje pruža postupak prilaženja s vertikalnim vođenjem i bez njega kao i postojeća klasifikacija.

4.2.1. PREDNOSTI POSTUPAKA PRILAŽENJA S VERTIKALNIM VOĐENJEM I BEZ NJEGA

Kao što je ranije naglašeno, razvitak RNP postupaka prilaženja omogućen je razvojem i implementacijom globalnih navigacijskih satelitskih sustava. Budući da se navedeni postupci koriste isključivo uz upotrebu GNSS-a, omogućili su napredak u vidu povećanja sigurnosti izvođenja operacija slijetanja kao i mogućnost konstrukcije određenih prilaza na mjestima gdje to prije nije bilo moguće. Prije svega, potrebno je naglasiti da svi RNP postupci imaju manje propisane minimalne visine do kojih pilot smije snižavati zrakoplov, bez uvjeta vanjske vidljivosti, tijekom segmenta završnog prilaženja u odnosu na neprecizne prilaze, [2]. Zbog navedene činjenice, RNP postupci prilaženja se smatraju kao idealno rješenje za zamjenu postojećih nepreciznih prilaza.

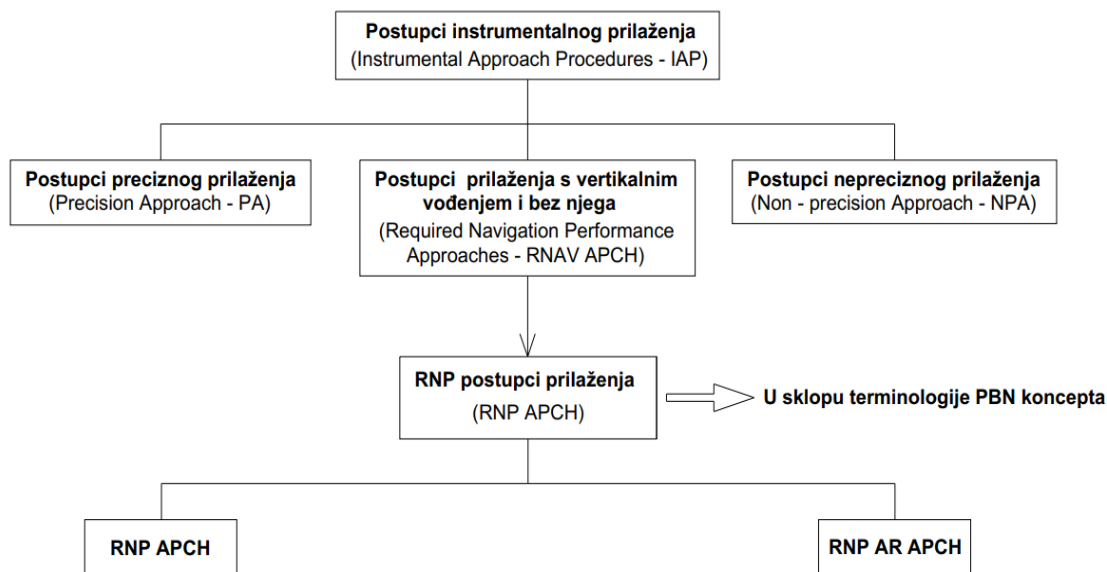
Naime, najveći broj nesreća zrakoplova događa se za vrijeme izvođenja nepreciznih prilaza, a u većini slučajeva uzrok nesreće je ljudski čimbenik, [1]. Zamjenom nepreciznih prilaza s RNP postupcima prilaženja smanjio bi se broj nesreća čiji uzrok nosi naziv: nesreće uzrokovane nadziranom letom u teren (engl. *Controlled Flight Into Terrain* ili *CFIT*), a koje su karakteristične za neprecizne prilaze. CFIT nesreće definiraju se kao nesreće u kojih se potpuno ispravan zrakoplov pod nadzorom posade, ali zbog njihove nepažnje i nehaja, zalijeću u zemlju, prepreku ili vodenu površinu, [1]. Ovakve nesreće se događaju nekoliko stotina metara ispred praga uzletno–sletne staze, [1].

Nadalje, osim analiza prednosti RNP postupaka u odnosu na neprecizne prilaze, mogu se i izdvojiti prednosti vezane u odnosu na precizne prilaze. Naime, zbog geografskog reljefa, pojedine uzletno–sletne staze nemaju uvjete za instalaciju sustava za precizno slijetanje, [2]. Također, čak i ako reljef aerodroma omogući instalaciju sustava za precizno slijetanje, kod pojedinih aerodroma konstruirani postupak može biti dosta ograničavajući u smislu iskorištavanja zračnog prostora u terminalnim zonama. Budući da se RNP postupci prilaženja temelje na upotrebi GNSS-a, kojima su propisana veća ograničenja za slijetanje, moguća je fleksibilnija konstrukcija potrebnog prilaznog postupka uz korištenje većeg kapaciteta zračnog prostora. Također, budući da konstrukcija prilaznih postupaka postaje neovisna u odnosu na radionavigacijska sredstva na zemlji, moguća je implementacija RNP postupaka prilaženja na bilo koji postojeći aerodrom, [2]. Ipak, potrebno je naglasiti, da su propisane minimalne visine snižavanja zrakoplova tijekom segmenta završnog prilaženja manje u odnosu na precizne prilaženja, [1].

4.2.2. KLASIFIKACIJA POSTUPAKA PRILAŽENJA S VERTIKALNIM VOĐENJEM I BEZ NJEGA

Kao što se moglo zaključiti iz prethodnog poglavlja, RNP postupci prilaženja omogućuju određene prednosti naspram nepreciznih i preciznih prilaza, a njihova osnovna klasifikacije može se podijeliti u dvije kategorije: RNP APCH i RNP AR APCH. Navedena podjela ujedno i označava dvije različite navigacijske specifikacije, koje su prikazane tablicom 1.

Osim razlika u zahtjevima točnosti tijekom svakog segmenta postupka instrumentalnog prilaženja, specifične razlike navedene dvije podijele objasniti će se u posebnim poglavljima koji slijede. Osnovna klasifikacija RNP postupaka prikazana je i kroz sliku 4.2.



Slika 4.2. Klasifikacija RNP postupaka prilaženja

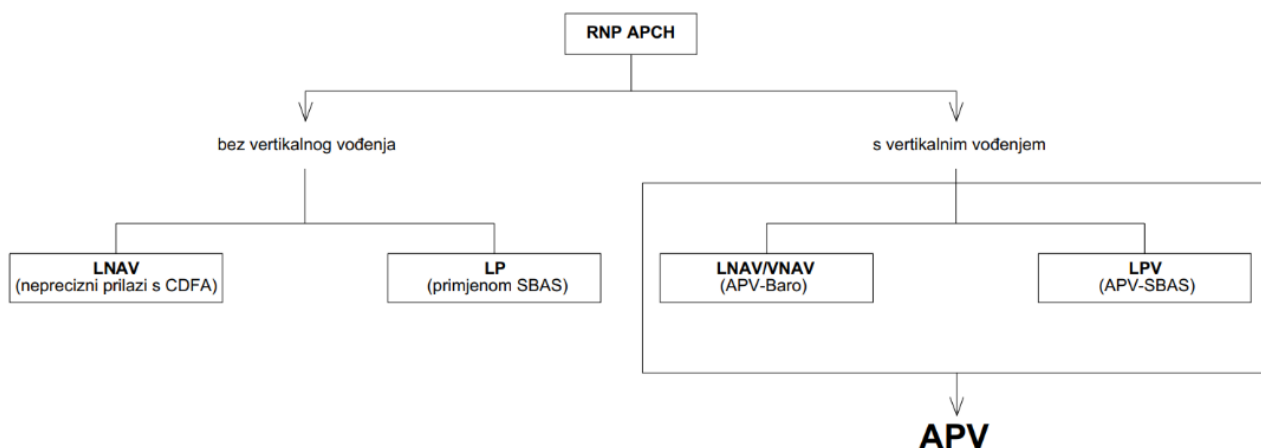
Izvor: [3]

Kao što je već objašnjeno, postupci prilaženja s vertikalnim vođenjem i bez njega (RNAV APCH) se unutar PBN koncepta nazivaju RNP postupci prilaženja s pripadajućom kraticom RNP APCH. Ista kratica se koristi i za jednu od dvije osnovne klasifikacije RNP postupaka prilaženja. Dakle RNP APCH u kontekstu postupaka instrumentalnog prilaženja označava postupak prilaženja s vertikalnim vođenjem i bez njega (unutar terminologije PBN koncepta), a u kontekstu klasifikacije RNP postupaka prilaženja jednu od dvije moguće podijeje – RNP APCH te RNP AR APCH (slika 4.2.). Osnovna razlike navedene dvije podijeje je što u nazivu RNP AR APCH, AR označava posebno odobrenje od nadležnih zrakoplovnih vlasti koje operateri i posada zrakoplova moraju posjedovati za izvođenje navedenog postupka prilaženja. Sukladno navedenom, postupak prilaženja RNP APCH ne zahtijeva posebna odobrenja zrakoplovnih vlasti.

4.3. Postupak prilaženja s vertikalnim vođenjem i bez njega koji ne zahtijevaju posebno odobrenje nadležnih zrakoplovnih vlasti

U kontekstu podjele RNP postupaka prilaženja RNP APCH se dalje klasificira u četiri potkategorije s ključnom razlikom u pružanju mogućnosti navigacije s vertikalnim vođenjem. Tako se razlikuju postupci prilaženja bez vertikalnog vođenja (omogućena isključivo bočna kontrola odstupanja) i postupci prilaženja s vertikalnim vođenjem (uz kontrolu bočnog odstupanja, poznat je podatak i o vertikalnom odstupanju).

Unutar postupaka prilaženja bez vertikalnog vođenja razlikuju se LNAV i LP postupci, dok se unutar postupaka prilaženja s vertikalnim vođenjem razlikuju LNAV/VNAV i LPV postupci koji se još u literaturi nazivaju APV postupci (slika 4.3.).



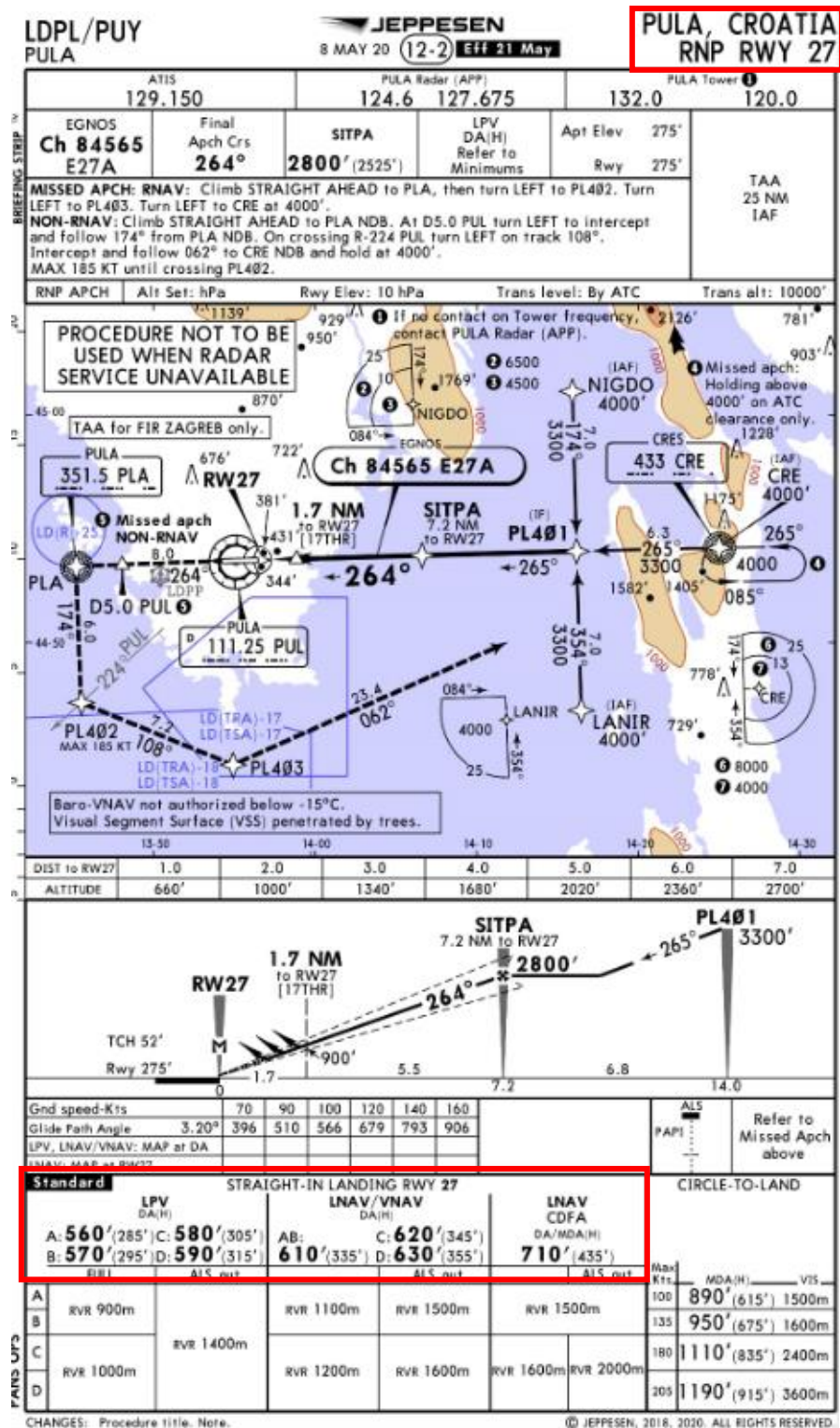
Slika 4.3. RNP APCH klasifikacija

Izvor: [3]

Potrebno je napomenuti da tijekom izvođenja prilaza prema pravilima RNP APCH, nema razlike u službenoj frazeologiji iako su moguće četiri vrste prilaza. Drugim riječima, kontrolori zračnog prometa ne znaju podatak o minimalnim visinama snižavanja zrakoplova tijekom najave prilaza prema pravilima RNP APCH. Naravno, ovaj podatak je poznat pilotima preko službenih karata, a odabrani postupak (samim time i minimalne visine snižavanja zrakoplova) ovise o opremi zrakoplova i aerodroma, [2]. Prikaz RNP APCH karte i pripadajućih minimalnih visina snižavanja, prikazan je preko slike 4.4. koja prikazuje navedeni konstruirani postupak za aerodrom smješten u Puli.

Analizom slike 4.4, zaključuje se da je riječ o RNP postupku prilaženja za uzletno-sletnu stazu 27 što je i prikazano u gornjem dijelu karte. Nadalje, donji dio karte sadrži propisane minimalne visine snižavanja. Konkretno, za navedenu uzletno-sletnu stazu u Puli, konstruirani su LPV, LNAV/VNAV te LNAV postupci prilaženja.

Dakle, za navedeni slučaj, pilotu su dostupni postupci prilaženja s vertikalnim vođenjem (LPV i LNAV/VNAV) i postupak prilaženja bez vertikalnog vođenja LNAV.



Slika 4.4. RNP postupak prilaženja definiran za USS 27 smještenu u Puli, [7]

Budući da se svi navedeni postupci klasificiraju kao RNP postupci prilaženja (zahtijevaju OPMA opremu), navigacijska specifikacija propisana tablicom 1 svima je ista. To znači da su i za postupke prilaženja bez vertikalnog vođenja (LNAV, LP) i s vertikalnim vođenjem (LNAV/VNAV, LPV) propisani zahtjevi ispunjavanja točnosti u iznosu od 1 NM unutar 95% vremena trajanja segmenta početnog prilaženja, međuprilaženja i neuspjelog prilaženja, odnosno 0.3 NM za vrijeme segmenta završnog prilaženja.

Ipak, ono po čemu se navedeni postupci razlikuju su zahtjevi performansi GNSS-a (tablica 3). Također, iz tablice 3 se zaključuje da su za RNP postupke prilaženja s vertikalnim vođenjem propisani stroži zahtjevi točnosti, cjelovitosti, vremena do upozorenja, kontinuiteta te raspoloživosti.

4.3.1. POSTUPCI PRILAŽENJA BEZ VERTIKALNOG VOĐENJA

Kao što je već ranije objašnjeno, navedeni postupci omogućuju kontrolu bočnog odstupanja od definirane putanje prilaženja isključivo u horizontalnoj ravnini. Razlikuju se LNAV (engl. *Lateral Navigation*) i LP (engl. *Localizer Performance*) postupci prilaženja, [1]. Osnovna razlika navedenih postupaka je u načinu pružanja navigacije u horizontalnoj ravnini. Naime, oba postupka zahtijevaju korištenje GNSS-a, no LP postupak zahtjeva i korištenje satelitskog sustava dopune (engl. *Space-Based Augmentation System* ili SBAS), [1]. Također, razlikuju se i načini pružanja zahtjeva cjelovitosti GNSS-a. Postupak LNAV zahtjev cjelovitosti postiže upotrebom računalnog algoritma zrakoplovnog sustava dopune (*Receiver Autonomous Integrity Monitoring* ili RAIM) dok je LP postupku zahtjev cjelovitosti omogućen preko satelitskog sustava nadopune SBAS. [2] Tijekom korištenja oba postupka, očekuje se primjena tehnike završnog prilaženja s neprekinutim snižavanjem (engl. *Continuous Descent Final Approach* ili CDFA). Navedeni postupak definiran je kao tehnika letenja prema postupku stabiliziranog nepreciznog instrumentalnog prilaženja bez horizontalnog segmenta između visine točke završnog prilaženja i točke koja se nalazi približno 50 ft iznad praga uzletno-sletne staze (ili točke u kojoj započinje postupak ravnjanja za određeni tip zrakoplova), [1]. Korištenjem CDFA tehnike smanjuje se razina buke na zemlji i štedi se gorivo koje bi se potrošilo tijekom leta na horizontalnom segmentu, [1].

4.3.2. POSTUPCI PRILAŽENJA S VERTIKALNIM VOĐENJEM

RNP postupci prilaženja s vertikalnim vođenjem u literaturi se još nazivaju i APV postupci prilaženja (engl. *Approach Procedures with Vertical guidance*), [1]. Dakle, APV postupci prilaženja uz kontrolu zrakoplova u horizontalnoj ravnini (LNAV) omogućuju i kontrolu u odnosu na vertikalnu ravninu (VNAV), no ipak ne ispunjavaju potrebne uvjete za klasifikaciju unutar preciznih prilaza. Ipak, bitno je naglasiti da iako APV postupci nisu klasificirani kao precizni prilazi, točka neuspjelog prilaženja (MAP) određena je apsolutnom visinom odluke (DA), što je pravilo kod preciznih prilaženja, [1]. Drugim riječima, snižavanjem zrakoplova do apsolutne visine odluke (DA) koja ujedno kolocira s točkom neuspjelog prilaženja (MAP) bez vidljivosti vanjskih orijentira, pilot je dužan započeti postupak neuspjelog prilaženja. Kao što je ranije navedeno, unutar APV postupaka prilaženja klasificiraju se LNAV/VNAV i LPV postupci prilaženja.

Preciznije izraženo, LNAV/VNAV i LPV postupci prilaženja u biti predstavljaju minimalne visine snižavanja na RNP APCH kartama, odnosno za izabrani postupak prilaza predstavljaju apsolutnu visinu odluke (DA). Stoga, službeni naziv APV postupaka prilaženja koji omogućavaju korištenje minimalnih visina snižavanja LNAV/VNAV se nazivaju APV Baro - VNAV, dok postupci koji omogućavaju korištenje minimalnih visina snižavanja LPV se nazivaju APV SBAS. Osnovna razlika između dva navedena postupka je u načinu dobivanja informacije o visini zrakoplova za vrijeme segmenta završnog prilaženja, [1].

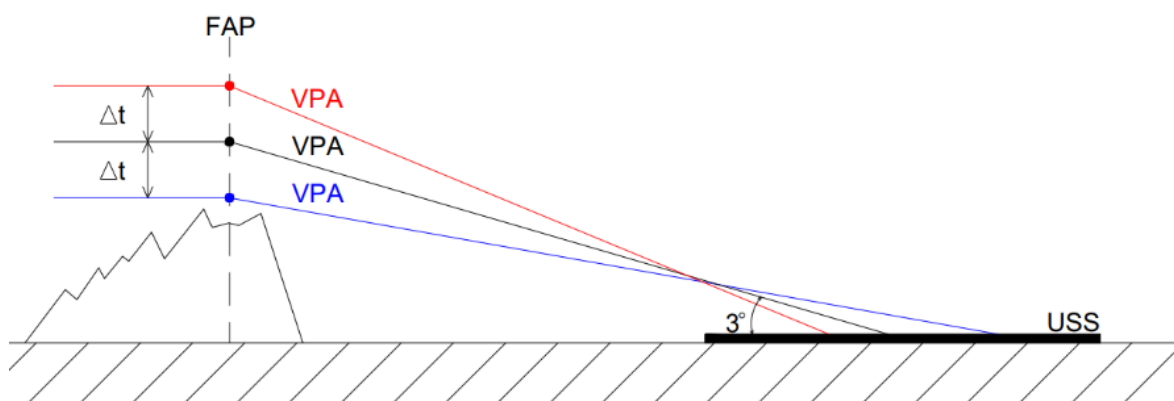
4.3.2.1. Postupak prilaženja s podatkom o visini zrakoplova dobivenim preko barometarskog visinomjera

Navedeni postupak prilaženja nosi naziv APV Baro - VNAV, a podatak o visini zrakoplova u odnosu na definirani profil vertikalnog prilaženja mjeri se standardnim barometarskim visinomjerom, [1]. Potrebno je napomenuti da barometarski visinomjer prikazuje visinu izmjerenu isključivo prema QNH tlaku vanjskog zraka koji se zatim kodira i šalje prema GNSS prijamniku ili elektroničkom sustavu za upravljanje leta. Osim podatka o visini dobivenog preko barometarskog visinomjera, geometrijska putanja vertikalnog prilaženja može se definirati prema razlici visina iznad dviju

određenih putnih točaka, ili kao kut prilaženja u odnosu na samo jednu, referentnu putnu točku (najčešće FAP), [1]. Budući da je podatak o visini omogućen preko barometarskog visinomjera, izrazito je bitan podatak o vanjskoj temperaturi zraka.

Naime, u slučaju da je vanjska temperatura viša od standardne, stvarni kut putanje prilaženja VPA (engl. *Vertical Path Angle*) se povećava, a prilaz postaje strmiji, [2]. Vrijedi i obrnuti slučaj, dakle u slučaju da je vanjska temperatura niža od standardne, VPA se smanjuje, [2]. Ovaj slučaj posebno je problematičan budući da manja vrijednost VPA znači i manju visinu leta tijekom prilaženja. Iz navedenog razloga, svaki aerodrom ima propisanu najnižu temperaturu ispod koje se APV Baro – VNAV postupak ne smije provoditi. Prilikom konstrukcije APV Baro - VNAV postupaka, vrijednost nominalnog VPA može iznositi između 3.5° i 2.5° .

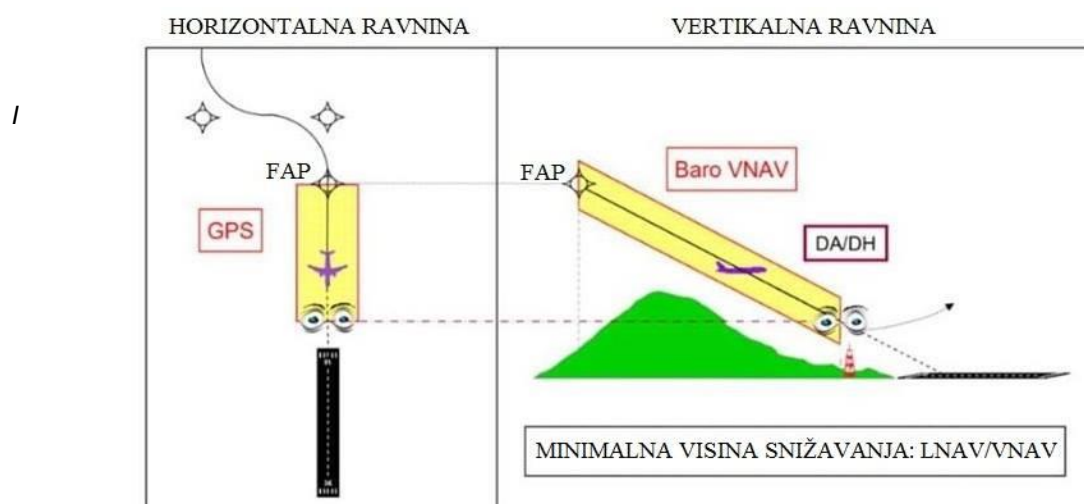
Problematika vezana uz vanjsku temperaturu zraka tijekom provođenja APV Baro – VNAV postupka prikazana je slikom 4.5. Prema slici 4.5, crnom linijom označen je nominalni VPA, crvenom linijom VPA tijekom povišene vanjske temperature zraka u odnosu na standardnu temperaturu i plavom linijom slučaj kada je vanjska temperatura zraka niža od standardne temperature.



Izvor: [8]

Slika 4.5. Prikaz različitih vrijednosti VPA s obzirom na utjecaj vanjske temperature

Nadalje, vođenje zrakoplova u horizontalnoj ravnini unutar APV Baro – VNAV postupka omogućeno je isključivo upotrebom GNSS-a, a zahtjev cjelovitosti održava se preko RAIM algoritma, [2]. Prikaz općenitog APV Baro – VNAV postupka u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini prikazan je slikom 4.6.



Slika 4.6. Prikaz generalnog APV Baro - VNAV postupka prilaženja, [8]

4.3.2.2. Postupak prilaženja s podatkom o visini zrakoplova dobivenim preko globalnih navigacijskih satelitskih sustava

Navedeni postupak prilaženja nosi naziv APV-SBAS, a podatak o visini dobiva se preko GNSS-a uz satelitski sustav dopune SBAS (*Wide Area Augmentation System* ili WAAS te *European Geostationary Navigation Overlay Service* ili EGNOS), [1]. Propisane minimalne visine snižavanja tijekom postupka završnog prilaženja na kartama su označene kao LPV (engl. *Localizer Performance with Vertical Guidance*). Budući da je podatak o visini poznat preko GNSS-a uz SBAS, kut putanje prilaženja definiran je u odnosu na referentni elipsoid WGS 84, [1]. Nadalje, navedeni postupak omogućuje točnost vođenja u horizontalnoj ravnini jednakoj točnosti vođenja prema odašiljaču usmjerivača pravca prilaženja ILS-a (LOC ili LLZ), [1]. Unutar koncepta RNP APCH, razvijeni satelitski sustavi dopune SBAS za pružanje mogućnosti APV-SBAS postupka prilaženja, konstruirani su s namjerom zadovoljavanja normi propisanih u tablici 3 pod nazivom APV – I. Također, propisana je i norma APV – II (također prema tablici 3) koja se za sada se ne koristi, a ICAO čak razmatra mogućnost potpunog uklanjanja iste, [2]. Zahtjev cjelovitosti navedenog postupka također omogućuje satelitski sustav dopune, [2].

Nadalje, specifičnost navedenog postupka je da se segment završnog prilaženja pohranjuje u blok informacija (engl. *Data Block*) poznat kao FAS DB unutar navigacijskog računala zrakoplova, [2]. FAS DB sadrži sve potrebne informacije za definiranje geometrije segmenta završnog prilaženja, a cjelovitost sustava se održava preko CRC algoritma (engl. *Cyclic Redundancy Check*). Navigacijsko računalo obrađuje FAS DB podatke te primjenjuje CRC algoritam. Ako se podaci iz FAS DB i CRC algoritma ne poklapaju, postupak prilaženja APV-SBAS se ne smije provesti. [2] Slika 4.7. prikazuje sadržaj podataka FAS DB, a slika 4.8. općeniti APV-SBAS postupak prilaženja.

Input data

Parameters	Values
Operation type	0
SBAS provider	1
Airport identifier	LFBA
Runway	29
Runway direction	0
Approach performance designator	0
Route indicator	
Reference path data selector	0
Reference path identifier	E29A
LTP/FTP latitude	441018.1420N
LTP/FTP longitude	0003603.1370E
LTP/FTP ellipsoidal height (metres)	108.8
FPAP Latitude	441039.7340N
Delta FPAP latitude (seconds)	21.5920
FPAP longitude	0003449.5365E
Delta FPAP longitude (seconds)	-73.6005
Threshold crossing height	15.00
TCH Units Selector	1
Glidepath angle (degrees)	3.30
Course width (metres)	105,00
Length offset (metres)	0
HAL (metres)	40.0
VAL (metres)	50.0

Output data

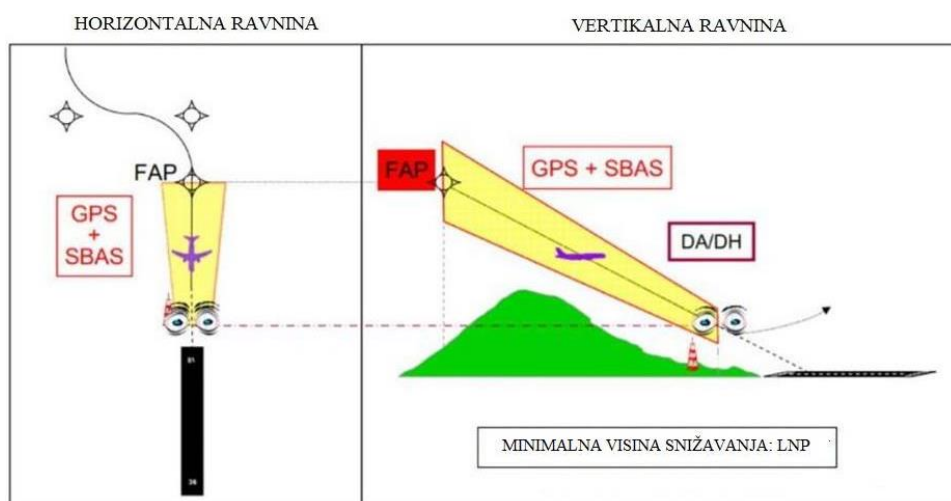
Data block	10 01 02 06 0C 1D 00 00 01 39 32 05 3C D9 F4 12 82 03 42 00 40 18 B0 A8 00 FF C0 FD 2C 81 4A 01 64 00 C8 FA 60 70 CB 84
Calculated CRC Value	6070CB84

Required additional data (not CRC wrapped)

These additional data are not required for CRC calculation, but they need to be provided to datahouses for procedure coding in ARINC 424 records.

Parameters	Values
ICAO code	LF
LTP/FTP orthometric height (metres)	61.0
FPAP orthometric height (metres)	61.0

Slika 4.7. Sadržaj podataka FAS DB, [2]



Slika 4.8. Prikaz generalnog APV - SBAS postupka prilaženja, [8]

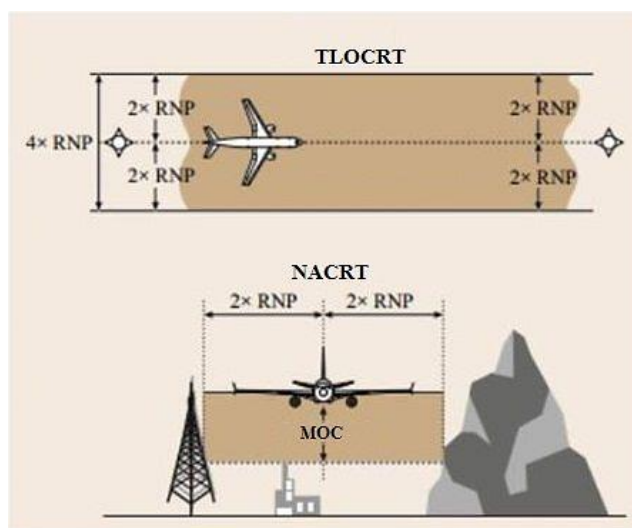
4.4. Postupak prilaženja s vertikalnim vođenjem i bez njega koji zahtijevaju posebno odobrenje nadležnih zrakoplovnih vlasti

U prethodnim poglavljima iznesena je podjela RNP postupaka prilaženja (RNP APCH) na RNP APCH (bez i s vertikalnim vođenjem) te RNP AR APCH. Kratica AR unutar RNP AR APCH označava engleski pojam *authorization required*. Navedeni pojam odnosi se na uvjet da posada i zrakoplov trebaju imati posebno odobrenje od nadležnih zrakoplovnih vlasti da bi se mogli koristiti navigacijskom specifikacijom koja definira prilaznu procedure, [1]. Drugim riječima, RNP AR APCH koristi performanse GNSS-a u kombinaciji s mogućnostima sustava FMS koji se nalaze na modernim zrakoplovima uz adekvatnu obuku posade.

Kao i sve navigacijske specifikacije, specifikacije potrebne za upotrebu RNP AR APCH postupaka prilaženja propisane su PBN priručnikom. Prema tome, može se zaključiti da su kriteriji zahtjeva točnosti (koji moraju biti zadovoljeni 95% vremena trajanja određene faze leta) postroženi u odnosu na RNP APCH postupke prilaženja te iznose 1-0.1 NM za segment početnog prilaženja, segment međuprilaženja te segment neuspjelog prilaženja. Nadalje, ista zahtijevana vrijednost za segment završnog prilaženja iznosi između 0.3-0.1 NM. Također, bitna razlika u odnosu na RNP APCH postupke prilaženja je u činjenici da je dozvoljeni navigacijski senzor isključivo GNSS te da se zahtjeva upotreba AP/FD za vrijeme provođenja navedenog postupka.

Prednost RNP AR APCH postupka u odnosu na sve RNP APCH postupke prilaženja je u tome što omogućuje konstruiranje zakrivljenih putanja leta zrakoplova s vođenjem po tragu (engl. *curved paths*) zbog čega se smanjuju potrebni minimum za nadvisivanje prepreka (engl. *Minimum Obstacle Clearance* ili *MOC*), [1]. Zakrivljene putanje leta zrakoplova s vođenjem po tragu prate značajke okolnog terena te su stoga idealna rješenja za konstrukciju instrumentalnih postupaka prilaženja na aerodromima koji zbog prirodnog reljefa (aerodromi okruženi planinama) nisu mogli imati takve postupke, [1]. Nadalje, tijekom korištenja RNP AR APCH postupka prilaženja, minimalna propisana visina snižavanja u uvjetima bez vanjske vidljivosti na kartama je

označena kao LNAV/VNAV. U biti RNP AR APCH postupak predstavlja napredniju verziju APV-Baro VNAV postupka, no s bitnom razlikom korištenja dvaju neovisnih barometarskih instrumenata za određivanje visine zrakoplova tijekom prilaza, [1]. Spomenuto je da su potrebni minimumi za nadvisivanje prepreka (MOC) manji od onih definiranih u RNP APCH postupcima prilaznja, a prikazani su slikom 4.9.



Slika 4.9. Minimumi za nadvisivanje prepreka (MOC) tijekom RNP AR APCH postupaka prilaznja, [2]

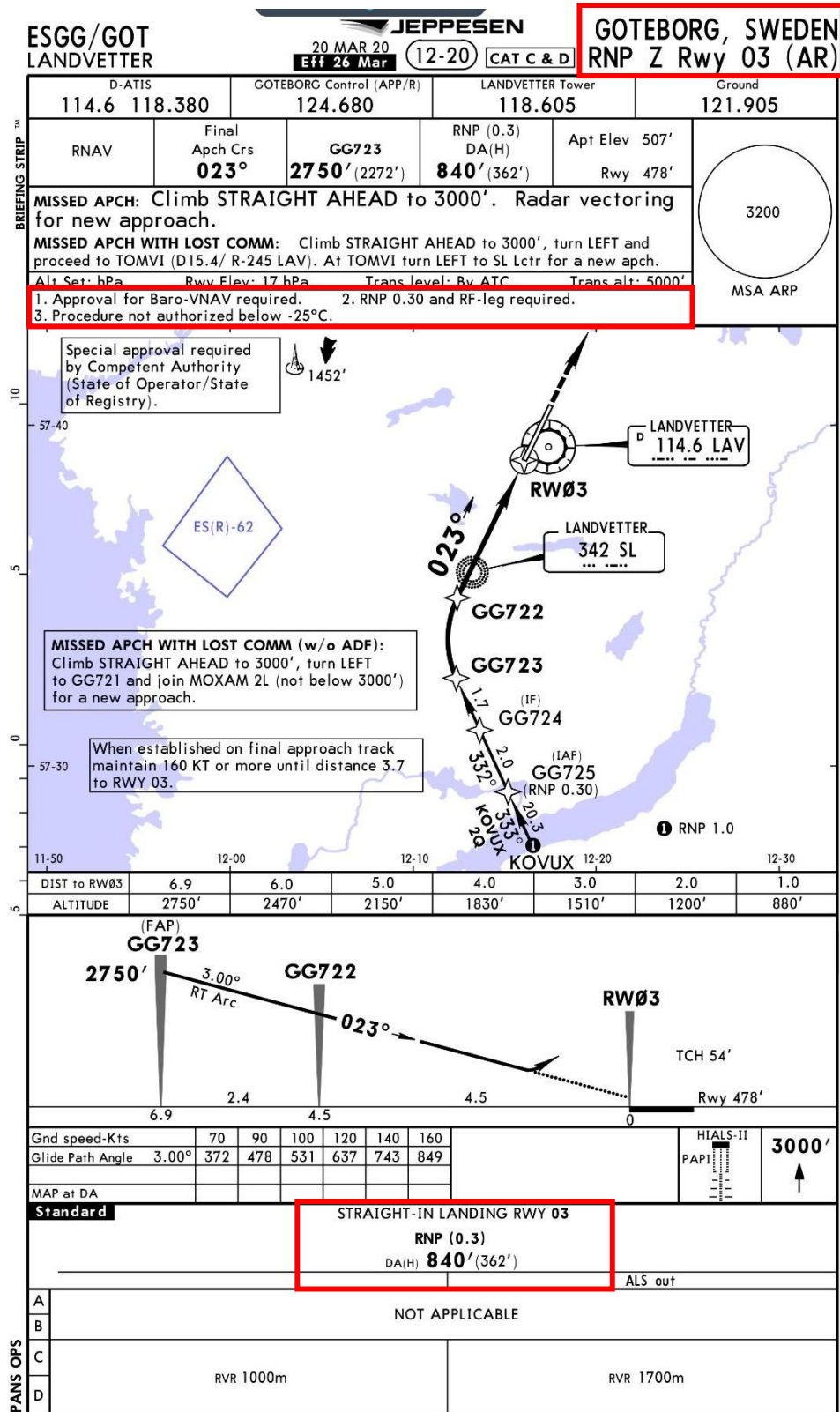
Analizom slike 4.9. zaključuje se da horizontalna i vertikalna ravnina omogućavaju sigurno vođenje zrakoplova i nadvisivanje prepreka u vrijednosti dvostruke RNP AR specifikacije. Prema tome, tijekom segmenta završnog prilaznja gdje RNP AR navigacijska specifikacija može iznositi 0.1 NM (tablica 1), prepreke se mogu nalaziti već na 0.2 Nm. Drugim riječima, RNP AR APCH postupak prilaznja može se implementirati na bilo koji aerodrom, bez obzira o njegovom prirodnom reljefu, zbog suženog koridora unutar kojeg se zrakoplov mora nalaziti tijekom provedbe navedenog postupka.

Konkretni primjer konstrukcije RNP AR APCH postupka prilaznja, prikazan je slikom 4.10. koja prikazuje konstruirani postupak za aerodrom Göteborg (Švedska). Naime, kao što se može primijetiti, u gornjem dijelu karte nalazi se informacija o vrsti instrumentalnog prilaza čiji je službeni naziv RNP Z Rwy 03 (AR). Nadalje, na karti su

označeni i posebni uvjeti koje oprema zrakoplova mora ispunjavati za provedbu ovoga prilaza, a oni uključuju:

- Zahtjev za odobrenjem korištenja opreme koja omogućuje prilaz upotrebom barometarskog visinomjera (Baro-VNAV)
- Opremu zrakoplova koja omogućuje ispunjenje zahtjeva RNP navigacijske specifikacije u iznosu od 0.30 NM kao i zahtjeve za let prema zakrivljenim putanjama (RF segment koji se u ovom slučaju nalazi između putnih točaka GG723 I GG722)
- Upozorenje da se postupak ne smije započeti ako je temperatura niža od -25°C (zbog činjenice da vanjska temperatura zraka utječe na nominalni VPA)

Također, podatak koji je potreban je i minimalna dozvoljena visina snižavanja, odnosno apsolutna visina odluke DA koja u navedenom primjeru iznosi 840 ft, a na karti je označena je kao LNAV/VNAV visina.



Slika 4.10. Prikaz RNP AR APCH (Goteborg, Švedska), [7]

5. METODOLOGIJA PRORAČUNA TOLERANCIJE PRELETIŠTA

Prethodna poglavlja obuhvatila su teorijsku analizu PBN koncepta te se zaključilo da su ciljevi PBN koncepta ostvarivi preko navigacijskih aplikacija kroz implementaciju propisanih navigacijskih specifikacija uz prateću navigacijsku infrastrukturu. Također, prema definiciji PBN koncepta, zaključilo se da PBN koncept predstavlja napredniju verziju prostorne navigacije (RNAV) čiji je razvoj utemeljen na primjeni navigacijskog računala i mogućnošću odvijanja leta prema imaginarnim putnim točkama odnosno preletištima. Naredna poglavlja obradit će tematiku preletišta u kojima će se predstaviti vrste te način određivanja preletišta. Također, kroz konkretne primjere prikazat će se i izračuni tijekom određivanja propisanih tolerancija, specifičnih za svako pojedino preletišće.

5.1. Definicija i način određivanja preletišta

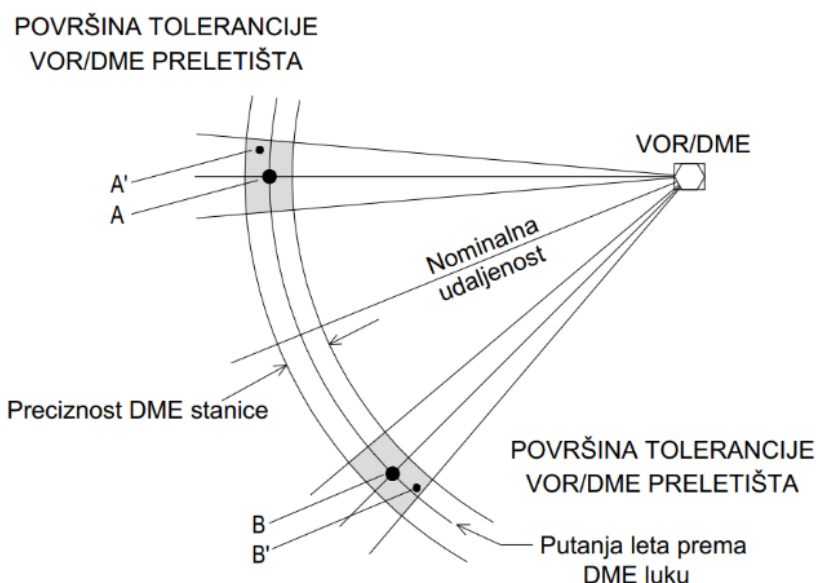
Preletišće (engl. *fix*) se definira kao određena točka pri konstrukciji zračnih puteva i instrumentalnih procedura u terminalnim zonama na kojoj se, između ostalog, provodi razdvajanje zrakoplova na ruti, vrši promjena nadležnosti nad kontrolom zrakoplova, definiraju prilazni ili rutni segmenti, pozicije obaveznog javljanja i sličnih postupaka u svrhu provođenja sigurnog zračnog prometa, [1]. Načini određivanja preletišta uključuju, [9]:

- presjecište dva radiosmjera (dva radijala VOR stanice ili dva QDM/QDR NDB stanice ili kombinacija VOR i NDB stanice)
- radionavigacijsko sredstvo (VOR stanica, NDB stanica)
- RNAV putne točke (točke određene geografskim koordinatama)
- ostala radionavigacijska sredstva (radar, DME, 75 MHz ILS marker)

Kao što se može primijetiti, među službenom podjelom unutar ostalih radionavigacijskih sredstava spada i DME uređaj koji pokazuje informaciju o kosoj udaljenosti (engl. *slant range*) između zrakoplova i DME stanice.

Naime, jedan od načina definiranja preletišta je i kombinacijom radionavigacijskog sredstva te DME uređaja (VOR/DME). Također, preletišta se može definirati i preko sjecišta dviju DME udaljenosti i vremena leta na zadanom radiosmjeru (DME/DME). Upravo navedena dva preletišta (VOR/DME, DME/DME) omogućila su pravu primjenu prostorne navigacije (RNAV), a kasnije i određenih navigacijskih specifikacija PBN koncepta.

Ovako definira preletišta fizički ne postoje. Drugim riječima, navedena preletišta predstavljaju imaginarne točke u prostoru koje navigacijska računala sadrže u svojoj bazi podataka te omogućuju navigaciju zrakoplova bez obzira na stvarni smještaj radionavigacijskih sredstava. Generalni prikaz VOR/DME preletišta vidljiv je kroz sliku 5.1.



Slika 5.1. Prikaz preletišta formirano VOR/DME stanicom

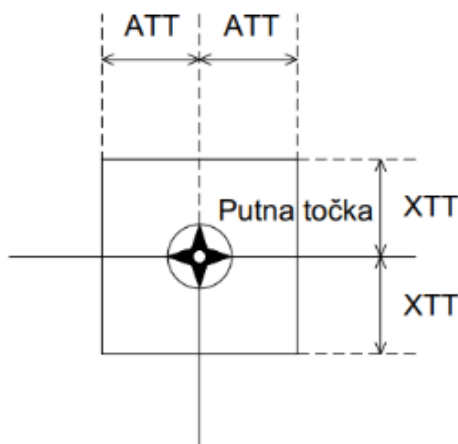
Izvor: [9]

Slika 5.1. prikazuje dva formirana preletišta A i B koja mogu predstavljati određeni instrumentalni postupak tijekom leta prema pravilima DME luka (engl. *DME*

arc). Uz formirana dva preletišta, sivom bojom označena je i površina tolerancije preletišta (engl. *fix tolerance area*). Naime, prilikom određivanja preletišta u obzir se uzimaju i greške tolerancije sustava koje tada čine površinu tolerancije preletišta.

Prema tome, površina tolerancije preletišta A i B (slika 5.1.) određena je greškom tolerancije udaljenosti DME uređaja te greškom tolerancije radijala VOR stanice. Drugim riječima, ako se zrakoplov nalazi u točki A' i B' tada se zrakoplov u stvarnosti ne nalazi točno iznad preletišta A i B, no prema navigacijskom računalu pilot će očitati poziciju zrakoplova upravo iznad definiranih preletišta. Iako postoji određena razlika u udaljenosti između točaka A i A' te B i B' nastale zbog nesavršenosti navigacijskih sustava, sigurnost leta nije narušena. Dapače, upravo zbog navedenog razloga se i formira površina tolerancije preletišta.

Preciznije izraženo, površina tolerancije preletišta određena je njenom uzdužnom vrijednosti (engl. *along track tolerance* ili *ATT*) i poprečnom vrijednosti (engl. *cross track tolerance* ili *XTT*) dopuštenog odstupanja (slika 5.2.).



Slika 5.2. Prikaz uzdužne (ATT) i poprečne (XTT) vrijednosti odstupanja

Izvor: [1]

Budući da se i unutar PBN koncepta kroz definirane navigacijske specifikacije primjenjuje upotreba VOR/DME te DME/DME senzora, sljedeća poglavlja iznijet će

problematiku i izračune površine tolerancije preletišta formirane preko VOR/DME stanice te preko presjecišta dviju udaljenosti DME stanica (DME/DME).

5.2. Površina tolerancije preletišta određene preko VOR/DME stanice

Postupak definiranja površine tolerancije preletišta korištenjem VOR/DME stanice odnosi se na navigacijsku specifikaciju RNAV 5 koja (uz GNSS) i propisuje upotrebu VOR/DME navigacijskih senzora, [3]. Nadalje, tijekom konstrukcije RNAV instrumentalnih postupaka optimalna geometrija nije poznata u svakom trenutku leta pa je tehnički potrebno osigurati pokrivanje signalom od barem jedne VOR/DME stanice u radijusu od 60 NM unutar područja u kojem se konstruira procedura, [1], [9].

5.2.1. DEFINIRANJE ZAHTJEVA TOČNOSTI VOR/DME STANICE

Čimbenici koji utječu na točnost tijekom navigacije prema VOR/DME stanici su:

- tolerancija VOR/DME stanice
- tolerancija prijema signala u zrakoplovstvu
- tolerancija za pogrešku upravljanja zrakoplovom (engl. *Flight Technical Tolerance* ili *FTT*)
- sistemska pogreška (engl. *system computation*)
- udaljenost od VOR/DME stanice

Tolerancije vrijednosti VOR stanice određuje se prema ukupnoj pogrešci signala koji ne definira radijal od VOR stanice, a iznosi $\pm 4.5^\circ$, [9]. Navedena vrijednost predstavlja srednju kvadratnu pogrešku pojedinih vrijednosti definiranih maksimalnom tolerancijom zemaljske stanice te tolerancijom prijema signala u zrakoplovstvu, [9]. Vrijednosti pojedinih tolerancija prikazane su i kroz tablicu 5.

Tablica 5. Prikaz vrijednosti tolerancija pogrešaka VOR stanice

TOLERANCIJE	VRIJEDNOST
Tolerancija VOR stanice	$\pm 3.6^\circ$
Tolerancija prijema signala u zrakoplovstvu	$\pm 2.7^\circ$
UKUPNO ($\sqrt{3.6^2 + 2.7^2}$)	$\pm 4.5^\circ$

Izvor: [9]

Nadalje, uz toleranciju vrijednosti VOR stanice, propisana je DME tolerancija točnosti sustava u zrakoplovu (DTT) prema izrazu:

$$2\sigma = 2\sqrt{(\sigma_{1,air}^2 + \sigma_{1,sis}^2)} \quad (5.1.)$$

Gdje je: $\sigma_{sis} = 0.05 \text{ NM}$, $\sigma_{air} = 0.085 \text{ NM} + 1.25\%$ udaljenosti od stanice

Tolerancija za pogrešku upravljanja zrakoplovom (FTT) propisane su preko vrijednosti tehničkih pogrešaka tijekom leta (engl. *Flight Technical Error* ili *FTE*) koje odgovaraju odstupanju između predviđene pozicije zrakoplova tijekom leta u odnosu na definiranu putanju. Navedene vrijednosti prikazane su kroz tablicu 6.

Tablica 6. Prikaz vrijednosti tehničkih pogrešaka FTT

FAZA LETA	FTE (95%)
Rute (za udaljenosti jednake ili veće od 30 NM)	RNAV 5 – 2.5 NM RNP 4 – 2 NM RNAV 2 – 1 NM RNAV 1 – 0.5 NM RNP 1 – 0.5 NM
Terminal (SID,STAR, segment početnog prilaženja i segment međuprilaženja kraći od 30NM)	RNAV 2 – 1 NM RNAV 1 – 0,5 NM RNP 1 – 0.5 NM RNP APCH – 0.5 NM
Segment završnog prilaženja	RNP APCH – 0.25 NM
Segment neuspjelog prilaženja	RNP APCH – 0.5 NM

Izvor: [9]

Vrijednost sistemskih pogrešaka (ST) predstavljaju konstantu vrijednost u iznosu od 0.25 NM.

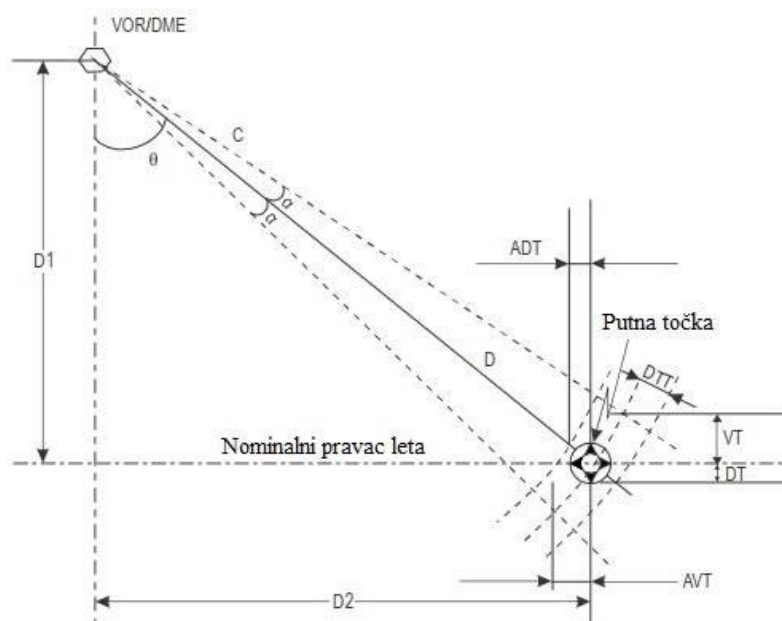
5.2.2. UZDUŽNA I POPREČNA VRIJEDNOST DOPUŠTENOG ODSTUPANJA PRI ODREĐIVANJU VOR/DME PRELETIŠTA

Kombinacijom tolerancija opisanih u prethodnom poglavlju moguće je odrediti uzdužnu vrijednost bočnog odstupanja pri određivanju preletišta (engl. *along track tolerance* ili *XTT*) te poprečnu vrijednost dopuštenog odstupanja pri određivanju preletišta (engl. *cross track tolerance* ili *XTT*). Prema tome:

$$XTT = \sqrt{VT^2 + DT^2 + FTT^2 + ST^2} \quad (5.2.)$$

$$ATT = \sqrt{AVT^2 + ADT^2 + ST^2} \quad (5.3.)$$

Proračun tolerancije preletišta definirane VOR/DME stanicom prikazan je i slikom 5.3.



Slika 5.3. Određivanje VOR/DME preletišta, [9]

Parametri koji definiraju jednačbe XTT i ATT, odnosno toleranciju preletišta VOR/DME stanice su:

- α = točnost VOR stanice izražene u stupnjevima
- DTT = točnost DME stanice
- θ = $\arctan(D_2/D_1)$, ako je $D_1 = 0$, tada je $\theta = 0^\circ$
- $VT = D_1 - D \cos(\theta + \alpha)$
- $DT = DTT \cos(\theta)$
- $AVT = D_2 - D \sin(\theta - \alpha)$
- $ADT = DTT \sin \theta$

Nadalje, prema definiranim parametrima koji definiraju vrijednosti XTT i ATT primjećuju se izrazi D , D_1 i D_2 koji su također prikazani slikom 5.3. Navedeni izrazi se definiraju kao:

- D_1 = udaljenost tangencijalne točke koja predstavlja dužinu okomite projekcije VOR/DME stanice na nominalni pravac leta
- D_2 = udaljenost između tangencijalne točke i putne točke
- D = ukupna udaljenost između VOR/DME stanice i putne točke (preletišta); $D^2 = D_1^2 + D_2^2$

Potrebno je napomenuti da su vrijednosti uzdužne (ATT) i poprečne (XTT) tolerancije preletišta promjenjive vrijednosti koje ovise o udaljenosti preletišta (putne točke) naspram referentne VOR/DME stanice (udaljenost D), a primjer nekih standardnih vrijednosti prikazan je kroz tablicu 7.

Tablica 7. Primjer unaprijed izračunatih vrijednosti XTT i ATT, [9]

<i>D1</i>	<i>D2</i>	<i>0</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>30</i>	<i>40</i>	<i>50</i>	<i>60</i>	<i>70</i>	<i>80</i>
<i>0</i>	XTT	2.5	2.6	2.9	3.3	3.8	4.3	4.9	5.5	6.1
	ATT	0.3	0.7	1.4	2.1	2.8	3.5	4.2	4.9	5.6
	$\frac{1}{2}$ A/W	5.8	4.9	4.8	4.9	5.6	6.4	9.3	9.2	9.5
<i>10</i>	XTT	2.5	2.6	3.0	3.5	4.0	4.7	5.4	6.1	6.8
	ATT	0.3	0.9	1.6	2.4	3.2	4.0	4.7	5.5	6.3
	$\frac{1}{2}$ A/W	5.8	6.0	6.5	7.2	8.1	9.0	10.0	11.1	12.2
<i>20</i>	XTT	2.5	2.7	3.0	3.5	4.1	4.7	5.4	6.1	6.8
	ATT	0.3	0.9	1.7	2.4	3.2	4.0	4.8	5.6	6.3
	$\frac{1}{2}$ A/W	5.8	6.0	6.5	7.2	8.1	9.1	10.1	11.1	12.2
<i>30</i>	XTT	2.5	2.7	3.0	3.5	4.1	4.7	5.4	6.1	6.8
	ATT	0.3	0.9	1.7	2.5	3.2	4.0	4.8	5.6	6.4
	$\frac{1}{2}$ A/W	5.8	6.0	6.5	7.3	8.1	9.1	10.1	11.2	12.3
<i>40</i>	XTT	2.5	2.7	3.0	3.5	4.1	4.8	5.4	6.2	6.9
	ATT	0.3	0.9	1.7	2.5	3.3	4.1	4.8	5.6	6.4
	$\frac{1}{2}$ A/W	5.8	6.0	6.5	7.3	8.2	9.1	10.2	11.2	12.3
<i>50</i>	XTT	2.5	2.7	3.0	3.6	4.1	4.8	5.5	6.2	6.9
	ATT	0.3	1.0	1.7	2.5	3.3	4.1	4.9	5.7	6.4
	$\frac{1}{2}$ A/W	5.8	6.0	6.6	7.3	8.2	9.2	10.2	11.3	12.4
<i>60</i>	XTT	2.5	2.7	3.1	3.6	4.2	4.8	5.5	6.2	6.9
	ATT	0.3	1.0	1.8	2.6	3.3	4.1	4.9	5.7	6.5
	$\frac{1}{2}$ A/W	5.8	6.0	6.6	7.4	8.3	9.2	10.3	11.3	12.4
<i>70</i>	XTT	2.5	2.7	3.1	3.6	4.2	4.8	5.5	6.2	7.0
	ATT	0.3	1.0	1.8	2.6	3.4	4.1	4.9	5.7	6.5
	$\frac{1}{2}$ A/W	5.8	6.1	6.6	7.4	8.3	9.3	10.3	11.4	12.4
<i>80</i>	XTT	2.5	2.7	3.1	3.6	4.2	4.9	5.6	6.3	7.0
	ATT	0.4	1.1	1.8	2.6	3.4	4.2	5.0	5.7	6.5
	$\frac{1}{2}$ A/W	5.8	6.1	6.7	7.4	8.3	9.3	10.3	11.4	12.5

5.3. Površina tolerancije preletišta određene preko DME/DME stanice

Postupak definiranja površine tolerancije preletišta korištenjem DME/DME stanice odnosi se na navigacijske aplikacije RNAV 1 te RNAV 2 namijenjene operacijama zrakoplova na području rutnih segmenata iznad kopna (*En-route*) i terminalnim područjima koje uključuju dolazne i dolazne postupke (SID, STAR) te segment početnog prilaženja, [3]. Također, postupak definiranja površine preletišta korištenjem DME/DME stanica primjenjuje se i tijekom RNAV 5 aplikacija koje se koriste isključivo tijekom operacija zrakoplova na području rutnih segmenata. Nadalje, standardna pretpostavka na kojoj se temelji konstrukcija DME/DME instrumentalnih postupaka je da su koordinate DME stanice izražene preko WGS-84 standarda, a visina je određena s obzirom na srednju razinu mora, [1]. Također, najveća dopuštena pogreška za određivanje pozicije zemaljskih stanica treba biti manja od 0.1 NM unutar 95% vremena trajanja leta, [1], [9].

5.3.1. DEFINIRANJE ZAHTJEVA TOČNOSTI DME/DME STANICE

Čimbenici koji utječu na točnost tijekom navigacije prema DME/DME stanici su:

- tolerancija DME/DME stanice
- tolerancija za pogrešku upravljanja zrakoplovom (engl. *Flight Technical Tolerance* ili *FTT*)
- sistemska pogreška (engl. *system computation*)

Propisana DME tolerancija točnosti sustava u zrakoplovu (DTT) određuje se prema izrazu:

$$2\sigma = 2 \frac{\sqrt{(\sigma_{1,air}^2 + \sigma_{1,sys}^2) + (\sigma_{2,air}^2 + \sigma_{2,sys}^2)}}{\sin\alpha} \quad (5.4.)$$

Gdje je: $\sigma_{sys} = 0.05 \text{ NM}$, $\sigma_{air} = 0.085 \text{ NM} + 1.25\%$ udaljenosti od stanice te

$$30 \leq \alpha \leq 150$$

Kao što je to slučaj s VOR/DME stanicom, vrijednosti tolerancije za pogrešku upravljanja zrakoplova (FTT) za DME/DME stanicu određuju se na isti način. Dakle, koriste se vrijednosti tehničkih pogrešaka tijekom leta FTT koje odgovaraju odstupanju između predviđene pozicije zrakoplova tijekom leta u odnosu na definiranu putanju. Prema tome, za određivanje vrijednosti FTT pogreške s obzirom na DME/DME stanicu, također se koriste podaci iz tablice 6.

Tolerancija sistemskih pogrešaka ST i unutar određivanja površine tolerancije preletišta prema DME/DME iznosi ± 0.25 NM te je ovisna o implementaciji sustava WGS-84, [1].

5.3.2. UZDUŽNA I POPREČNA VRIJEDNOST BOČNOG ODSUPANJA PRI ODREĐIVANJU DME/DME PRELETIŠTA

Površina tolerancije preletišta DME/DME također je omeđena maksimalnim vrijednostima uzdužnog dopuštenog odstupanja (ATT) te poprečnog dopuštenog odstupanja (XTT). Kombinacijom tolerancija opisanih u prethodnim poglavljima dobiva se vrijednost XTT i ATT i to prema izrazima:

$$XTT = \sqrt{DTT^2 + FTE^2 + ST^2} \quad (5.5.)$$

$$ATT = \sqrt{DTT^2 + ST^2} \quad (5.6.)$$

Drugim riječima, poprečna tolerancija XTT određena je standardnom devijacijom razdiobe vrijednosti točnosti sustava u zrakoplovu (DTT), tolerancijom za pogrešku upravljanja zrakoplovom (FTE) i tolerancijom sustava (ST). Uzdužna tolerancija ATT rezultat je standardne devijacije razdiobe vrijednosti točnosti sustava zrakoplova (DTT) i sistemske pogreške (ST).

Također, potrebno je napomenuti da se tijekom izračuna točnosti sustava zrakoplova (DTT), samim time uzdužne i poprečne vrijednosti tolerancija dopuštenog odstupanja (XTT, ATT), koristi vrijednost $\alpha=90^\circ$ kada su najmanje dva para DME

stanica dostupna za potrební instrumentalni postupak. U slučaju kada navedeni uvjet nije moguće ispuniti, za potrebne proračune koristi se vrijednost od $\alpha=30^\circ$.

Rezultati proračuna vrijednosti XTT i ATT posebno se određuju s obzirom na navigacijsku aplikaciju na kojoj se primjenjuju. Stoga, proračuni se izvode posebno za navigacijske aplikacije RNAV 1, RNAV 2 te RNAV 5, a navedene vrijednosti prikazane su prikladnim tablicama.

Tablica 8. Prikaz vrijednosti XTT, ATT jednog para DME stanica za RNAV 1, [9]

Apsolutna visina (ft)	Route/STAR/SID (>30 NM)			STAR/IF/LAF (<30 NM)			SID (<15 NM)			FAF		
	XTT	ATT	½ A/W	XTT	ATT	½ A/W	XTT	ATT	½ A/W	XTT	ATT	½ A/W
15 000	Za sve apsolutne visine			1.24	1.13	2.85	1.24	1.13	2.35			
14 000	1.24	1.13	3.85	1.20	1.10	2.81	1.20	1.10	2.31			
13 000				1.17	1.06	2.76	1.17	1.06	2.26			
12 000				1.14	1.02	2.71	1.14	1.02	2.21			
11 000				1.11	0.99	2.66	1.11	0.99	2.16			
10 000				1.07	0.95	2.61	1.07	0.95	2.11	0.98	0.95	1.97
9 000				1.04	0.91	2.55	1.04	0.91	2.05	0.94	0.91	1.91
8 000				1.00	0.86	2.50	1.00	0.86	2.00	0.90	0.86	1.85
7 000				0.96	0.82	2.44	0.96	0.82	1.94	0.86	0.82	1.79
6 000				0.92	0.77	2.38	0.92	0.77	1.88	0.81	0.77	1.72
5 000				0.88	0.72	2.32	0.88	0.72	1.82	0.76	0.72	1.65
4 000				0.83	0.67	2.25	0.83	0.67	1.75	0.71	0.67	1.57
1 000–3 000				0.79	0.61	2.18	0.79	0.61	1.68	0.66	0.61	1.49

Tablica 9. Prikaz vrijednosti XTT, ATT s više dostupnih parova DME stanica za RNAV 1, [9]

Apsolutna visina (ft)	Route/STAR/SID (>30 NM)			STAR/IF/LAF (<30 NM)			SID (<15 NM)			FAF		
	XTT	ATT	½ A/W	XTT	ATT	½ A/W	XTT	ATT	½ A/W	XTT	ATT	½ A/W
15 000	Za sve apsolutne visine			0.78	0.61	2.18	0.78	0.61	1.68			
14 000	0.78	0.61	3.18	0.77	0.59	2.16	0.77	0.59	1.66			
13 000				0.76	0.57	2.14	0.76	0.57	1.64			
12 000				0.75	0.56	2.12	0.75	0.56	1.62			
11 000				0.74	0.54	2.10	0.74	0.54	1.60			
10 000				0.72	0.52	2.08	0.72	0.52	1.58	0.58	0.52	1.37
9 000				0.71	0.50	2.06	0.71	0.50	1.56	0.56	0.50	1.34
8 000				0.70	0.48	2.04	0.70	0.48	1.54	0.54	0.48	1.32
7 000				0.68	0.46	2.02	0.68	0.46	1.52	0.53	0.46	1.29
6 000				0.67	0.44	2.00	0.67	0.44	1.50	0.51	0.44	1.26
5 000				0.65	0.42	1.98	0.65	0.42	1.48	0.49	0.42	1.23
4 000				0.64	0.40	1.96	0.64	0.40	1.46	0.47	0.40	1.20
1 000– 3 000				0.62	0.37	1.94	0.62	0.37	1.44	0.45	0.37	1.18

Tablica 10. Prikaz vrijednosti XTT, ATT jednog para DME stanica za RNAV 2, [9]

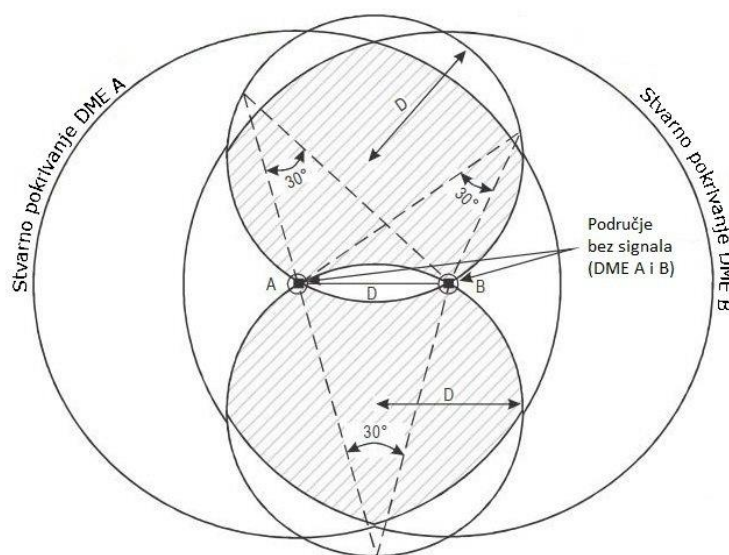
Apsolutna visina (ft)	Rute/STAR/SID (>30 NM)			STAR/IF/IAF (<30 NM)			SID (<15 NM)			FAF		
	XTT	ATT	½ A/W	XTT	ATT	½ A/W	XTT	ATT	½ A/W	XTT	ATT	½ A/W
15 000	Za sve apsolutne visine			1.51	1.13	3.26	1.51	1.13	2.76			
14 000	1.51	1.13	4.26	1.48	1.10	3.23	1.48	1.10	2.73			
13 000				1.46	1.06	3.19	1.46	1.06	2.69			
12 000				1.43	1.02	3.15	1.43	1.02	2.65			
11 000				1.41	0.99	3.11	1.41	0.99	2.61			
10 000				1.38	0.95	3.07	1.38	0.95	2.57	nema	nema	nema
9 000				1.35	0.91	3.03	1.35	0.91	2.53	nema	nema	nema
8 000				1.32	0.86	2.98	1.32	0.86	2.48	nema	nema	nema
7 000				1.29	0.82	2.94	1.29	0.82	2.44	nema	nema	nema
6 000				1.26	0.77	2.90	1.26	0.77	2.40	nema	nema	nema
5 000				1.23	0.72	2.85	1.23	0.72	2.35	nema	nema	nema
4 000				1.20	0.67	2.80	1.20	0.67	2.30	nema	nema	nema
1 000–3 000				1.17	0.61	2.76	1.17	0.61	2.26	nema	nema	nema

Tablica 11. Prikaz vrijednosti XTT, ATT jednog para DME stanica za RNAV 5, [9]

Rute STAR/SID (>30NM)		
XTT	ATT	½ A/W
Za sve apsolutne visine		
3.30	2.15	6.95

5.3.3. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE KORIŠTENJA DME/DME PRELETIŠTA

Tijekom obavljanje leta zrakoplova prema putanji definiranoj preletištima DME/DME stanica u obzir se mora razmotriti činjenica da se u svakom trenutku sve točke na definiranoj putanji moraju nalaziti unutar radijusa pokrivanja DME stanice, [1]. Teorijski, najveća udaljenost s koje je moguće ostvariti prijam signal od DME stanice iznosi 200 NM, [9]. Također, tijekom određivanja preletišta DME/DME stanica bitno je da se presjecišta udaljenosti koja tvore preletišta nalaze između vrijednosti od 30° i 150° . Pravilo presjeka 30° i 150° za određivanje preletišta pomoću DME/DME stanica prikazano je slikom 5.4.



Slika 5.4. Pravilo DME/DME presjeka $30^\circ/150^\circ$, [9]

Naime, područja osjenčana sivom bojom na slici 5.4. prikazuju područja pokrivanja DME signala u kojima je moguće odrediti poziciju preletišta. Dakle, osjenčano područje formirano je kutem presijecanja signala između 30° i 150° .

Slika 5.4. prikazuje i područje u kojem je signal DME stanice nedostupan. Ta područja čine radijus u iznosu 1 NM čije je središte DME stanica, kao i udaljenost

D između dvije DME stanice. Također, jedna od tehničkih karakteristika minimalne propisane udaljenosti dviju DME stanica iznosi 3 NM, [9]. Nadalje, određivanje preletišta preko DME/DME stanice može se postići s minimalno jednim parom DME stanica. U tom slučaju, tijekom pojave gubitka signala ne postoji redundancija te se takav par DME stanica naziva kritičnim stanicama i moraju biti označene na odgovarajućim kartama, [1].

5.4. Primjer proračuna površine tolerancije preletišta DME/DME stanice

Za konkretan primjer proračuna površine preletišta koristit će se podaci za proračunavanje uzdužnih i poprečnih vrijednosti dopuštenog odstupanja koje su stupile na snagu nakon 1. siječnja 1989. godine, [9]. Dakle, cilj navedenog poglavlja je prikazati konkretan proračun uzdužne vrijednosti bočnog odstupanja XTT i poprečne vrijednosti dopuštenog odstupanja ATT preko kojih se definira potrebna površina tolerancije preletišta DME/DME stanice.

Formule preko kojih će se definirati XTT i ATT glase:

$$XTT = \sqrt{d^2 + FTT^2 + ST^2} \quad (5.7.)$$

$$ATT = \sqrt{d^2 + ST^2} \quad (5.8.)$$

Gdje d predstavlja toleranciju točnosti sustava u zrakoplovu, FTT toleranciju za pogrešku upravljanja zrakoplovom, a ST sistemsku pogrešku.

Nadalje, tolerancija točnosti sustava u zrakoplovu d računa se prema izrazu, [9]:

$$d = 1.23 * \sqrt{h} * 0.0125 + 0.25 [NM] \quad (5.9.)$$

gdje je h visina izražena u stopama.

Kao što je već napomenuto, određivanje preletišta prema DME/DME može se postići najmanje jednim parom DME stanica (kritične stanice). U tom slučaju, u svrhu predostrožnosti, potrebno je vrijednost tolerancije točnosti sustava u zrakoplovu d uvećati za faktor 1.29, [9]

Vrijednost tolerancije za pogrešku upravljanja zrakoplovom FTT konstantna je vrijednost s obzirom na pojedinu fazu leta te iznosi, [9]: 2 NM (rutni segmenti), 1 NM (postupak početnog prilaženja i postupak međuprilaženja) i 0.5 NM (standardni instrumentalni odlasci, postupak završnog prilaženja, postupak neuspjelog prilaženja)

Vrijednost ST predstavlja konstantu u iznosu od 0.25 NM, [9].

XTT i ATT proračuni unaprijed su dostupni preko odgovarajućih tablica (tablice 13 i 14), a izводе se posebno za slučaj kada je dostupan jedan par DME stanica te kada je na raspolaganju dostupno više parova DME stanica.

Tablica 12. Prikaz vrijednosti XTT, ATT jednog para DME stanica za rutni segment, postupak početnog prilaženja, međuprilaženja, završnog prilaženja i neuspjelog prilaženja, [9]

Apsolutna visina (ft)	Rute			IAF/IF			FAF/MAPr/TP		
	XTT	ATT	1/2 A/W	XTT	ATT	1/2 A/W	XTT	ATT	1/2 A/W
15 000	Za sve visine			2.94	2.76	5.41			
14 000	4.08	3.56	8.10	2.86	2.68	5.29			
13 000				2.78	2.60	5.17			
12 000				2.70	2.51	5.05			
11 000				2.61	2.42	4.92			
10 000				2.53	2.32	4.79	2.37	2.32	4.06
9 000				2.43	2.22	4.65	2.27	2.22	3.91
8 000				2.34	2.11	4.50	2.17	2.11	3.75
7 000				2.23	2.00	4.35	2.06	2.00	3.59
6 000				2.13	1.88	4.19	1.94	1.88	3.41
5 000				2.01	1.74	4.01	1.81	1.74	3.22
4 000				1.88	1.60	3.83	1.67	1.60	3.01
3 000				1.75	1.43	3.62	1.52	1.43	2.77
2 000				1.59	1.24	3.38	1.33	1.24	2.50
1 000				1.40	0.98	3.10	1.10	0.98	2.15
500							0.95	0.81	1.92

Tablica 13. Prikaz vrijednosti XTT, ATT više od jednog para DME stanica za rutni segment, postupak početnog prilaženja, međuprilaženja, završnog prilaženja i neuspjelog prilaženja, [9]

<i>Apsolutna visina (ft)</i>	<i>Rute</i>			<i>IAF/IF</i>			<i>FAF/MAPt/TP</i>		
	<i>XTT</i>	<i>ATT</i>	<i>1/2 AW</i>	<i>XTT</i>	<i>ATT</i>	<i>1/2 AW</i>	<i>XTT</i>	<i>ATT</i>	<i>1/2 AW</i>
15 000	<i>Za sve visine</i>			2.37	2.15	4.55			
14 000	3.40	2.67	7.10	2.31	2.08	4.47			
13 000				2.25	2.02	4.38			
12 000				2.19	1.95	4.29			
11 000				2.13	1.88	4.19			
10 000				2.06	1.80	4.10	1.87	1.80	3.31
9 000				2.00	1.72	3.99	1.80	1.73	3.20
8 000				1.92	1.64	3.89	1.72	1.64	3.08
7 000				1.85	1.56	3.78	1.63	1.56	2.95
6 000				1.77	1.46	3.66	1.55	1.46	2.82
5 000				1.69	1.36	3.53	1.45	1.36	2.67
4 000				1.60	1.25	3.40	1.34	1.25	2.52
3 000				1.50	1.12	3.25	1.23	1.12	2.34
2 000				1.39	0.97	3.09	1.09	0.97	2.14
1 000				1.27	0.78	2.90	0.92	0.78	1.89
500							0.82	0.64	1.72

S obzirom na vrijednosti unutar tablica 13 i 14, u nastavku rada, proračunom preko odgovarajućih formula (5.7, 5.8, 5.9.) moraju se dobiti identične vrijednosti koje odgovaraju onima iz tablica 13 i 14. Dakle, preko navedenih tablica ujedno će se i obaviti kontrola točnosti proračuna. Prikazat će se ukupno četiri proračuna sa sljedećim definiranim parametrima:

- XTT i ATT segmenta početnog prilaženja i segmenta međuprilaženja za visinu 7000 ft
- XTT i ATT segmenta završnog prilaženja i segmenta neuspjelog prilaženja za visinu 2000 ft

Usporedno će se provesti proračuni koji uključuju podatak da je za izračun tolerancije preletišta dostupan upravo jedan par DME stanica (tablica 13) te podatak kada je za proračun dostupan veći broj DME stanica (tablica 14).

5.4.1. UZDUŽNE I POPREČNE VRIJEDNOSTI DOPUŠTENOG ODSTUPANJA SEGMENTA POČETNOG PRILAŽENJA I SEGMENTA MEĐUPRILAŽENJA ZA VISINU 7000 ft

Dakle, vrijednosti koje se moraju dobiti za navedeni slučaj uključuju toleranciju XTT u iznosu od 2.23 NM (1 par DME stanica) odnosno 1.85 NM (više parova DME stanica). Vrijednosti tolerancije ATT iznose 2.00 (jedan par DME stanica) odnosno 1.56 NM (više parova DME stanica).

- Proračun za jedan par DME stanica (XTT = 2.23 NM, ATT = 2.00 NM)

Vrijednost d računa se prema izrazu iz formule 5.9. i iznosi:

$$d = 1.23 * \sqrt{7000} * 0.0125 + 0.25 [NM] = 1.536 NM \quad (5.10.)$$

Prema pravilima izračunavanja proračuna vezanih za jedan par DME stanica, izraz d potrebno je uvećati za faktor 1.29 koji tada iznosi:

$$d = 1.536 * 1.29 = 1.981 NM \quad (5.11.)$$

Vrijednost FTT za navedeni slučaj iznosi 1 NM (segment početnog prilaženja i segment međuprilaženja).

Vrijednost ST iznosi 0.25 NM.

Kombiniranjem navedenih vrijednosti preko formula (5.7. – 5.8.) može se izraziti ukupna tolerancije vrijednosti XTT i ATT:

$$XTT = \sqrt{1.981^2 + 1^2 + 0.25^2} = 2.23 \quad (5.12.)$$

$$ATT = \sqrt{1.981^2 + 0.25^2} = 1.998 \approx 2.00 \quad (5.13.)$$

- Proračun za dostupnost više parova DME stanica (XTT = 1.85 NM, ATT = 1.56 NM)

$$d = 1.23 * \sqrt{7000} * 0.0125 + 0.25 [NM] = 1.536 NM \quad (5.14.)$$

FTT = 1 NM (segment početnog prilaženja i segment međuprilaženja)

ST = 0.25 NM

$$XTT = \sqrt{1.536^2 + 1^2 + 0.25^2} = 1.849 \approx 1.85 \quad (5.15.)$$

$$ATT = \sqrt{1.536^2 + 0.25^2} = 1.998 \approx 2.00 \quad (5.16.)$$

5.4.2. UZDUŽNE I POPREČNE VRIJEDNOSTI DOPUŠTENOG ODSUPANJA SEGMENTA ZAVRŠNOG PRILAŽENJA I SEGMENTA NEUSPJELOG PRILAŽENJA ZA VISINU 2000 ft

Vrijednosti koje se moraju dobiti za navedeni slučaj uključuju toleranciju XTT u iznosu od 1.33 NM (jedan par DME stanica) odnosno 1.09 NM (više parova DME stanica). Vrijednosti tolerancije ATT iznose 1.24 (jedan par DME stanica) odnosno 0.97 NM (više parova DME stanica).

- Proračun za jedan par DME stanica (XTT = 1.33 NM, ATT = 1.24 NM)

Kao i u prethodnom slučaju, vrijednost d računa se prema izrazu iz formule 5.9, a isti je potrebno uvećati za faktor 1.29 (jedan par DME stanica), stoga:

$$d = 1.23 * \sqrt{2000} * 0.0125 + 0.25 [NM] = 0.938 NM; \quad (5.17.)$$

$$d = 0.938 * 1.29 = 1.209 NM \quad (5.18.)$$

Vrijednost FTT za navedeni slučaj iznosi 0.5 NM (segment završnog prilaženja i segment neuspjelog prilaženja).

Vrijednost ST iznosi 0.25 NM.

Kombiniranjem navedenih vrijednosti preko formule (5.7. -5.8.) može se izraziti ukupna tolerancije vrijednosti XTT i ATT:

$$XTT = \sqrt{1.209^2 + 0.5^2 + 0.25^2} = 1.33 \quad (5.19.)$$

$$ATT = \sqrt{1.209^2 + 0.25^2} = 1.235 \approx 1.24 \quad (5.20.)$$

- Proračun za dostupnost više parova DME stanica (XTT = 1.09 NM, ATT = 0.97 NM)

$$d = 1.23 * \sqrt{2000} * 0.0125 + 0.25 [NM] = 0.938 NM \quad (5.21.)$$

FTT = 0.5 NM (segment završnog prilaženja i segment neuspjelog prilaženja)

ST = 0.25 NM

$$XTT = \sqrt{0.938^2 + 0.5^2 + 0.25^2} = 1.09 \quad (5.22.)$$

$$ATT = \sqrt{0.938^2 + 0.25^2} = 0.97 \quad (5.23.)$$

Kao što se može zaključiti, korištenjem proračuna uistinu su se dobili i podaci iz tablica 13 i 14. Nadalje, zbog mjera predostrožnosti kritičnih DME stanica, vrijednosti površine tolerancije XTT i ATT zauzimaju veći prostor u odnosu na slučaj kada je za navigaciju prema DME/DME preletištim dostupno više parova DME stanica. Navedena činjenica odgovara očekivanjima budući da se proračun vrijednosti točnosti sustava u zrakoplovu d uvećava za faktor 1.29.

5.5. Preletišta unutar koncepta prostorne navigacije

Prošlo poglavlje predstavilo je metodiku izračuna površine tolerancije preletišta s obzirom na preletišta definirano VOR/DME stanicom te DME/DME stanicom. Zaključilo se da letom zrakoplova prema putanji formiranoj preko ovakvih preletišta (imaginarnim točkama) se omogućila prava primjena prostorne navigacije RNAV. Također, već je rečeno da je navigacija zrakoplova preko preletišta omogućena razvojem navigacijskog računala zrakoplova. Svako definirano preletišta u prostoru sadržava svoje geografske koordinate.

Navigacijsko računalo, preko svoje navigacijske baze podataka, omogućuje let prema definiranim preletišta, koja mogu definirati određeni zračni put ili određeni instrumentalni postupak prilaženja. Pritom, unutar koncepta prostorne navigacije, a time i PBN koncepta, postoji podjela preletišta s obzirom na način njihova preleta. Podjela i pravila preletišta unutar koncepta prostorne navigacije RNAV obradit će se u sljedećim poglavljima.

5.5.1. VRSTE PRELETIŠTA (PUTNIH TOČAKA)

Unutar koncepta prostorne navigacije preletišta se mogu definirati i kao putne točke (engl. *waypoint*). Službena definicija putne točke glasi: *određena geografska pozicija koja definira RNAV rutu ili putanju leta zrakoplova koji se koristi metodom prostorne navigacije*, [1], [9]. Pritom se razlikuju dvije vrste putnih točaka, [1], [9]:

- Točka obveznog preleta (engl. Fly-Over Waypoint) označava mjesto početka uvođenja zrakoplova u zaokret radi zauzimanja elemenata sljedeće etape navigacijske rute ili instrumentalnog letnog postupka, [1]. Navedena putna točka definira se za segmente početnog prilaženja i segment neuspjelog prilaženja.
- Točka neobveznog preleta (engl. Fly-By Waypoint) zahtjeva unaprijed definirane elemente prije početka zaokreta koji određuju putanju leta da se omogući izlazak zrakoplova na sljedeću etapu navigacijske rute ili instrumentalnog letnog postupka, [1]. Pritom, FMGS prema različitim navigacijskim parametrima (brzina, visina, temperatura, itd.) definira trenutak i vrijeme početka uvođenja u zaokret, kao i vrijednost poprečnog nagiba, [1].

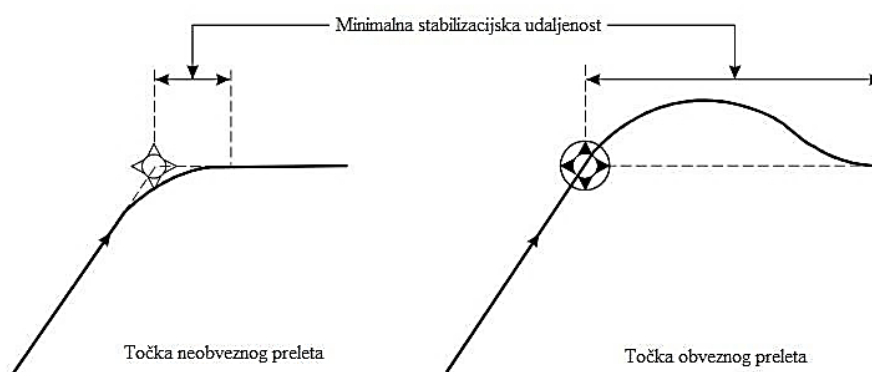
Prilikom konstrukcije navedenih putnih točaka, konstruktori moraju obratiti pažnju na minimalnu udaljenost određenog segmenta između dvije putne točke koja ovisi o minimalnoj stabilizacijskoj udaljenosti (povratak zrakoplova nakon obavljenog preleta na definiranu putanju). S obzirom na postojeće dvije putne točke, razlikuju se četiri moguća segmenta između kojih je potrebno ustanoviti minimalnu stabilizacijsku udaljenost, [9]:

- Dvije točke neobveznog preleta
- Točka neobveznog preleta nakon koje slijedi točka obveznog preleta
- Dvije točke obveznog preleta
- Točka obveznog preleta nakon koje slijedi točka neobveznog preleta

Također, osim navedenih segmenata kod kojih je potrebno definirati stabilizacijske udaljenosti (minimalnu udaljenost određenog segmenta između dvije točke), tijekom konstrukcije preletišta, potrebno je i razmotriti pojam prve putne točke *DER*.

5.5.2. ODREĐIVANJE MINIMALNE UDALJENOSTI ODREĐENOG SEGMENTA IZMEĐU DVIJE TOČKE

Kao što je već rečeno, za svaki određeni segment definiran dvama putnim točkama, potrebno je odrediti minimalnu udaljenost između te dvije putne točke. Minimalna udaljenost između dvije točke predstavlja trenutak u kojem se zrakoplov nakon preleta prve točke vraća odnosno stabilizira na potrebnoj putanji leta prema novoj putnoj točki. Drugim riječima, minimalna udaljenost određenog segmenta između dvije točke definirana je preko kriterija minimalne stabilizacijske udaljenosti što je i prikazano slikom 5.5.



Slika 5.5. Minimalna stabilizacijska udaljenost, [9]

Nadalje, podatak o minimalnoj stabilizacijskoj udaljenosti već je određen preko odgovarajućih tablica. Stoga, u svrhu konstrukcije putnih točaka potrebne udaljenosti, mogu se jednostavno očitati iz tablica. Način očitavanja potrebnih udaljenosti prikazat će se u narednom poglavlju. Također, prikazat će se i proračuni preko kojih su i nastale tablice iz kojih se može odrediti potrebna udaljenost.

5.5.2.1. Tablice minimalnih stabilizacijskih udaljenosti

Minimalne stabilizacijske udaljenosti već su unaprijed određene preko odgovarajućih tablica koje odgovaraju specifikacijama i kriterijima ICAO-a (*PANS OPS Doc. 8168*). Tablice su organizirane preko sljedeća tri parametra, [9]:

- standardnog Međunarodnog sustava mjernih jedinica (SI jedinice) ili mjernih jedinica koje nisu dio SI sustava
- vrstu putne točke (točka obveznog preleta i točka neobveznog preleta)
- vrijednostima kuta nagiba (15°, 20° i 25°).

Prikaz tablice organizacije minimalne stabilizacijske udaljenosti prikazan je kroz tablicu 12.

Tablica 14. Vrijednosti minimalnih stabilizacijskih udaljenosti, [9]

<i>Mjerne jedinice</i>	<i>Vrsta putne točke</i>	<i>Kut nagiba</i>	<i>Broj tablice</i>
Avion			
(SI)	Točka neobveznog preleta	15°	III-2-1-1
		20°	III-2-1-2
		25°	III-2-1-3
	Točka obveznog preleta	15°	III-2-1-4
		20°	III-2-1-5
		25°	III-2-1-6
Nestandardne mj. jedinice	Točka neobveznog preleta	15°	III-2-1-7
		20°	III-2-1-8
		25°	III-2-1-9
	Točka obveznog preleta	15°	III-2-1-10
		20°	III-2-1-11
		25°	III-2-1-12
Helikopter			
(SI)	Točka neobveznog preleta	15°	III-2-1-13
		20°	III-2-1-14
	Točka obveznog preleta	15°	III-2-1-15
		20°	III-2-1-16
Nestandardne mj. jedinice	Točka neobveznog preleta	15°	III-2-1-17
		20°	III-2-1-18
	Točka obveznog preleta	15°	III-2-1-19
		20°	III-2-1-20

Za potrebe ovog rada, pretpostavit će se da konstruktori trebaju odrediti minimalnu stabilizacijsku udaljenost točke neobveznog preleta za koju je planiran kut nagiba u iznosu od 25°. Uvidom konstruktora u službeni ICAO dokument 8168 (PANS-OPS), pronalaze da su propisane minimalne stabilizacijske udaljenosti prikazane tablicom III-2-1-3 (standardne mjerne jedinice) te III-2-1-9 (ne standardne mjerne jedinice). Uz pretpostavku da konstruktor treba izraziti potrebnu udaljenost koristeći stope, tada koristi tablicu III-2-1-9, čiji su podaci u ovom radu prikazani tablicom 13.

Tablica 15. Minimalna stabilizacijska udaljenost za kut nagiba 25°, [9]

Promjena kursa (Stupnjevi)	Stvarna brzina leta (čvorovi)															
	< ili = 130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	240	260	280	300	340	
50	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	1.0	1.2	1.3	1.5	1.7	2.2	
55	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.4	
60	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.6	
65	0.5	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.7	1.9	2.2	2.8	
70	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.8	2.1	2.4	3.0	
75	0.6	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.7	2.0	2.3	2.6	3.2	
80	0.7	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.8	2.1	2.4	2.8	3.5	
85	0.7	0.9	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	2.0	2.3	2.6	3.0	3.8	
90	0.7	0.9	1.0	1.1	1.1	1.3	1.4	1.5	1.7	1.8	2.1	2.5	2.8	3.2	4.1	
95	0.8	1.0	1.1	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.8	2.0	2.3	2.7	3.1	3.5	4.4	
100	0.8	1.1	1.2	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	1.9	2.1	2.5	2.9	3.3	3.8	4.8	
105	0.9	1.2	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	1.9	2.1	2.3	2.7	3.1	3.6	4.1	5.2	
110	1.0	1.3	1.3	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.9	3.4	3.9	4.4	5.6	
115	1.1	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	2.0	2.2	2.5	2.7	3.2	3.7	4.2	4.8	6.1	
120	1.2	1.5	1.6	1.7	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	2.9	3.5	4.0	4.6	5.3	6.7	

* 25° ili 3°/s

** Koristi vrijednosti u iznosu od 50° za promijene kursa niže od 50°

Kao što se može primijetiti, za konačni odabir potrebne minimalne stabilizacijske udaljenosti, potrebno je poznavati podatke o promijeni kursa (putanje leta) zrakoplova te podatak o stvarnoj brzini leta zrakoplova (engl. *True Airspeed* ili *TAS*).

Za određivanje stvarne brzine leta koriste se propisane brzine za instrumentalni postupak prilaženja (IAP) te propisane brzine za standardni instrumentalni odlazak (SID). Dakle, potrebno je poznavati podatak o vrsti putne točke, tj. njenu namjenu za određeni instrumentalni postupak.

Ako se koriste brzine za instrumentalni postupak prilaženja, tada se koriste vrijednosti propisane tablicom 14.

Tablica 16. Kategorije zrakoplova prema parametru V_{at} u segmentima instrumentalnih letnih postupaka

KATEGORIJA ZRAKOPLOVA	V_{at}	POČETNO PRILAŽENJE	ZAVRŠNO PRILAŽENJE	PRILAŽENJE KRUŽENJEM (NAJVEĆA BRZINA)	SEGMENT NEUSPJELOG PRILAŽENJA	
					MEĐUFAZA	ZAVRŠNA
A	<91	90 – 150	70 – 100	100	100	110
B	91 – 120	120 – 180	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

Izvor: [1], [9]

Prema tablici 14, kategorije zrakoplova određene su parametrom V_{at} koji predstavlja brzinu gubitka uzgona zrakoplova u konfiguraciji za slijetanje (izvučeno podvozje i zakrilca) pri maksimalnoj masi za slijetanje, uvećana za 30%. [1] Također, potrebno je napomenuti da su vrijednosti prikazane u tablici 14 izražene u čvorovima i predstavljaju indiciranu brzinu (engl. *Indicated Airspeed* ili *IAS*) koju je potrebno pretvoriti u stvarnu (TAS) kako bi se mogao odrediti podatak potrebne minimalne stabilizacijske udaljenosti.

Nadalje, ako se koriste brzine za standardni instrumentalni odlazak, tada se koriste vrijednosti brzina propisanih za završnu fazu segmenta neuspjelog prilaženja uvećanu za 10% zbog veće težine zrakoplova tijekom polijetanja, također prema tablici 14. Određene operacije zrakoplova zahtijevaju trenutno izbjegavanje prepreka nakon polijetanja te je tada dopušteno koristiti vrijednosti brzina međufaze segmenta neuspjelog prilaženja uvećane za faktor 1.1. Također, sve brzine izražene su u čvorovima i odnose se na indicirane brzine (IAS) koje je potrebno pretvoriti u stvarne brzine leta (TAS). U slučaju da u planiranom instrumentalnom postupku postoje određena ograničenja brzine, tada se moraju primijeniti vrijednosti brzina propisane tablicom 15.

Tablica 17. Vrijednosti brzina koje se koriste za izračun minimalnih stabilizacijskih udaljenosti kada postoje ograničenja brzine

Udaljenost od USS	1.9 (1)	3.7 (2)	5.6 (3)	7.4 (4)	9.3 (5)	11.1 (6)	13 (7)	14.8 (8)	16.7 (9)	18.5 (10)	20.4 (11)	22.2 (12)
Visina iznad USS	130 (425)	259 (850)	389 (1275)	518 (1700)	648 (2125)	777 (2550)	907 (2976)	1037 (3401)	1167 (3827)	1296 (4252)	1476 (4677)	1556 (5103)
Kut nagiba	15	15	20	20	20	20	25	25	25	25	25	25
Brzina	356 (192)	370 (200)	387 (209)	404 (218)	424 (229)	441 (238)	452 (244)	459 (248)	467 (252)	472 (255)	478 (258)	483 (261)

Udalj. od USS	24.1 (13)	25.9 (14)	27.8 (15)	29.6 (16)	31.5 (17)	33.3 (18)	35.2 (19)	37 (20)	38.9 (21)	40.7 (22)	42.6 (23)	44.4 (24)	46.3 (25)
Visina iznad USS	1685 (5953)	1945 (6804)	1296 (4677)	1296 (4252)	2204 (7229)	2334 (7655)	2463 (8080)	2593 (8505)	2723 (8931)	2892 (8931)	2892 (9781)	3112 (10207)	3241 (10632)
Kut nagiba	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Brzina	487 (263)	491 (265)	491 (266)	494 (267)	498 (269)	502 (271)	504 (272)	511 (276)	519 (278)	519 (280)	524 (283)	526 (284)	520 (286)

Izvor: [9]

Parametar brzine tijekom određivanja minimalnih stabilizacijskih udaljenosti utječe i na kut nagiba.

Za postupak instrumentalnog prilaženja, kut nagiba iznosi 25° (3°/s), osim tijekom segmenta neuspjelog prilaženja kada iznosi 15°. Za postupak standardnog instrumentalnog odlaska (SID) koji je određen vrijednostima prema tablici 14, kut nagiba iznosi 15°, a ako se primjenjuju vrijednosti iz tablice 15 tada vrijednosti kuta nagiba mogu iznositi 15°, 20° i 25° s obzirom na uzdužnu udaljenost putanje od završetka uzletno-sletne staze.

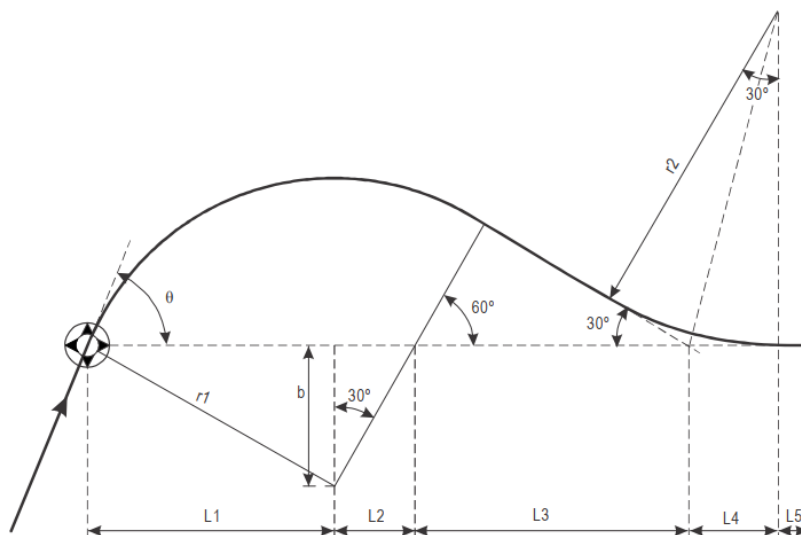
5.5.2.2. Proračuni minimalnih stabilizacijskih udaljenosti

Prikazat će se potrebni proračuni za izračun minimalnih stabilizacijskih udaljenosti točke obveznog preleta, kao i točke neobveznog preleta čiji se rezultati nalaze u prethodno opisanim tablicama.

Za potrebe prikaza proračuna minimalne stabilizacijske udaljenosti točke obveznog preleta, raščlanit će se komponente zaokreta koji se provodi na navedenoj točki i to na:

- početni zaokret na točki obveznog preleta nakon kojeg slijedi
- kurs interceptiranja sljedećeg kraka u iznosu od 30°
- završni zaokreta u smjeru novog kursa i
- vrijeme stabilizacije kuta zrakoplova u iznosu od 10 sekundi

Nadalje, za prikaz proračuna koristit će se slika 5.6, a udaljenost cijelog segmenta tijekom postupka preleta preko točke obveznog preletišta podijelit će se kroz pet dijelova ($L1$, $L2$, $L3$, $L4$ i $L5$) prema izrazima iz formula (5.24. – 5.28.).



Slika 5.6. Prikaz komponenti zaokreta točke obveznog preleta, [9]

$$L1 = r1 * \sin \alpha \quad (5.24.)$$

$$L2 = r1 * \cos \alpha * \tan \alpha \quad (5.25.)$$

$$L3 = r1 \left(\frac{1}{\sin \alpha} - \frac{2 \cos \theta}{\sin(90^\circ - \alpha)} \right) \quad (5.26.)$$

$$L4 = r2 \tan \left(\frac{\alpha}{2} \right) \quad (5.27.)$$

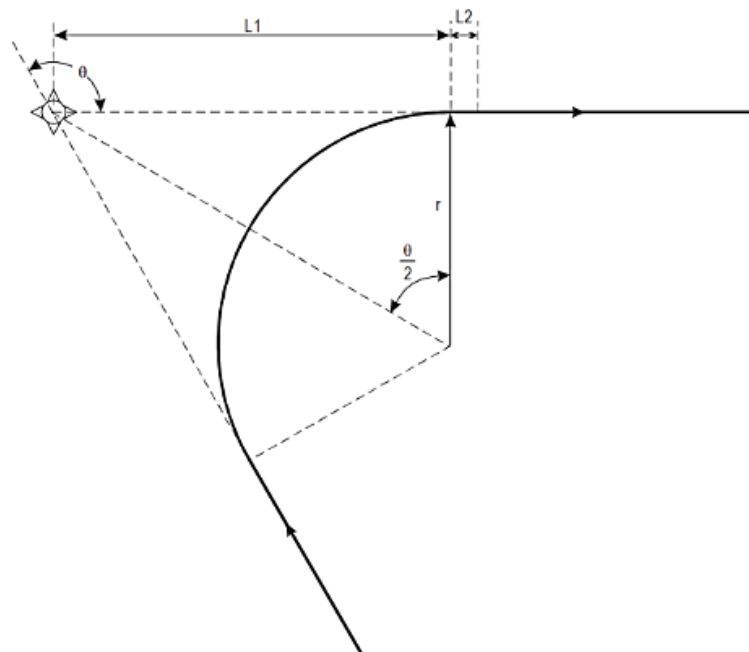
$$L5 = c * \frac{V}{3600} \quad (5.28.)$$

Gdje je:

- $\alpha = 30^\circ$ (kurs interceptiranja)
- $\theta =$ kut zaokreta
- $c = 10$ s vremena stabilizacije kuta zaokreta
- $r1 =$ radijus početnog zaokreta
- $r2 =$ radijus završnog zaokreta

Pritom, kut nagiba može iznositi 15° , 20° i 25° s obzirom na određenu fazu leta za radijus početnog zaokreta $r1$ prilikom promjene kursa za vrijednosti veće od 50° (uključujući i 50°). Za radijus završnog zaokreta $r2$, kut zaokreta iznosi 15° . Nadalje, kada je promjena kursa manja od vrijednosti 50° , minimalna stabilizacijska udaljenost tada odgovara upravo proračunima za vrijednost promjene kursa 50° .

Prikaz proračuna stabilizacijske udaljenosti točke neobveznog preleta obaviti će se preko slike 5.7.



Slika 5.7. Prikaz komponenti zaokreta točke neobveznog preleta, [9]

Slika 5.7. prikazuje horizontalni zaokret s konstantnim radijusom r , a ukupna udaljenost cijelog segmenta tijekom postupka preleta preko točke neobveznog preleta podijeljena je u 2 dijela, $L1$ i $L2$.

$L1$ predstavlja udaljenost između točke neobveznog preleta i početka zaokreta. $L2$ predstavlja vrijeme stabilizacije zaokreta u iznosu od 5 sekundi.

$$L1 = r * \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (5.29.)$$

$$L2 = c * \frac{V}{3600} \quad (5.30.)$$

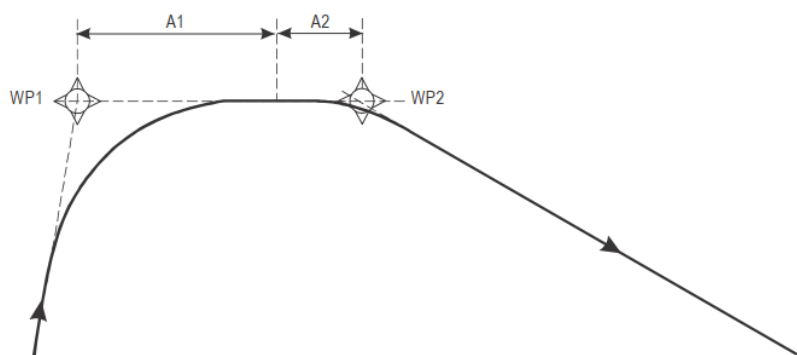
Gdje je:

- $c = 5$ sekundi vremena stabilizacije zaokreta
- $r =$ radijus zaokreta; i
- $\theta =$ kut zaokreta

Pritom, kut nagiba može iznositi 15° , 20° i 25° s obzirom na određenu fazu leta za radijus zaokreta r prilikom promjene kursa za vrijednosti veće od 50° (uključujući i 50°). Nadalje, kada je promjena kursa manja od vrijednosti 50° , minimalna stabilizacijska udaljenost tada odgovara upravo proračunima za vrijednost promjene kursa 50° .

5.5.2.3. Primjeri minimalnih stabilizacijskih udaljenosti

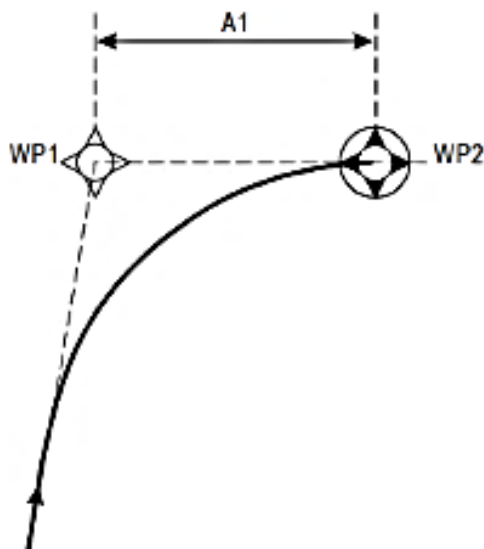
Dvije točke neobveznog preleta prikazane slikom 5.8.



Slika 5.8. Minimalna stabilizacijska udaljenost između dvije točke neobveznog preleta, [9]

Prema slici 5.8, ukupna minimalna stabilizacijska udaljenost odgovara sumi $(A1+A2)$ zasebnih stabilizacijskih udaljenost putnih točaka WP1 te WP2 koje se određuju preko propisanih tablica, uz poznavanje kuta nagiba i stvarne brzine zrakoplova (TAS).

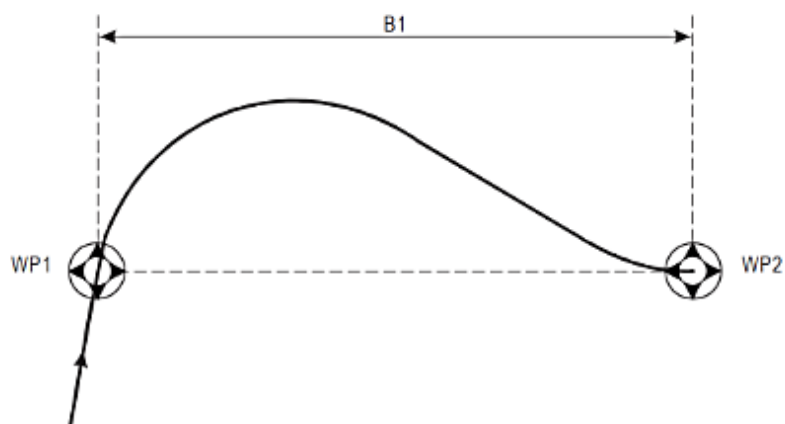
Točka neobveznog preleta nakon koje slijedi točka obveznog preleta prikazana slikom 5.9.



Slika 5.9. Minimalna stabilizacijska udaljenost između točke neobveznog preleta i točke obveznog preleta, [9]

U navedenom slučaju, ukupna minimalna stabilizacijska udaljenost odgovara propisanoj minimalnoj stabilizacijskoj udaljenosti točke neobveznog preleta WP1 (A_1) koja se očitava preko odgovarajuće tablice, uz poznavanje kuta nagiba i brzine leta. Putna točka WP2 predstavlja točku obveznog preleta te stoga vrijedi izraz: $A_1 + 0 = A_1$

Dvije točke obveznog preleta prikazane su slikom 5.10.

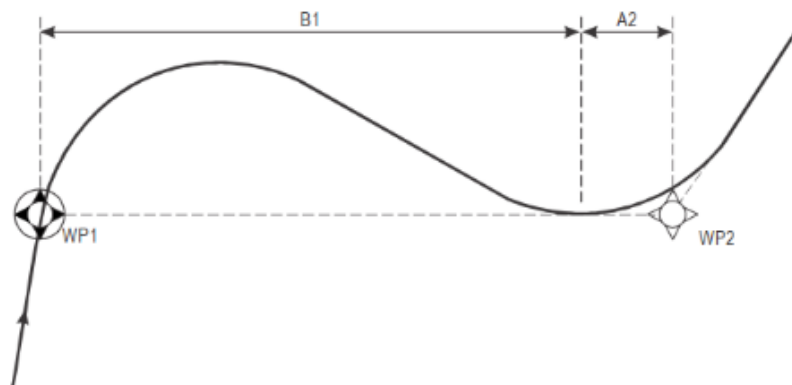


Slika 5.10. Minimalna stabilizacijska udaljenost između dvije točke obveznog preleta, [9]

Ukupna minimalna stabilizacijska udaljenost navedenog primjera odgovara udaljenosti B1 koja predstavlja zasebnu stabilizacijsku udaljenost putne točke WP1, odnosno vrijedi izraz: $B1 + 0 = B1$

Potrebne vrijednosti minimalne stabilizacijske udaljenosti putne točke WP1 također se određuju preko propisanih tablica, uz poznavanje kuta nagiba i stvarne brzine leta (TAS).

Točka obveznog preleta nakon koje slijedi točka neobveznog preleta prikazana je slikom 5.11.

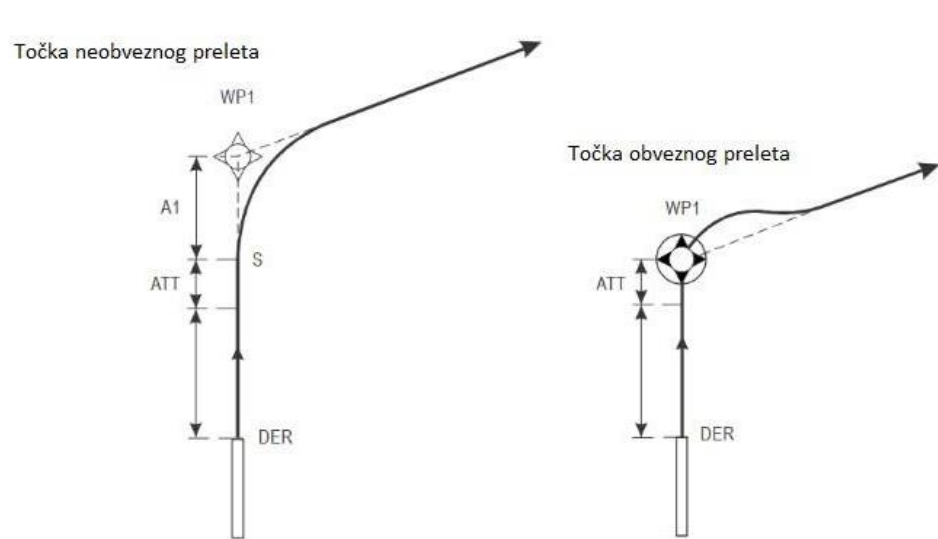


Slika 5.11. Minimalna stabilizacijska udaljenost između točke obveznog preleta i točke neobveznog preleta, [9]

Za određivanje ukupne minimalne stabilizacijske udaljenosti navedenog primjera, iz odgovarajućih tablica potrebno je odrediti minimalnu stabilizacijsku udaljenost točke obveznog preleta WP1. Zatim se, također iz odgovarajućih tablica, odredi podatak o minimalnoj stabilizacijskoj udaljenosti točke neobveznog preleta WP2. Ukupna minimalna stabilizacijska udaljenost tada je suma zasebnih vrijednosti ($B1+A2$). Također, tijekom očitavanja vrijednosti iz odgovarajućih tablica, potrebno je poznavati podatak o kutu nagiba i stvarnoj brzini leta (TAS).

5.6. Pojam prve točke

Tijekom konstrukcije potrebnih putnih točaka, za slučaj prve putne točke u segmentu standardnog instrumentalnog odlaska, propisana su određena pravila. Naime, udaljenost od kraja uzletno-sletne staze tijekom polijetanja (*Departure End of the Runway* ili *DER*) i najranije točke mogućeg zaokreta (prva točka) ne smije biti manja od 1.9 NM (slika 5.12.).



Slika 5.12. Prikaz konstrukcije postupka instrumentalnog odlaska s obzirom na smještaj prve točke, [9]

Iznimka navedenog pravila predstavlja slučaj kada se koristi gradijent penjanja nakon polijetanja (engl. *Procedure Design Gradient* ili *PDG*) viši od 3.3%. Tada je dozvoljena konstrukcija prve putne točke i na udaljenostima manjim od 1.9 NM s obzirom na završetak uzletno-sletne staze.

6. ZAKLJUČAK

Tijekom analize cjelokupnog rada, zaključilo se da je letenje prema pravilima instrumentalnog letenja (IFR) omogućeno razvojem prvih radionavigacijskih sredstava. U počecima instrumentalnog letenja, podrazumijevala se navigacija zrakoplova u odnosu na radionavigacijska sredstva fizički instalirana na zemlji. Danas je takva vrsta navigacije poznata pod nazivom konvencionalna navigacija. Nedostatak konvencionalne navigacije predstavljala činjenica da se radionavigacijska sredstva ne mogu postaviti na bilo koju poziciju na Zemlji. Također, propisane zaštitne površine unutar konvencionalne navigacije zauzimaju razmjerno veliko područje te se smanjuje kapacitet raspoloživog zračnog prostora.

Razvojem tehnologije konvencionalna navigacija nadomjestila se prostornom navigacijom RNAV. Novitet koji je predstavila metoda prostorne navigacije odnosi se na mogućnost navigacijskog računala zrakoplova (koji postaje sastavni dio opreme zrakoplova) da održava navigaciju prema preletištima. Budući da preletišta predstavljaju imaginarne točke koje fizički na zemlji ne postoje, nedostaci konvencionalne navigacije su otklonjeni. Načini definiranja preletišta su različiti, ali svima se može odrediti pripadajuća geografska koordinata. Navigacijsko računalo zrakoplova pohranjuju potrebna preletišta u vlastitu bazu navigacijskih podataka te omogućuju let zrakoplova određenim zračnim putom ili instrumentalnim postupkom, smanjujući radno opterećenje pilota. Navigacija zrakoplova prema metodi prostorne navigacije zahtijevala je propisivanje specifikacija opreme zrakoplova, ali i zračnog prostora koje su se konačno definirane unutar koncepta navigacije zasnovane na performansama (PBN).

PBN koncept definiran je preko navigacijskih aplikacija kojima je propisana određena navigacijska specifikacija uz podršku navigacijske infrastrukture. Ukupno je razvijeno 11 navigacijskih specifikacija, a sve su omogućene upotrebom globalnih navigacijskih satelitskih sustava. Također, zaključilo se da su unutar PBN koncepta definirani zahtjevi koji moraju ispunjavati zahtjeve točnosti, cjelovitosti, kontinuiteta, raspoloživosti i funkcionalnosti, što je omogućilo i daljnje smanjenje propisanih zaštitnih površina. To se odnosi i na preletišta preko kojih su definirani instrumentalni

postupci prilaženja. Tijekom konstrukcije preletišta, potrebno je uzeti u obzir i nesavršenost navigacijskih sustava odnosno grešku radionavigacijske infrastrukture preko kojih je preletišta definirano. Stoga, za sva preletišta definirane su i površine tolerancije koje su određene uzdužnom i poprečnom vrijednosti dopuštenog odstupanja.

Za slučaj preletišta konstruiranih preko VOR/DME te DME/DME stanica, zaključilo se da se površina tolerancije preletišta povećava s povećavanjem udaljenosti između planiranog preletišta i stanice. Preletišta se unutar koncepta prostorne navigacije nazivaju i putnim točkama. Razlikuju se točke obveznog i točke neobveznog preleta, a za svaki segment između navedenih točaka potrebno je odrediti i minimalnu stabilizacijsku udaljenost koja je jednaka vrijednosti sume svake zasebne putne točke.

LITERATURA

- [1] Novak, D.: Zrakoplovna prostorna navigacija, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.
- [2] P. J. G. Teunissen, Oliver Montenbruck: Springer handbook of global navigation satellite systems, Cham, Switzerland, 2017.
- [3] Performance-based Navigation (PBN) Manual, ICAO Doc 9613, AN/973, Fourth Edition, 2013.
- [4] ICAO ANNEX 10: Aeronautical Telecommunication, Vol II, Sixth Edition, 2001.
- [5] Global Navigation Satellite System (GNSS) Manual, ICAO Doc 9849, AN/457, 1999.
- [6] Wooden, W.H.: Navstar Global Positioning System, 1985.
- [7] Jeppesen charts [Pristupljeno: lipanj, 2020.]
- [8] EUROCONTROL: European Airspace Concept Workshops for PBN Implementation. Preuzeto sa:
https://www.icao.int/MID/Documents/2014/PBN%20Workshop-Tunis/03%20Overview%20of%20PBN%20Nav%20Specs_vJUL13.pdf
[Pristupljeno: lipanj, 2020.]
- [9] Aircraft Operations – Volume II Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, ICAO Doc 8168 OPS/611, Fifth Edition, 2014.

POPIS KRATICA

AAIM	(Aircraft Autonomous Integrity Monitoring) računalni algoritam zrakoplovnog sustava dopune
ABAS	(Aircraft-Based Augmentation System) zrakoplovni sustav dopune
ADT	(along DME tolerance) uzdužne tolerancije DME-a u proračunu uzdužne tolerancije
ANSP	(Air Navigation Service Provider) pružatelji usluga u zračnoj plovidbi
AP	(Autopilot) autopilot
APV	(Approach Procedures with Vertical guidance) postupci prilaženja s vođenjem u vertikalnoj ravnini
A/THR	(autothrust) sustav automatskog potiska
ATC	(Air Traffic Control) kontrola zračnog prometa
ATT	(along track tolerance) uzdužna vrijednost dopuštenog odstupanja pri određivanju putne točke ili preletišta
AVT	(along VOR tolerance) uzdužne tolerancije VOR-a u proračunu uzdužne tolerancije ATT
Baro-VNAV	(barometric vertical navigation) navigacija prema tlaku zraka u vertikalnoj ravnini
CDFA	(Continuous Descent Final Approach) prilaženje s kontinuiranim snižavanjem
CDI	(Course Deviation Indicator) radionavigacijski pokazivač odstupanja od radiokursa
CFIT	(Controlled Flight Into Terrain) nadzirani let u teren

CRC	(Cyclic Redundancy Check) algoritam za provjeravanje cjelovitosti APV SBAS
D	(Data code) navigacijska poruka
DA	(Decision Altitude) apsolutna visina
DER	(Departure End of the Runway) kraj uzletno-sletne staze tijekom polijetanja
DH	(Decision Height) visina odluke
DME	(Distance Measuring Equipment) oprema za mjerenje udaljenosti
DT	(DME tolerance) tolerancija DME-a pri definiranju udaljenosti u proračunu poprečne tolerancije XTT
DTG	(Distance to go) udaljenost od točke dodira
DTT	(System Use Accuracy) točnost sustava na zrakoplovu
EGNOS	(European Geostationary Navigation Overlay Service) satelitski sustav dopune u Europi
ETA	(Estimated Time of Arrival) predviđeno vrijeme dolaska
FAF	(Final Approach Fix) preletište ili točka završnog prilaženja u postupku nepreciznog prilaženja
FAP	(Final Approach Point) preletište ili točka završnog prilaženja u postupku preciznog prilaženja
FCU	(Flight Control Unit) panel za upravljanje letom
FD	(Flight Director) upravitelj leta
FDE	(Fault Detection and Exclusion) računalni algoritam zrakoplovnog sustava dopune
FMS	(Flight Management System) sustav za upravljanje letom

FMGC	(Flight Management and Guidance Computer) računalo sustava za upravljanje i vođenje leta
FMGS	(Flight Management and Guidance System) sustav za upravljanje i vođenje leta
FTE	(Flight Technical Error) tehnička pogreška tijekom leta
FTT	(flight technical error) tolerancija za pogrešku upravljanja zrakoplovom
GNSS	(Global Navigation Satellite System) globalni navigacijski satelitski sustav
GPS	(Global Positioning System) satelitski navigacijski sustav SAD-a
HAL	(Horizontal Alert Limit) horizontalna granica upozorenja
IAP	(Initial Approach Point) postupak instrumentalnog prilaženja
IAS	(Indicated Airspeed) indicirana (prividna) brzina
ICAO	(International Civil Aviation Organization) Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva
IFP	(Instrument Flight Procedures) instrumentalni letni postupci
IFR	(Instrument Flight Rules) pravila instrumentalnog letenja
ILS	(Instrument Landing System) sustav za precizno prilaženje prema instrumentima
IMC	(Instrument Meteorological Conditions) instrumentalni meteorološki uvjeti
INS/IRU	(Inertial Navigation System/Reference Unit) inercijski navigacijski sustav
LLZ	(Localizer) odašiljač usmjerivača pravca prilaženja

LNAV	(Lateral Navigation) funkcija vođenja navigacije u horizontalnoj ravnini
LNAV/LP	(Lateral Navigation/Localizer Performance) postupci prilaženja uz kontrolu bočnog odstupanja
MAP	(Missed Approach Point) točka neuspjelog prilaženja
MCDU	(Multipurpose Display Unit) višenamjenska kontrolno-prikaznička jedinica
MDA	(Minimum Descent Altitude) minimalna apsolutna visina snižavanja
MDH	(Minimum Descent Height) minimalan visina snižavanja
MFD	(Multi Function Display) višenamjenski prikaznik
ND	(Navigation Display) prikaznik navigacijskih podataka
NDB	(Non Directional Beacon) neusmjereni radiofar
NPA	(Non Precision Approach) neprecizno prilaženje
NSE	(Navigation System Error) pogreška u predviđanju pozicije zrakoplova
OCA	(Obstacle Clearance Altitude) apsolutna visina nadvisivanja prepreka
OCH	(Obstacle Clearance Height) visina nadvisivanja prepreka
OPMA	(On-board Performance Monitoring and Alerting) oprema koja kontinuirano prati i kontrolira rad sustava te omogućuje dojavu posadi u slučaju nezadovoljavajućeg stupnja rada
PANS OPS	(Procedures for Air Navigation Services-Operations) pravila za dizajniranje instrumentalnih navigacijskih postupaka
PA	(Precision Approach) precizno prilaženje

PBN	(Performance Based Navigation) koncept navigacije zasnovane na performansama
PDE	(Path Definition Error) pogreška pri definiranju putanje
PFD	(Primary Flight Display) primarni letni prikaznik
QDM	kut određen na poziciji zrakoplova od magnetskog sjevera do crte radiosmjera
QDR	kut određen na poziciji radionavigacijske postaje od magnetskog sjevera do crte radiosmjera
RAIM	(Receiver Autonomous Integrity Monitoring) računalni algoritam zrakoplovnog sustava dopune
RNAV	(Area Navigation) prostorna navigacija
RNAV APCH	(Area Navigation Approach) postupci prilaženja s vertikalnim vođenjem i bez njega kod kojih se primjenjuju sustavi i metoda prostorne navigacije
RNP	(Required Navigation Performance) navigacijske specifikacije PBN koncepta
SBAS	(Space-Based Augmentation System) satelitski sustav dopune
SID	(Standard Instrument Departure) standardni instrumentalni odlazak
ST	(system computation tolerance) tolerancija sustava za proračun uzdužne tolerancije ATT
STAR	(Standard Arrival Route) standardni instrumentalni dolazak
TAS	(True Airspeed) stvarna brzina leta
TSE	(Total System Error) ukupna sistematska pogreška
TTA	(Time-To-Alert) vrijeme do upozorenja
VAL	(Vertical Alert Limit) vertikalna granica upozorenja

VFR	(Visual Flight Rules) pravila vizualnog letenja
VMC	(Visual Meteorological Conditions) vizualni meteorološki uvjeti
VNAV	(Vertical Navigation) funkcija vođenja navigacije u vertikalnoj ravnini
VOR	(Very High Frequency Omnidirectional Range) visokofrekvencijski (VHF) svesmjerni radiofarovi
VPA	(Vertical Path Angle) kut putanje prilaženja
VT	(VOR tolerance) tolerancija VOR-a pri definiranju radijala u proračunu poprečne tolerancije XTT
WAAS	(Wide Area Augmentation System) satelitski sustav dopune u SAD-u
WPT	(Waypoint) putna točka
XTT	(cross track tolerance) poprečna vrijednost dopuštenog odstupanja pri određivanju putne točke ili preletišta

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Usporedba konvencionalne konstruirane rute s RNAV rutom.....	3
Slika 2.2. Usporedba povećanja mogućih zračnih putova korištenjem RNAV rute u odnosu na konvencionalne rute istog sektora	5
Slika 2.3. Prikaz različitih izvedbi RNAV sustava na zrakoplovu.....	7
Slika 2.4. Prikaz komponenata RNAV sustava na zrakoplovu	8
Slika 3.1. Prikaz PBN koncepta.....	14
Slika 3.2. Klasifikacija navigacijskih specifikacija.....	16
Slika 3.3. Prikaz navigacijskih pogrešaka	27
Slika 4.1. Klasifikacija postupaka instrumentalnog prilaženja.....	30
Slika 4.2. Klasifikacija RNP postupaka prilaženja.....	33
Slika 4.3. RNP APCH klasifikacija.....	34
Slika 4.4. RNP postupak prilaženja definiran za USS 27 smješten u Puli.....	36
Slika 4.5. Prikaz različitih vrijednosti VPA s obzirom na utjecaj vanjske temperature	39
Slika 4.6. Prikaz generalnog APV Baro - VNAV postupka prilaženja	40
Slika 4.7. Sadržaj podataka FAS DB	42
Slika 4.8. Prikaz generalnog APV - SBAS postupka prilaženja.....	42
Slika 4.9. Minimumi za nadvisivanje prepreka (MOC) tijekom RNP AR APCH postupaka prilaženja.....	44
Slika 4.10. Prikaz RNP AR APCH (Göteborg, Švedska)	46
Slika 5.1. Prikaz preletišta formirano VOR/DME stanicom.....	48
Slika 5.2. Prikaz uzdužne (ATT) i poprečne (XTT) vrijednosti odstupanja	49
Slika 5.3. Određivanje VOR/DME preletišta	53
Slika 5.4. Pravilo DME/DME presjeka 30°/150°	59
Slika 5.5. Minimalna stabilizacijska udaljenost.....	68
Slika 5.6. Prikaz komponenti zaokreta točke obveznog preleta	73
Slika 5.7. Prikaz komponenti zaokreta točke neobveznog preleta.....	75
Slika 5.8. Minimalna stabilizacijska udaljenost između dvije točke neobveznog preleta.....	76
Slika 5.9. Minimalna stabilizacijska udaljenost između točke neobveznog preleta i točke obveznog preleta	77
Slika 5.10. Minimalna stabilizacijska udaljenost između dvije točke obveznog preleta.....	78
Slika 5.11. Minimalna stabilizacijska udaljenost između točke obveznog preleta i točke neobveznog preleta.....	79

Slika 5.12. Prikaz konstrukcije postupka instrumentalnog odlaska s obzirom na smještaj prve točke	80
--	----

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prikaz navigacijskih specifikacija i pripadajućih točnosti vođenja (bočno odstupanje) unutar različitih faza leta	18
Tablica 2. Prikaz potrebnih navigacijskih senzora i opreme s obzirom na navigacijske specifikacije	19
Tablica 3. Zahtjevi performansi GNSS-a.....	21
Tablica 4. Vrijednosti horizontalne granice upozorenja (HAL) i vertikalne granice upozorenja (VAL).....	23
Tablica 5. Prikaz vrijednosti tolerancija pogrešaka VOR stanice	51
Tablica 6. Prikaz vrijednosti tehničkih pogrešaka FTT	52
Tablica 7. Primjer unaprijed izračunatih vrijednosti XTT i ATT	54
Tablica 8. Prikaz vrijednosti XTT, ATT jednog para DME stanica za RNAV 1	57
Tablica 9. Prikaz vrijednosti XTT, ATT s više dostupnih parova DME stanica za RNAV 1....	57
Tablica 10. Prikaz vrijednosti XTT, ATT jednog para DME stanica za RNAV 2	58
Tablica 11. Prikaz vrijednosti XTT, ATT jednog para DME stanica za RNAV 5	58
Tablica 12. Prikaz vrijednosti XTT, ATT jednog para DME stanica za rutni segment, postupak početnog prilaženja, međuprilaženja, završnog prilaženja i neuspjelog prilaženja	61
Tablica 13. Prikaz vrijednosti XTT, ATT više od jednog para DME stanica za rutni segment, postupak početnog prilaženja, međuprilaženja, završnog prilaženja i neuspjelog prilaženja.	62
Tablica 14. Vrijednosti minimalnih stabilizacijskih udaljenosti	69
Tablica 15. Minimalna stabilizacijska udaljenost za kut nagiba 25°	70
Tablica 16. Kategorije zrakoplova prema parametru Vat u segmentima instrumentalnih letnih postupaka	71
Tablica 17. Vrijednosti brzina koje se koriste za izračun minimalnih stabilizacijskih udaljenosti kada postoje ograničenja brzine.....	72

POPIS SIMBOLA

c	brzina svjetlosti
D	ukupna udaljenost između VOR/DME stanice i putne točke (preletišta)
D_1	udaljenost tangencijalne točke i putne točke
D_2	udaljenost između tangencijalne točke i putne točke
R	udaljenost od satelita
R'	pseudoudaljenost
r_1	radijus početnog zaokreta
r_2	radijus završnog zaokreta
t_K	vrijeme pokazivanja satelitskog sata
t_P	vrijeme pokazivanja sata u prijamniku
V_{at}	brzina gubitka uzgona zrakoplova u konfiguraciji za slijetanje
α	točnost VOR stanice izražene u stupnjevima
Δt_{at}	pogreška tijekom rasprostiranja radiovala
Δt_p	vremenska razlika radi odstupanja u mjerenju vremena u prijamniku
Δt_{si}	vremenska razlika radi odstupanja u mjerenju vremena na satelitu
θ	kut zaokreta
τ	vrijeme širenja odaslanog signala iz satelita prema prijamniku



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 **Proračun površine tolerancije preletišta**

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

U Zagrebu, 2.7.2020.

Student/ica:



(potpis)