Dizajn navigacijskih procedura prilaženja metodom satelitske navigacije

Šepec, Igor

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:894124

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

IGOR ŠEPEC

DIZAJN NAVIGACIJSKIH PROCEDURA PRILAŽENJA METODOM SATELITSKE NAVIGACIJE

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 2. travnja 2019.

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

DIPLOMSKI ZADATAK br. 5192

Pristupnik: **Igor Šepec (0035178449)**
Studij: Aeronautika

Zadatak: **Dizajn navigacijskih procedura prilaženja metodom satelitske navigacije**

Opis zadatka:

Uvodno opisati koncepte satelitske navigacije s naglaskom na SBAS. Opisati načela dizajna procedura APV I/II (SBAS). Definirati kriterije za nadvisivanje prepreka. Odrediti segmente prilazne procedure i pripadajuća ograničenja pri definiranju putanje leta zrakoplova. Definirati primarne i sekundarne površine na temelju kojih se definira nadvisivanje prepreka. Primjena načela i dizajn procedure na aerodrom u Republici Hrvatskoj. Zaključak.

Mentor:

prof. dr. sc. Doris Novak

Predsjednik povjerenstva za diplomski ispit:

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

DIPLOMSKI RAD

DIZAJN NAVIGACIJSKIH PROCEDURA PRILAŽENJA METODOM SATELITSKE NAVIGACIJE

APPLICATION OF GENERAL PRINCIPLES FOR NAVIGATION PROCEDURES DESIGN IN SATELLITE NAVIGATION

Mentor: prof. dr. sc. Doris Novak

Student: Igor Šepec

JMBAG: 0035178449

Zagreb, rujan 2019.

Sažetak

Ovim diplomskim radom opisuje se GNSS i sustavi nadopune GPS-a. Uz korištenje navigacijskih zemaljskih (VOR, DME) i satelitskih sredstava analizira se dizajn navigacijskih specifikacija RNAV i RNP te se detaljno razrađuje APV I/II SBAS procedura, zajedno s pripadajućim primarnim i sekundarnim površinama.

Ključne riječi: GNSS, GPS, RNAV, RNP, SBAS, APV I/II, primarne i sekundarne površine

Summary

The aim of this thesis is to define the GNSS and GPS augmentation systems. Furthermore, it describes design of navigation specification RNAV and RNP, using navaid such as VOR, DME or GNSS. Also, this paper illustrates APV I/II SBAS procedure, together with primary and secondary surfaces.

Key words: GNSS, GPS, RNAV, RNP, SBAS, APV I/II, primary and secondary surfaces

Sadržaj

1. Uvod 1
2. Globalni navigacijski satelitski sustavi 2
2.1. NAVSTAR Globalni pozicijski sustav 2
2.1.1. Svemirski segment 2
2.1.2. Upravljački segment 4
2.1.3. Korisnički segment 4
2.1.4. Princip rada GPS-a 5
2.1.5. Nedostatci GPS sustava 6
3. Sustavi dopune 8
3.1. Zrakoplovni sustav dopune 8
3.2. Zemaljski sustav dopune 8
3.3. Satelitski sustav dopune 9
4. Opis PBN navigacijske specifikacije 10
4.1. Područje nadvisivanja prepreka 12
4.2. Utvrđivanje pozicije zrakoplova 13
4.2.1. DME/DME 13
4.2.2. VOR/DME 16
4.2.3. Definiranje točka preletišta 19
4.3. RNAV i RNP navigacijske specifikacije 21
4.3.1. RNAV 10 (RNP 10) 22
4.3.2. RNAV 5 22
4.3.3. RNAV 1 i RNAV 2 24
4.3.4. RNP 4 25
4.3.5. Basic RNP-1 26
4.3.6. RNP APCH 28
5. Postupci prilaženja s vođenjem u vertikalnoj ravnini 31
5.1. Navigacija prema tlaku zraka u vertikalnoj ravnini Baro-VNAV 31
5.2. APV I/II procedure 34
6. Primjer dizajna procedura na aerodromu u Republici Hrvatskoj 38
7. Zaključak 42

1. Uvod

Dizajn navigacijskih procedura ovisi o puno faktora od kojih su najznačajniji: nadvisivanje prepreka u prilaznoj ravnini (početno prilaženje, međuprilaženje i završno prilaženje), nadvisivanje prepreka u neuspjelom prilaženju, pokrivenost signalom zemaljskih navigacijskih sredstava te eksploatacija aerodroma, odnosno kategorije zrakoplova koje se očekuju na aerodromu. Upotrebom satelitske navigacije, uz pomoć zemaljskih navigacijskih sredstava, dolazi do razvoja RNAV (engl. *Area Navigation*) procedura.

Razvojem satelitske navigacije i sustavima nadopune (engl. *GPS augmentation systems*) dolazi do dizajna navigacijskih procedura ovisno o navigacijskim specifikacijama, RNAV i RNP. Ovisno o navigacijskoj preciznosti brojčane oznake specifikacija označavaju lateralna ograničenja (izražena u nautičkim miljama), pri čemu 95% ukupnog vremena leta zrakoplova mora biti unutar tih zadanih ograničenja. APV I/II SBAS procedure koriste satelitske signale prilikom prilaženja, pri čemu je važno definirati prepreke koje prodiru kroz prilazne površine, odnosno odrediti nadvisivanje prepreka. Pritom je nužno opisati primarne i sekundarne površine prilaza kao i površine neuspjelog prilaženja.

Rad je organiziran u sedam poglavlja. Nakon uvoda, u drugom je poglavlju analiziran GNSS i način rada GPS-a. U trećem se poglavlju opisuju sustavi nadopune GPS-a, dok su u četvrtom poglavlju opisane navigacijske specifikacije RNAV i RNP, ovisno o njihovoj upotrebi. Peto poglavlje daje uvid u APV I/II SBAS procedure, s pripadajućim primarnim i sekundarnim površinama i neuspjelim prilaženjem. Šesto poglavlje opisuje primjenu dizajna navigacijskih procedura u Republici Hrvatskoj, dok su u sedmom poglavlju iznesena mišljenja i zaključci. Na samom kraju rada nalaze se popisi literature, slika, tablica i kratica.

2. Globalni navigacijski satelitski sustavi

Globalni navigacijski satelitski sustav podrazumijeva konstelaciju satelita koji šalju signale iz svemira. Signali sadrže informacije o vremenu, prilikom čega se na osnovu tih informacija utvrđuje lokacija prijemnika. Danas postoje različiti sustavi GNSS-a s globalnom pokrivenošću, poput NAVSTAR GPS-a, GLONASS-a, Galileo, Beidu itd. Svaki od sustava zadovoljava četiri glavne značajke:

- Preciznost – razlika između stvarne i izmjerene pozicije, brzine ili vremena
- Cjelovitost – sposobnost sustava da pruži graničnu vrijednost pouzdanosti, i upozorenje u slučaju anomalije u pozicijskim podacima
- Neprekidnost – sposobnost sustava da radi bez prekida
- Dostupnost – postotak vremena u kojem signal ispunjava gore navedene kriterije[1]

2.1. NAVSTAR Globalni pozicijski sustav

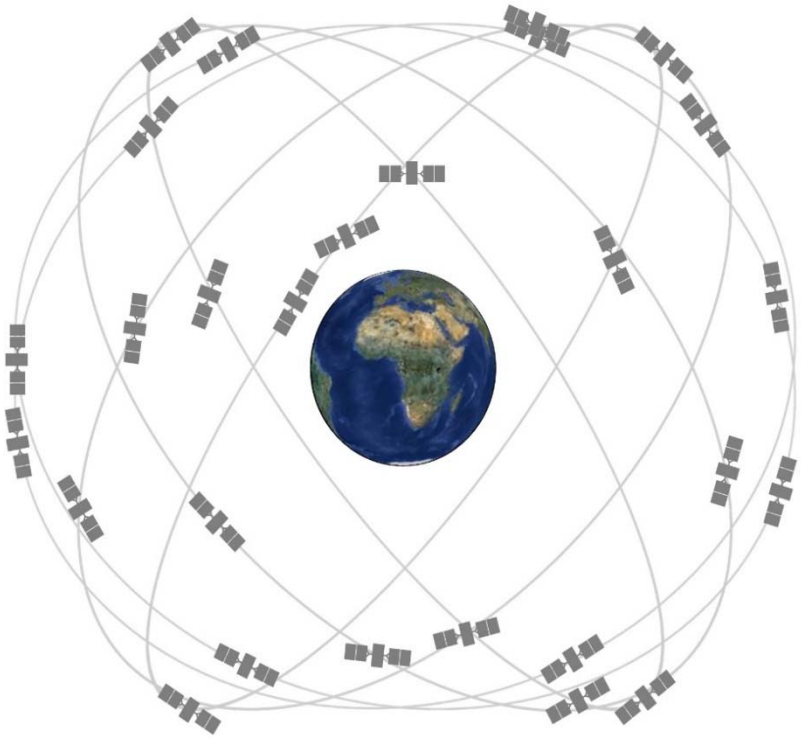
Globalni pozicijski sustav (engl. *Global positioning system – GPS*) globalni je navigacijski satelitski sustav koji kontinuirano pruža lokaciju, brzinu i vrijeme prijemnicima na Zemlji ili u zraku. „Postupkom modulacije informacijski signal utiskuje se u prijenosne signale tako se dobivaju dva modulirana vala, L1 i L2. Prijenosna frekvencija L1 jest 1575,42 MHz, s valnom duljinom od 19 cm, a prijenosna frekvencija L2 1227,60 MHz, s valnom duljinom od 24,4 cm.“[2] Modulacijom signala prijemnik može razlikovati signale različitih satelita. U jednosmjernoj komunikaciji od različitih satelita do prijemnika mjeri se vrijeme primitka signala i na temelju toga određuju se pozicija, vrijeme i brzina. Kako bi se pozicija, vrijeme i brzina mogli kontinuirano određivati, sustav GPS-a sastoji se od tri segmenta, odnosno svemirskog, upravljačkog i korisničkog segmenta.

2.1.1. Svemirski segment

GPS sustav u svemirskom segmentu sastoji se od najmanje 24 satelita, koji su raspoređeni u 6 precizno definiranih orbita oko Zemlje prikazano na Slika 1. Orbite satelita definirane su tako da se svaki satelit nalazi na visini od oko 20200 km i pri tome su raspoređeni tako da svaki satelit presijeca ravninu Zemljinog ekvatora pod kutom od 55°. Vrijeme potrebno da satelit

[1] https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/what-gnss
[2] D. Novak, Zrakoplovna prostorna navigacija, 2015., str. 106

obiđe zemlju iznosi oko 12 sati, odnosno u jednom sideričkom danu dva puta obiđe Zemlju.[3] Da bi satelit bio vidljiv mora biti 5º iznad horizonta te su orbite satelita raspoređene na način da je barem 6 satelita vidljivo s površine Zemlje u svakom trenutku.



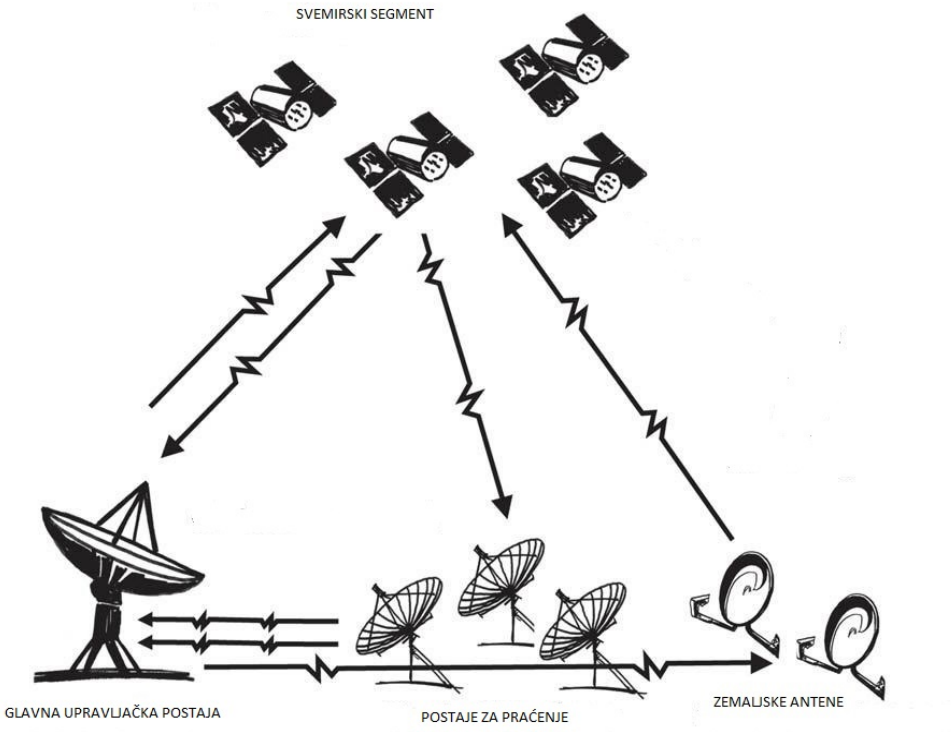
Slika 1. Orbite satelita, [4]

Trenutno se u konstelaciji nalazi 31 satelit, od kojih je šest satelita rezervno, dok je jedan testni satelit. Kako se sateliti nalaze iznad atmosfere, nema utjecaja otpora atmosfere, ali su i dalje podložni promjenama orbite zbog gravitacijske sile mjeseca i Sunca, stoga njihove orbite treba stalno ispravljati.[4] Svaki od satelita u konstelaciji sadrži redundantne atomske satove visoke preciznosti. Pomoću tih satova i frekvencijskog sintetizatora sinkronizira se generator GPS signala i kontroliraju se obje frekvencije L pojasa.[5]

[3] B. W. Parkinson, J. J. Spilker Jr, Global Positioning System: Theory and Applications Volume I, 1996., str. 38
[4] B. W. Parkinson, J. J. Spilker Jr, Global Positioning System: Theory and Applications Volume I, 1996., str. 38
[5] B. W. Parkinson, J. J. Spilker Jr, Global Positioning System: Theory and Applications Volume I, 1996., str. 39

2.1.2. Upravljački segment

Kako bi sateliti slali točne podatke, kontrola istih nadzire se u upravljačkom segmentu GPS sustava. Kontrolni se segment sastoji od nekoliko dijelova, odnosno glavne upravljačke stanice, zamjenske upravljačke stanice, 16 postaja za praćenje i 11 zemaljskih antena, raspoređenih tako da su smještene što bliže ekvatoru, prikazano Slika 2. Postaje za praćenje precizni su radioprijemnici bez ljudske posade koji signale sa satelita primaju na dvije frekvencije.[6] Pritom prate satelite koji prelaze iznad njih, prikupljaju navigacijske podatke, udaljenosti i atmosferske podatke.



Slika 2. Prikaz upravljačkog segmenta, [5]

Prikupljeni podatci pohranjuju se i obrađuju kako bi se dobile što preciznije korekcije efemerida te se mjere i uspoređuju vremena atomskog sata svakog pojedinog satelita zbog što točnih korekcija istih. MCS prima pohranjene podatke stanica za praćenje. „Iz glavne upravljačke postaje odašilju se radiovezom korekcije i ostali podatci prema pojedinim satelitima.“[7]

2.1.3. Korisnički segment

Signale emitirane sa satelita primaju prijemnici na ili oko Zemlje. Iako je prvotno GPS NAVSTAR bio namijenjen korištenju američke vojske, danas je prisutan u svim sferama

[6] D. Novak, Zrakoplovna prostorna navigacija, 2015., str. 111
[7] D. Novak, Zrakoplovna prostorna navigacija, 2015., str. 111

transporta, kao što su zrakoplovna navigacija, navigacija plovila, navigacija automobila itd. Tijekom primitka signala antena prijemnika preko pojačala pojačava signal, dok frekvencijski filter uklanja visoke frekvencije, uz navedeno spušta se frekvencija na razinu IF. Nakon toga mikser odstranjuje frekvencije vala nosioca kako bi ostao originalni binarni kod koji se koristio za modulaciju vala nosioca na satelitu. Taj binarni kod sastoji se od PRN-a i navigacijskih podataka.[8] Demodulacijom tog koda dobivaju se pseudoudaljenost i navigacijski podaci za svaki satelit. Navigacijski su podaci spremljeni u okvire, od kojih svaki sadrži 5 podokvira. U podokvirima 1, 2 i 3 nalaze se podaci o efemeridi, u 4 podokviru spremljeni su podatci o korekciji UTC-a sata, ionosferskim utjecajima i almanah, dok su podokviru 5 podaci o almanahu. „Za određivanje pozicije u prostoru (3D), prijemniku su potrebna minimalno 4 vidljiva satelita.“[9]

2.1.4. Princip rada GPS-a

Kako je već navedeno sateliti u jednosmjernoj komunikaciji šalju signale prijemnicima. Pozicija se određuje na temelju mjerenja vremena, odnosno koliko je signalu sa satelita potrebno vremena da stigne do prijemnika, pritom je brzina rasprostiranja signala jednaka brzini svjetlosti. Mjerenjem protoka vremena od trenutka emitiranja signala sa satelita do prijema u prijamniku, računa se udaljenost od satelita (R), prema izrazu:

$$R = c\Delta t = c(t_K - t_p) \tag{1}$$

„gdje je t_K vrijeme pokazivanja satelitskog sata, a t_p vrijeme pokazivanja sata u prijamniku.“[10]

Prijemnici najčešće koriste kvarcni sat koji nema veliku preciznost, stoga udaljenost koju mjere neće biti točna. Udaljenost će biti pseudoudaljenost označena sa R', gdje je izraz prikazan formulom:

$$R' = R + c\left(\Delta t_p - \Delta t_{Si}\right) + c\Delta t_{at} \tag{2}$$

„Gdje su Δt_p i Δt_{Si} vremenske razlike koje se pojavljuju radi odstupanja u mjerenju vremena sustava u prijemniku i mjerenja vremena na satelitu, Δt_{at} je pogreška koja se pojavljuje radi rasprostiranja radiovalova.“[11]

Pseudoslučajni kod jedinstven je za svaki satelit kako bi prijemnici mogli razlikovati primljene signale različitih satelita. Kao što je već navedeno, svi GPS sateliti emitiraju signal na dvije

[8] F. van Diggelen, A-GPS: Assisted GPS, GNSS, and SBAS, 2009., str 26
[9] D. Novak, Zrakoplovna prostorna navigacija, 2015., str. 111
[10] D. Novak, Zrakoplovna prostorna navigacija, 2015., str. 102-103
[11] D. Novak, Zrakoplovna prostorna navigacija, 2015., str. 105

prijenosne frekvencije, odnosno dva modulirana vala L1 i L2, pritom prijemnici razlikuju te signale jer PRN kod primljen od satelita mora biti sinkroniziran s lokalno generiranim PRN kodom.[12]„Signali nositelji moduliraju se s dva pseudoslučajna koda, C/A i P(Y) kodom.“[13] C/A kod i P(Y) kod koriste se za mjerenje udaljenosti, odnosno vremena putovanja signala, ali s različitim točnostima. C/A kod je kod za pozicioniranje standardnom razinom točnosti, odnosno binarni kod od 1023 bit-a, generiran na frekvenciji 1,023 MHZ i ponavlja se svake milisekunde. C/A kod namijenjen je svakodnevnoj upotrebi. Kada je potrebna veća točnost, upotrebljava se P(Y) kod, odnosno kod za pozicioniranje većom razinom točnosti. „Takav kod je generiran na frekvenciji 10,23 MHz. S obzirom na to da je brzina kodiranja P(Y) 10 puta veća od nego u C/A kodu, i točnost u pozicioniranju je deset puta veća.“[14] P(Y) kod koriste jedino ovlašteni korisnici (američka vojska), pri tome svaki tjedan posjeduju novi jedinstveni segment P koda. Kako bi se dobili navigacijski podatci u PRN kodu modulirana je navigacijska poruka 50 bita/s. „Signal je podijeljen u 25 podokvira od kojih svaki ima duljinu od 1500 bitova, dok interval za emitiranje jednoga iznosi 30 sekundi pri prijenosu poruke.“[15] Navigacijska poruka sadrži informacije o stanju satelita, efemeridama satelita, ionosferskoj korekciji itd.

2.1.5. Nedostatci GPS sustava

Nekoliko je većih grešaka GPS sustava. Kako bi se pozicija i brzina točno odredile važno je objasniti greške da bi se one mogle ispraviti.

U satelitu se nalaze 4 atomska sata visoke preciznosti (do 10 ns), a u prijemniku se nalazi kvarcni sat niske preciznosti (1ms).[16] Kroz određeno vremensko razdoblje doći će do veće razlike između satova, a time i veće nepreciznosti. Kada je u pitanje pogreška efemeride, ona nastaje kao razlika između stvarne orbite satelita i orbita koje šalju sateliti. Jedan od razloga promjene orbita satelita su gravitacijske sile Mjeseca i Sunca. „Upravljački segment GPS sustava utvrđuje pozicije svih satelita te predviđa njihove orbite međusobnom usporedbom nizova proračuna orbita koje se temelje na Keplerovim zakonima.“[17] Signal emitiran od strane GPS satelita prolazi kroz atmosferu. Prolaskom kroz atmosferu dio signala se rasprostire, refraktira i mijenja mu se brzina, jer prolazi kroz različite plinove. Sve navedeno uzrokuje kašnjenje signala. Reflektirani val nastaje kao posljedica odbijanja vala od raznih prepreka, pritom je upadni kut vala jedan kutu refleksije. U slučaju kada prijemnik primi takav val, dolazi

[12] F. van Diggelen, A-GPS: Assisted GPS, GNSS, and SBAS, 2009., str 26
[13] D. Novak, Zrakoplovna prostorna navigacija, 2015., str. 106
[14] D. Novak, Zrakoplovna prostorna navigacija, 2015., str. 108
[15] D. Novak, Zrakoplovna prostorna navigacija, 2015., str. 108
[16] D. Novak, Zrakoplovna prostorna navigacija, 2015., str. 112-113
[17] D. Novak, Zrakoplovna prostorna navigacija, 2015., str 113

do pogrešnog mjerenje pseudoudaljenosti, odnosno prikazivanjem krive pozicije. Ukoliko prijemnik primi više reflektiranih valova, dolazi do smetnje, odnosno šuma u prijemniku, što također uzrokuje prikazivanje krive pozicije. Nabrojani nedostatci smatraju se sistemskim greškama, dok se pogreške zbog prostornog rasporeda satelita smatraju geometrijskim pogreškama. Prostorni raspored satelita utječe na točnost određivanja pozicije. Geometrijska mjera preciznost sastoji se od tri komponente:

- Horizontalna mjera – dvodimenzionalna pozicija u horizontalnoj ravnini (HDOP)
- Vertikalna mjera – koordinata visine (VDOP)
- Geometrijska mjera preciznosti pri određivanju pozicije – upućuje na kvalitetu horizontalnih i vertikalnih mjerenja

$$PDOP = \sqrt{HDOP^2 + VDOP^2} \tag{3}$$

- Geometrijska mjera preciznosti pri određivanju vremena – upućuje na odstupanje sata

$$GDOP = \sqrt{PDOP^2 + TDOP^2} \tag{4}$$

Povoljna vrijednost GDOP-a preduvjet je za točno određivanje pozicije.[18]

[18] D. Novak, Zrakoplovna prostorna navigacija, 2015., str. 117

3. Sustavi dopune

„Radi osiguranja propisanih performansi satelitskog navigacijskog sustava, u smislu točnosti, integriteta, dostupnosti, kontinuiteta u pružanju informacija tijekom svih faza leta zrakoplova, treba satelitski navigacijski sustav dodatno upotpuniti sustavima i metodama koje omogućuju kvalitetnije pozicioniranje.“[19]

3.1. Zrakoplovni sustav dopune

ABAS (engl. *Aircraft-Based Augmentation System*) je sustav dopune GPS-a pomoću zrakoplovnih navigacijskih uređaja, odnosno prijemnika GPS signala. Za procjenu integriteta signala koristi se algoritam unutar programa zrakoplovnih GPS prijemnika koji se zove RAIM (engl. *Receiver Autonomus Integrity Monitoring*). RAIM algoritam može raditi u modu FD ili FDE. Tijekom rada u modu FD (engl. *Fault Detection*), tj. otkrivanje greške, potrebno je minimalno 5 vidljivih satelita. „Za određivanje pozicije potrebno je najmanje 4 satelita, sa signalom od petog satelita moguće je izračunati pet međusobno neovisnih pozicija.“[20] Proračuni pozicija temelje se na razlici u mjerenju pseudoudaljenosti satelita i njegove očekivane vrijednosti.[21] Ukoliko proračuni pozicija nisu u zadanim ograničenjima, javit će se upozorenje o smanjenju integriteta, pritom nije moguće isključiti satelit koji šalje pogrešne podatke iz proračuna. U drugom modu rada FTE (engl. *Fault Detection and Exclusion*), potrebno je minimalno 6 vidljivih satelita, pri čemu je proračunima moguće utvrditi o kojem se satelitu radi te ga isključiti iz daljnjih proračuna.

3.2. Zemaljski sustav dopune

Zemaljski sustav dopune pruža točniju poziciju i cjelovitost sustava zrakoplovima u blizini od samog GPS-a, pri čemu se signal šalje u radijusu oko 23 NM od mjesta GBAS (engl. *Ground-Based Augmentation System*) stanice, najčešće na aerodromu. GBAS je razvijen kako bi pružao alternativu ILS prilazu kategorije 1, pritom je demonstrirana preciznost GBAS prilaza u vertikalnoj i horizontalnoj ravnini manja od 1 m.[22] GBAS zemaljska stanica sastoji se od tri ili više GPS antena, središnje procesorske jedinice i VHF odašiljačkih antena, dok se oprema na

[19] D. Novak, Zrakoplovna prostorna navigacija, 2015., str. 119
[20] D. Novak, Zrakoplovna prostorna navigacija, 2015., str. 121
[21] https://ww1.jeppesen.com/documents/aviation/business/RAIM-Requirements.pdf
[22] https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/laas/

zrakoplovu sastoji od GPS antene, VHF antene i pripadajuće opreme za obradu.[23] Princip rada temelji se na primanju signala preko GPS antena točno određene geografske pozicije, pri čemu prijemnici mjere vrijeme signala od satelita do antena, pritom određujući udaljenost. Zemaljska stanica uspoređuje izračunatu udaljenost sa stvarnom udaljenošću satelita i poziciju GPS antena i određuje grešku u mjerenjima. U slučaju greške satelita, GBAS prestaje slati korekcije za isti. Informacije o korekciji, cjelovitosti i prilaznoj putanju šalju se preko VHF odašiljačkih antena.[24]

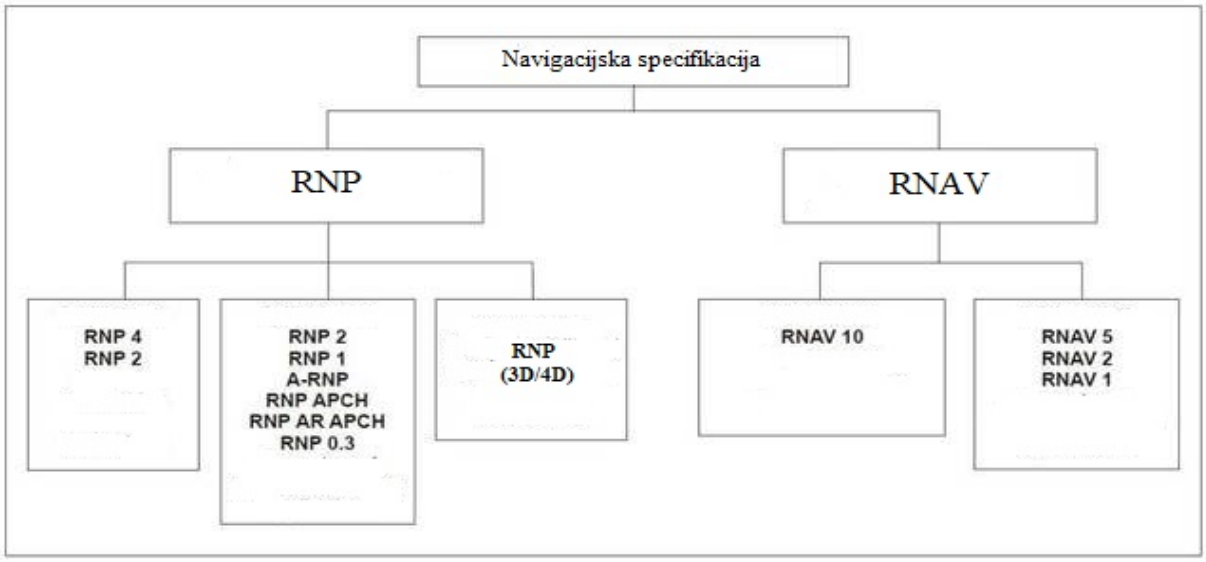
3.3. Satelitski sustav dopune

Kako bi se na velikim površinama pružala točna vertikalna i horizontalna navigacija razvijen je SBAS, (engl. *Satellite-Based Augmentation System*) odnosno satelitski sustav dopune. SBAS se ovisno o geografskoj podjeli dijeli na nekoliko površina pokrivanja. WAAS (engl. *Wide Area Augmentation System*) pokriva većinom površinu iznad Sjeverne Amerike, EGNOS (engl. *European Geostationary Navigation Overlay Service)*, je europski SBAS, dok GAGAN pokriva površine iznad Indije, a MSAS iznad Japana. Vertikalna i horizontalna navigacija pruža se u svim segmentima leta: rutni dio, dolazne i odlazne procedure.[25] Signal emitiran s GPS satelita primljen je na zemaljskim stanicama RIMS (engl. *Ranging and Integrity Monitor Stations*) s točno utvrđenom pozicijom stanica koje su raširene kako bi pokrivale ranije navedene površine.[26] Primljeni se signal proračunava kako bi se utvrdila razlika između utvrđene pozicije stanica i proračunate pozicije. Prikupljene informacije zatim se šalju SBAS glavnim stanicama, gdje se proračunavaju i generiraju poruke koje sadrže informacije o korekcijama, greškama satelitskih satova, ionosferske korekcije itd. Generirana poruka s navedenim informacijama šalje se geostacionarnim satelitima koji emitiraju poruku preko signala sličnima GPS signalima na površini pokrivanja.

[23]https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/laas/howitworks/
[24]https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/laas/howitworks/
[25] https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/waas/
[26] D. Novak, Zrakoplovna prostorna navigacija, 2015., str. 123

4. Opis PBN navigacijske specifikacije

RNAV, odnosno prostorna navigacija pruža veću mogućnost operaterima tijekom odabira rute, pri čemu PBN predstavlja navigaciju temeljenu na performansama u okviru razvoja same RNAV procedure. PBN se pritom dijeli prema navigacijskim specifikacijama (engl. *NavSpecs*) na RNAV i RNP. RNAV specifikacija podrazumijeva specifičnu lateralnu navigaciju, dok RNP specifikacija podrazumijeva dio sustava na zrakoplovu koji omogućuje praćenje i upozorenje. U oba slučaja 95% vremena leta zrakoplova mora biti unutar zadanih lateralnih ograničenja. Također, koncept navigacijske specifikacije podrazumijeva navigacijske zahtjeve spram zrakoplovnih sustava i posade zrakoplova u definiranom zračnom prostoru. Podjela navigacijskih specifikacija prikazana je Slika 3.



Slika 3. Navigacijska specifikacija, [11]

Kako bi se RNAV odvijao na siguran način, potrebno je definirati tolerancije, odnosno potrebno je zadovoljiti uvjete, 95% vremena leta mora biti unutar zadanih lateralnih ograničenja. Sljedeće tolerancije uzimaju se u obzir:

- Tehnička pogreška tijekom leta (FTE) – odstupanje zrakoplova od zadane putanje, prikazano Tablica 1. Vrijednosti FTE
- Definicija putanje – razlika između definirane putanje i zadane putanje na zadanoj točki u zadano vrijeme

- Greške prikaznika – ove greške uključuju greške komponenti kao što su ulazni, izlazni podaci ili opreme za pretvaranje signala koje koristi prikaznik, koji prikazuje ili poziciju zrakoplova ili naredbe vođenja
- Greška navigacijskog sustava (NSE) – odgovara korijenu sumi slijedećih faktora: doprinos grešaka zemaljske stanice, greška prijemnika u zrakoplovu i doprinos prikazničkih sustava
- Ukupna sistemska pogreška (TSE) – $TSE = \sqrt{NSE^2 + FTE^2}$
- Procjena pozicije – razlika između stvarne pozicije i procijenjene pozicije[27]

Tablica 1. Vrijednosti FTE

TIJEK LETA	FTE (95%) ZAHTJEVI RNP
RUTNI SEGMENT LETA (jednak ili više od 30 NM od referentne točke polaznog ili odredišnog aerodroma)	RNAV 5 – 2.5 NM RNP 4 – 2 NM RNAV 2 – 1 NM RNAV 1 – 0.5 NM BASIC RNP-1 – 0.5 NM
TERMINALNI SEGMENT (SID, STAR, inicijalno prilaženje, međuprilaženje manje od 30 NM od referentne točke odredišnog aerodroma)	RNAV 2 – 1 NM RNAV 1 – 0.5 NM BASIC RNP-1 – 0.5 NM RNP APCH – 0.5 NM
ZAVRŠNO PRILAŽENJE	RNP APCH – 0.25 NM
NEUSPJELO PRILAŽENE	RNP APCH – 0.5 NM

Izvor: **[13]**

Lateralna tolerancija u vrijednosti 95% vremena leta, unatoč tome što odgovara vrijednosti Gaussove razdiobe i određena korijenom sume NSE i FTE, ne odgovara u potpunosti toj razdiobi. Razlog tome su, između ostalog, greške, pri čemu se zaostale posljedice distribucije ne mogu točno odrediti bez opsežnih podataka. Zbog toga se uvodi zaštitno područje (engl. *Buffer Value*), čije su vrijednosti prikazane Tablica 2. Vrijednosti zaštitnog područja (Buffer Value)., u kojem su zaostale posljedice uračunate u dizajn procedure, a uključuju specifikacije zrakoplova (brzina, upravljivost) i tijek leta (vrijeme reakcije pilota).

[27] https://www.theairlinepilots.com/forumarchive/concepts-procedures/modern-navigation.pdf

Tablica 2. Vrijednosti zaštitnog područja (Buffer Value)

SEGMENT LETA	ZAŠTITNA ZONA ZA CAT A-E
RUTNI, SID, STAR (jednak ili više od 30 NM od referentne točke polaznog ili odredišnog aerodroma)	2 NM
TERMINALNI SEGMENT (STAR, inicijalno prilaženje, međuprilaženje manje od 30 NM od referentne točke aerodroma; SID, neuspjeli prilaz manje od 30 NM, ali više od 15 NM od referentne točke aerodroma)	1 NM
ZAVRŠNO PRILAŽENJE	0.5 NM
NEUSPJELO PRILAŽENJE I SID (do 15 NM od referentne točke aerodroma)	0.5 NM

Izvor: **[13]**

4.1. Područje nadvisivanja prepreka

Područje nadvisivanja prepreka određeno je poluširinom zaštitnog područja (engl. *Area semi-width*) i sekundarnom površinom, kojima se određuje područje spajanja tijekom faza leta. Poluširina zaštitnog područja određuje se prema navigacijskim sredstvima (npr. DME/DME, VOR/DME GNSS itd.), pri čemu se tokom procedura leta može koristiti više različitih sredstava. Tijekom određivanja, poluširina zaštitnog područja, odgovarat će većoj vrijednosti prema izračunu svakog pojedinog navigacijskog sredstva. Pritom odgovara formuli:

$$1/2AW = 1.5 * XTT + BV \quad (5)$$

XTT odgovara vrijednosti TSE, odnosno 2 σ

BV je prikazan Tablica 2. Vrijednosti zaštitnog područja (Buffer Value)[28]

Sekundarne površine primjenjuju se na svim segmentima RNAV navigacijske specifikacije gdje je omogućeno vođenje zrakoplova po putanji leta i gdje je omogućeno letenje u *heading*

[28] Aircraft operations – Volume II Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, ICAO Doc 8168, OPS/611, 5th Edition, 2006, str. 522

modu pod pretpostavkom da se cijela površina širi pod kutom od 15º kako bi se u obzir uzeo i utjecaj vjetra.

Površine spajanja tijekom različitih faza leta definirane su kao zaštitno područje prethodne faze i XTT sljedeće faze leta. Kako se tijekom leta, poglavito procedura odlaženja i prilaza, faze leta mijenjaju tako se i prema njima mijenjaju veličine površina, odnosno ako je prethodna površina veća od sljedeće površine, spajanje je određeno točkama, npr. IF ili FAF, pri čemu se linija sekundarne površine sužava pod kutom od 30º prema nominalnoj putanji. U protivnom, ako je prethodna površina manja od sljedeće, površina se širi na točki gdje se XTT mijenja, pod kutom od 15º u odnosu na prethodnu površinu. U oba slučaja vanjski rub primarne površine označava polovicu ukupne površine.

4.2. Utvrđivanje pozicije zrakoplova

Navigacijska specifikacija RNAV metoda je navigacije koja omogućuje izvršavanje operacija tijekom leta na željenim putanjama unutar područja pokrivanja zemaljskih navigacijskih sredstava, satelitskih navigacijskih sredstava ili unutar ograničenja navigacijskih mogućnosti zrakoplovnih sustava, ili kombinacije istih.[29] Kako bi se let odvijao na željenim putanjama nekoliko je načina utvrđivanja pozicije zrakoplova:

- Navigacija pomoću navigacijskih mogućnosti zrakoplovnih sustava (INS, IRS)
- Navigacija pomoću zemaljskih navigacijskih sustava (DME/DME, VOR/DME)
- Navigacija pomoću GNSS-a (GPS, GLONASS, Galileo)

4.2.1. DME/DME

DME/DME RNAV speficikacija koristi se kod slijedećih navigacijskih specifikacija:

- RNAV 1, RNAV 2: kontinentalna rutna faza leta, terminalna faza leta
- RNAV 5: kontinentalna rutna faza leta

Pritom DME/DME speficikacija mora udovoljavati slijedećim uvjetima:

- Koordinate stanice DME odgovaraju elipsoidu WGS-84, dok je elevacija izražena u AMSL
- Zrakoplovni navigacijski sustavi udovoljavaju zahtjevima za implementaciju specifikacija RNAV 5, odnosno RNAV 1 i 2

[29] https://www.faa.gov/air_traffic/publications/atpubs/aip_html/part2_enr_section_1.17.html

- Zemaljska oprema udovoljava zahtjevima *ICAO Annex 10*, pri čemu greška ne smije biti veća od 185m/0.1NM 95% vremena leta[30]

Preciznost DME/DME stanica odgovara formuli:

$$2\sigma = 2\sqrt{\frac{(\sigma_{1,air}^2+\sigma_{1,sis}^2)+(\sigma_{2,air}^2+\sigma_{2,sis}^2)}{\sin\alpha}} \quad (6)$$

Gdje se uzimaju uvjeti:

- $\sigma_{sis} = 0.05$ NM
- σ_{air} = Max {0.085 NM, 0,125% udaljenosti} za specifikacije RNAV 1 i RNAV 2
- $30^o \leq \alpha \leq 150^o$[31]

FTE odgovara Tablica 1. Vrijednosti FTE, dok poluširina zaštitnog prostora odgovara već danoj formuli (3), XTT i ATT odgovaraju sljedećim formulama:

$$XTT = \sqrt{DTT^2 + FTE^2 + ST^2} \quad (7)$$

$$ATT = \sqrt{DTT^2 + ST^2} \quad (8)$$

Kako bi se osigurala pokrivenost signalom duž planirane rute, sljedeći se uvjeti uzimaju u obzir:

- Maksimalna udaljenost od DME stanice 160 NM
- Maksimalni i minimalni kut presijecanja DME stanica između 30^o i 150^o
- DME stanica udaljena 3 NM od projektirane putanje leta ne može se koristiti za navigaciju
- Objavljena ograničenja u projektiranom operativnom pokrivanju signala
- Ako se pozicija duž rute može odrediti samo uz jedan par DME stanica, tada se taj par stanica smatra kritičnim (nema redundancije)
- U slučaju postojanja TACAN stanice duž planirane rute, koji ne udovoljava zahtjevima udaljenosti DME stanica, neće biti objavljeno u AIP-u
- Gdje pokrivenost signalom DME/DME stanica nije stalno, zaštićena površina širiti će se pod kutom od 15^o [32]

[30] Aircraft operations – Volume II Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, ICAO Doc 8168, OPS/611, 5th Edition, 2006, str. 531
[31] Aircraft operations – Volume II Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, ICAO Doc 8168, OPS/611, 5th Edition, 2006, str. 532
[32] Aircraft operations – Volume II Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, ICAO Doc 8168, OPS/611, 5th Edition, 2006, str. 533

Raspon vrijednosti XTT i ATT, i poluširina zaštitnog prostora različitih navigacijskih specifikacija, pri različitim segmentima leta izraženo u nautičkim miljama prikazano je sljedećim tablicama.

Tablica 3. Vrijednosti XTT, ATT i ½ AREA pri RNAV 1

VISINA (stope)	RUTNI SEGMENT SID/STAR (>30NM ARP)			STAR/IF/IAF (<30 NM ARP)			SID (<15 NM APR)			FAF		
	XTT	ATT	½ AREA	XTT	ATT	½ AREA	XTT	ATT	½ AREA	XTT	ATT	½ AREA
15000	1,24	1,13	3,85	1,24	1,13	2,85	1,24	1,13	2,35			
14000	(za sve visine)			1,20	1,10	2,81	1,20	1,10	2,31			
13000				1,17	1,06	2,76	1,17	1,06	2,26			
12000				1,14	1,02	2,71	1,14	1,02	2,21			
11000				1,11	0,99	2,66	1,11	0,99	2,16			
10000				1,07	0,95	2,61	1,07	0,95	2,11	0,98	0,95	1,97
9000				1,04	0,91	2,55	1,04	0,91	2,05	0,94	0,91	1,91
8000				1,00	0,86	2,50	1,00	0,86	2,00	0,90	0,86	1,85
7000				0,96	0,82	2,44	0,96	0,82	1,94	0,86	0,82	1,79
6000				0,92	0,77	2,38	0,92	0,77	1,88	0,81	0,77	1,72
5000				0,88	0,72	2,32	0,88	0,72	1,82	0,76	0,72	1,65
4000				0,83	0,67	2,25	0,83	0,67	1,75	0,71	0,67	1,57
3000-1000				0,79	0,61	2,18	0,79	0,61	1,68	0,66	0,61	1,49

Izvor: **[13]**

Tablica 4. Vrijednosti XTT, ATT i ½ AREA pri RNAV 2

VISINA (stope)	RUTNI SEGMENT SID/STAR (>30NM ARP)			STAR/IF/IAF (<30 NM ARP)			SID (<15 NM APR)			FAF		
	XTT	ATT	½ AREA	XTT	ATT	½ AREA	XTT	ATT	½ AREA	XTT	ATT	½ AREA
15000	1,51	1,13	4,26	1,51	1,13	3,26	1,51	1,13	2,76			
14000	(za sve visine)			1,48	1,10	2,81	1,48	1,10	2,73			
13000				1,46	1,06	2,76	1,46	1,06	2,69			
12000				1,43	1,02	2,71	1,43	1,02	2,65			
11000				1,41	0,99	2,66	1,41	0,99	2,61			
10000				1,38	0,95	2,61	1,38	0,95	2,57	N/A	N/A	N/A
9000				1,35	0,91	2,55	1,35	0,91	2,53	N/A	N/A	N/A
8000				1,32	0,86	2,50	1,32	0,86	2,48	N/A	N/A	N/A
7000				1,29	0,82	2,44	1,29	0,82	2,44	N/A	N/A	N/A
6000				1,26	0,77	2,38	1,26	0,77	2,40	N/A	N/A	N/A
5000				1,23	0,72	2,32	1,23	0,72	2,35	N/A	N/A	N/A
4000				1,20	0,67	2,25	1,20	0,67	2,30	N/A	N/A	N/A
3000-1000				1,17	0,61	2,18	1,17	0,61	2,26	N/A	N/A	N/A

Izvor: **[13]**

Tablica 5. Vrijednosti XTT, ATT i ½ AREA pri RNAV 5

RUTNI SEGMENT/SID/STAR		
XTT	ATT	½ AREA
(za sve visine)		
3,30	2,15	6,95

Izvor: **[13]**

4.2.2. VOR/DME

Sljedeća navigacija odvija se pod pokrivenošću signalom VOR/DME zemaljskih stanica, pritom se ovaj način određivanja pozicije koristi u RNAV 5 operacijama u kontinentalnim rutnim segmentima. Sljedeći uvjeti moraju biti zadovoljeni kako bi se navigacija odvijala na siguran način:

- Koordinate stanice VOR/DME odgovaraju WGS-84 elipsoidu, pri čemu je elevacija stanice izražena u AMSL
- Navigacijska oprema zrakoplova odgovara zahtjevima RNAV 5 specifikacija
- Zemaljska navigacijska oprema odgovara zahtjevima ICAO Annex 10
- Pokrivenost rute signalom barem jedne VOR/DME referentne stanice unutar 60 NM od zrakoplova, ukoliko se radi o Doppler VOR-u, udaljenost se povećava na 75 NM[33]

Zahtijevana preciznost VOR/DME zemaljske stanice može se izraziti kao 2σ (95%) granice pouzdanosti, pritom ovisi o:

- Toleranciji zrakoplovnih navigacijskih sustava
- Tolerancija za pogrešku upravljanja zrakoplovom (engl. *Flight Technical Tolerance* - FTT)
- Tolerancija obrade podataka
- Udaljenost od referentne stanice

Osim preciznosti same zemaljske stanice, potrebno je istaknuti i preciznost sustava, odnosno dozvoljena odstupanja kod VOR stanice koja iznosi ±4.5º, dok je preciznost kod DME stanice izražena formulom:

$$2\sigma = 2\sqrt{\sigma_{1,air}^2 + \sigma_{1,sis}^2} \tag{9}$$

Gdje je:

- σ_{sis} = 0.05 NM
- σ_{air} = Max {0.085 NM, 0,125% udaljenosti}[34]

FTE odgovara vrijednostima u Tablica 1. Vrijednosti FTE, dok je tolerancija obrade podataka sustava jednaka 0.25 NM. Poluširina zaštitne površine prikazana je formulom (3), a ATT i XTT opisuju se formulama:

$$XTT = \sqrt{VT^2 + DT^2 + FTT^2 + ST^2} \tag{10}$$

$$ATT = \sqrt{AVT^2 + ADT^2 + ST^2} \tag{11}$$

[33] Aircraft operations – Volume II Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, ICAO Doc 8168, OPS/611, 5th Edition, 2006, str. 545
[34] Aircraft operations – Volume II Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, ICAO Doc 8168, OPS/611, 5th Edition, 2006, str. 546

Veličine su kako slijedi:

- *D* - udaljenost od referentne zemaljske stanice do točke preletišta
- *D1* - odgovara udaljenosti točke na tangenti, odnosno udaljenost od referentne zemaljske stanice do točke na tangenti
- *D2* - odgovara udaljenosti od točke preletišta do točke na tangenti
- α - odgovara preciznosti VOR stanice, izraženo u stupnjevima
- *DTT* - odgovara preciznosti DME stanice
- θ = arc tan (D2/D1)
- *VT* = D1 – D cos (θ + α)
- *DT* = DTT cos θ
- *AVT* = D2 – D sin (θ – α)
- *ADT* = DTT sin θ[35]

Tablica 6. Vrijednosti XTT, ATT i ½ AREA pri RNAV 5 VOR/DME

D1	D2	0	10	20	30	40	50	60	70	80
0	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
	½AREA	5,8	4,9	4,8	4,9	5,6	6,4	9,3	9,2	9,5
10	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
	½AREA	5,8	6,0	6,5	7,2	8,1	9,0	10,0	11,1	12,2
20	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
	½AREA	5,8	6,0	6,5	7,2	8,1	9,1	10,1	11,1	12,2
30	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
	½AREA	5,8	6,0	6,5	7,3	8,1	9,1	10,1	11,2	12,3
40	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
	½AREA	5,8	6,0	6,5	7,3	8,2	9,1	10,2	11,2	12,3
50	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
	½AREA	5,8	6,0	6,6	7,3	8,2	9,2	10,2	11,3	12,4
60	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
	½AREA	5,8	6,0	6,6	7,4	8,3	9,2	10,3	11,3	12,4

[35] Aircraft operations – Volume II Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, ICAO Doc 8168, OPS/611, 5th Edition, 2006, str. 547

70	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
	½AREA	5,8	6,1	6,6	7,4	8,3	9,3	10,3	11,4	12,4
80	XTT	2,5	2,7	3,1	3,6	4,2	4,8	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
	½AREA	5,8	6,1	6,7	7,4	8,3	9,3	10,3	11,4	12,5

Izvor: **[13]**

4.2.3. Definiranje točka preletišta

Kako bi se mogle odvijati RNAV operacije potrebno je definirati točke preletišta. Tijekom odvijanja operacija konvencionalnim radionavigacijskim rutama točke preletišta unaprijed su određene VOR zemaljskim sredstvima, na kojima spajaju razni zračni putevi, odnosno zračni putevi počinju i završavaju iznad VOR stanice, te one čine mjesta u koja konvergira ili iz kojih divergira određeni broj zračnih puteva.[36] Kao što je ranije opisano, RNAV podrazumijeva letenje na bilo kojim izabranim rutama. Time se omogućava vođenje zrakoplova u prostoru u ovisnosti o navigacijskim sredstvima na zemlji i u zrakoplovu, pritom nije potrebno preletjeti navigacijsko sredstvo na zemlji kako bi se identificiralo, već kombinacijom istih dobivaju se potrebne točke preletišta. Ovisno o točkama preletišta, ona mogu biti točke obaveznog preleta (engl. *fly-over*) ili točke neobaveznog preleta (engl. *fly-by)* ili kombinacija istih. Također točke preletišta su definirane površinama tolerancija, XTT i ATT.

Točke obaveznog preleta podijeljene su u pet segmenata (Slika 4.) i prikazana slijedećim formulama kojima se računa najmanja duljina stabilizacije:

$$L1 = r1 * \sin\theta \tag{12}$$

$$L2 = r1 * \cos\theta * \tan\propto \tag{13}$$

$$L3 = r1 * (\frac{1}{\sin\propto} - \frac{2\cos\theta}{\sin(90°-\propto)}) \tag{14}$$

$$L4 = r2\tan(\frac{\propto}{2}) \tag{15}$$

$$L5 = c * V/3600 \tag{16}$$

Gdje je:

- α – kut presretanja slijedećeg segmenta rute koji iznosi 30º
- θ – kut zaokreta
- c – vrijeme postizanja kuta nagiba u trajanju 10 sekundi

[36] D. Novak, Zrakoplovna prostorna navigacija, 2015., str. 8

- *r1* – radijus zaokreta prema novom segmentu rute (engl. *roll- in radius*)
- *r2* – radijus zaokreta prilikom vraćanja na novi segment rute (engl. *roll-out radius*)

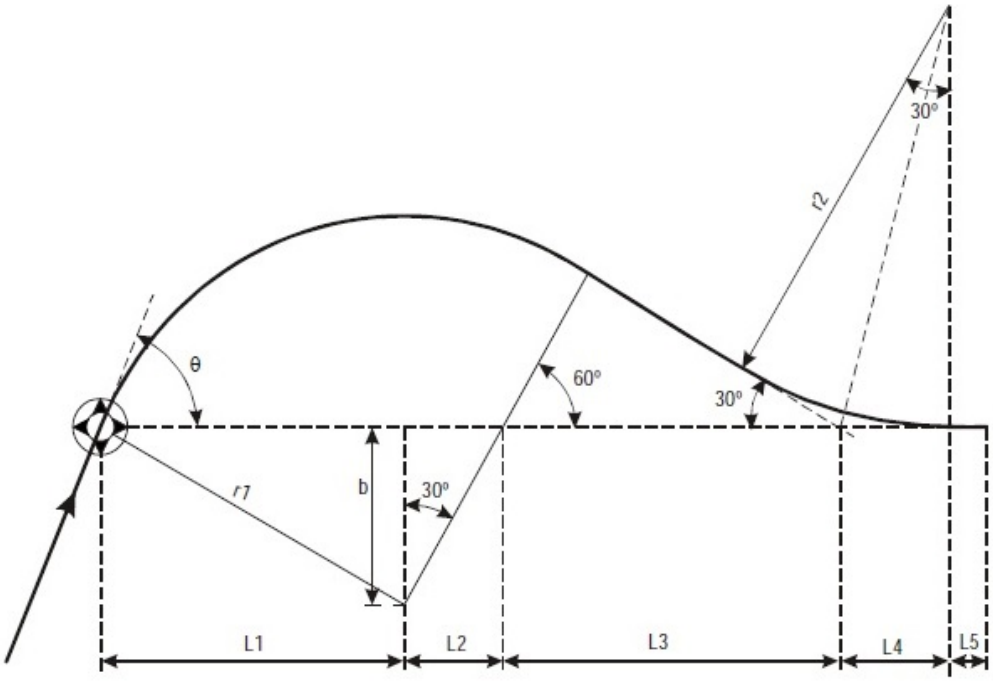
Točke neobaveznog preleta podijeljene su u dva segmenta čije formule slijede i prikazano je Slika 5.

$$L1 = r\tan(\frac{\theta}{2}) \tag{17}$$

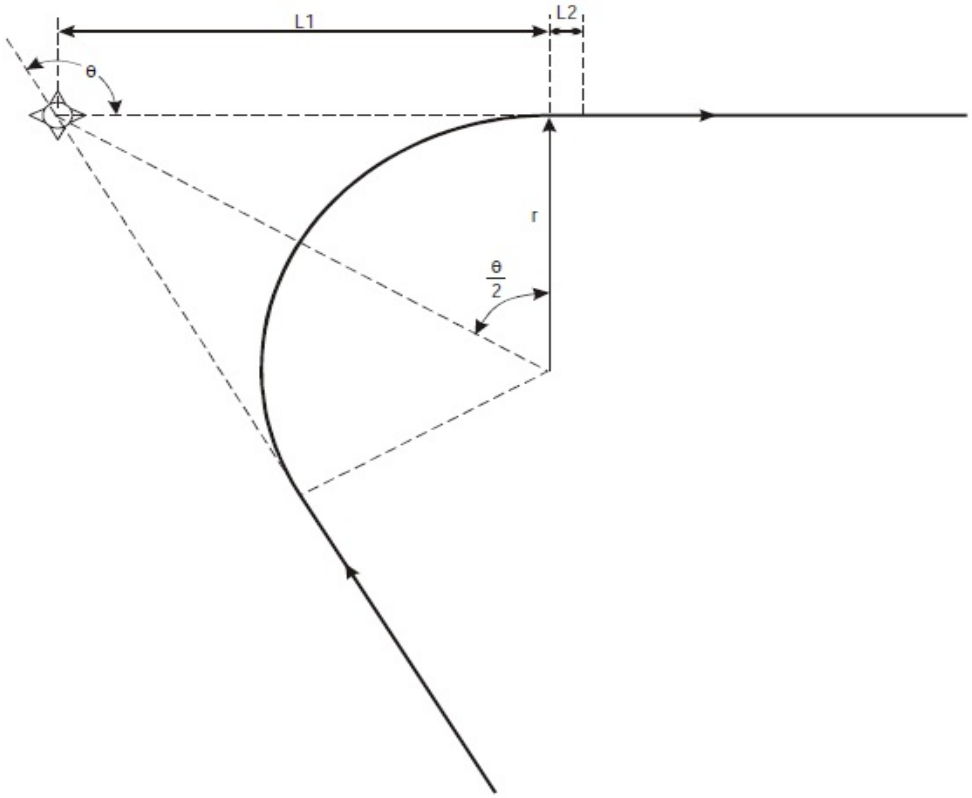
$$L2 = c * V/3600 \tag{18}$$

Gdje su:

- *c* – vrijeme postizanja kuta nagiba u trajanju 5 sekundi
- *r* – radijus zaokreta
- θ – kut zaokreta



Slika 4. Točka obaveznog preleta [13]



Slika 5. Točka neobaveznog preleta [13]

4.3. RNAV i RNP navigacijske specifikacije

Ovisno o namjeravanom letu i pokrivenošću zemaljskim i satelitskim navigacijskim sredstvima razlikuju se RNAV i RNP navigacijske specifikacije. Svaka RNAV i RNP navigacijska specifikacija prolazi kroz postupak odobrenja, odnosno zahtjevi spram procedura su sljedeći:

- Navigacijski sustavi moraju odgovarati zahtjevima RNAV i RNP navigacijskim specifikacijama, te moraju biti dokumentirani
- Operativne procedure navigacijskih sustava koji će se koristiti i navigacijskih baza podataka operatera zrakoplova moraju biti dokumentirani
- Trening letačkog osoblja koji se temelji na operativnim procedurama mora biti dokumentiran
- Dokumenti moraju biti prihvaćeni od strane regulatornih državnih vlasti
- Operativno odobrenje mora se dobiti u skladu s nacionalnim pravilima rada[37]

[37] Performance-Based Navigation (PBN) Manual, ICAO Doc 9613, AN/9613, 3rd Edition, 2008., str. 134

4.3.1. RNAV 10 (RNP 10)

Kako bi se letovi odvijali iznad oceana i udaljenih zračnih prostora, bez zemaljskih sredstava koriste se navigacijske specifikacije RNAV 10. Kod takvih specifikacija razdvajanje iznosi 50 NM lateralno i longitudinalno, jer osim što nema zemaljskih sredstava, nema ni komunikacije, ni nadzora kontrole leta. S obzirom na navedeno, RNAV 10 specifikacije odvijaju se uz slijedeće uvjete sustavnih performansi:

- Preciznost: lateralni TSE unutar granica ± 10 NM 95% ukupnog vremena leta, TSE duž putanje leta unutar ± 10 NM 95% ukupnog vremena leta, pritom je u preciznosti dominantna greška pozicijska navigacijska greška
- Cjelovitost: neispravna navigacijska oprema zrakoplova smatra se stanjem velike greške
- Neprekidnost: gubitak navigacijske sposobnosti smatra se stanjem velike greške, kako bi se zadovoljio uvjet neprekidnosti potrebna su dva nezavisna LRNS-a ugrađena u zrakoplovu
- Signal u svemiru (engl. *signal-in-space*): tijekom korištenja GNSS-a, navigacijska oprema zrakoplova pružit će upozorenje ako vjerojatnost greške signala u svemiru premašuje 10^{-7}/h i uzrokuje lateralnu pozicijsku grešku veću od 20 NM[38]

Kako bi se RNAV 10 odvijao na autoriziranim rutama, zrakoplovi bi trebali imati barem dva nezavisna LRNS-a. LRNS se sastoji od IRS-a, INS-a ili GNSS-a, a ukoliko se let odvija prema GNSS navigaciji, nema ograničenja vremena leta, kao u slučaju inercijskih sustava, kod kojih operater zrakoplova mora osigurati kako će let trajati unutar vremena ograničenja. Nužno je napomenuti kako kod inercijskih sustava prije prelaska na autorizirane rute potrebno je odrediti točnu poziciju koristeći zemaljske navigacijske sustave, pritom se utvrđuje i točnost pokazivanja navigacijskih sustava zrakoplova.[39] RNAV 10 također je autoriziran kao i RNP 10.

4.3.2. RNAV 5

RNAV 5 navigacijske specifikacije autorizirane su za rutne segmente leta, pri čemu 95% ukupnog vremena leta mora biti unutar lateralnih ograničenja koji iznose 5 NM. Ukoliko se izgubi navigacijska RNAV sposobnost potrebno je omogućiti nastavak leta prema drugoj navigacijskoj specifikaciji. RNAV 5 odvija se na rutama unutar pokrivanja referentnih zemaljskih (DME/DME, VOR/DME) ili satelitskih navigacijskih sredstava (GNSS) ili unutar

[38] Performance-Based Navigation (PBN) Manual, ICAO Doc 9613, AN/9613, 3rd Edition, 2008., str. 137-138
[39] Performance-Based Navigation (PBN) Manual, ICAO Doc 9613, AN/9613, 3rd Edition, 2008., str. 141

ograničenja sposobnosti samostalnih navigacijskih sustava zrakoplova (INS ili IRS), ili kombinacije istih.[40] Koristeći navedene metode moguće je točno i automatski odrediti poziciju zrakoplova u horizontalnoj ravnini. Ovisno o gustoći prometa i opterećenju ATS-a razdvajaju se i rute. Tako je razdvajanje pri velikoj gustoći prometa između ruta RNAV 5 i RNAV 5, i RNAV 5 i konvencionalnih ruta 30 NM, dok razdvajanje pri maloj gustoći prometa iznosi 16,5 NM pri prometu u istom smjeru, kod prometa u različitim smjerovima razdvajanje ruta iznosi 18 NM.

Uvjeti zrakoplovnih performansi sustava za RNAV 5 specifikacije:

- Preciznost: lateralni TSE unutar granica ± 5 NM 95% ukupnog vremena leta, TSE duž putanje leta unutar ± 5 NM 95% ukupnog vremena leta
- Cjelovitost: neispravna navigacijska oprema zrakoplova smatra se stanjem velike greške
- Neprekidnost: gubitak navigacijske sposobnosti smatra se stanjem male greške, ukoliko se let može nastaviti koristeći se drugim navigacijskim sustavom
- Signal u svemiru: tijekom korištenja GNSS-a, navigacijska oprema zrakoplova pružit će upozorenje ako vjerojatnost greške signala u svemiru premašuje 10^{-7}/h, i pritom uzrokuje lateralnu pozicijsku grešku veću od 10 NM[41]

Tablica 7. Vrijednosti XTT, ATT i 1/2 AREA RNAV 5

RUTNI SEGMENT (<30 NM od ARP)		
XTT	ATT	½ AREA
2,51 NM	2,01 NM	5,77 NM

Izvor: **[13]**

Zrakoplovni navigacijski sustavi koji kao glavnu navigacijsku opremu koriste INS/IRS imaju nekoliko ograničenja od kojih je najznačajnije vremensko ograničenje, pritom ako nema automatsko ažuriranje pozicije INS/IRS mogu se koristiti samo 2 sata od zadnjeg ažuriranja pozicije. Ukoliko se za određivanje navigacijske pozicije zrakoplova koristi VOR, referentna stanica mora biti unutar 60 NM za konvencionalan VOR ili 75 NM za Doppler VOR. I ova vrsta navigacije ima ograničenje u vidu propagacije signala, zbog čega se povećava razdvajanje između ruta. Prilikom navigacije GNSS-om cjelovitost bi trebala biti omogućena SBAS GNSS-

[40] Performance-Based Navigation (PBN) Manual, ICAO Doc 9613, AN/9613, 3rd Edition, 2008., str. 153
[41] Performance-Based Navigation (PBN) Manual, ICAO Doc 9613, AN/9613, 3rd Edition, 2008., str. 153-154

om ili RAIM-om ili ekvivalentnim navigacijskim sustavom sa više senzora, pritom bi GPS kao samostalan sustav trebao uključivati i funkcije poput određivanja pseudo udaljenosti i *health word checking*.[42] Osim nabrojanih RNAV 5 specifikacije, odvijaju se i DME navigacijom, odnosno određivanjem navigacijske pozicije zrakoplova korištenjem DME/DME zemaljske opreme. Kako bi se neprekidno mogla prikazati lateralna pozicija zrakoplova u odnosu na putanju leta koriste se prikaznici kao što su radionavigacijski pokazivač odstupanja od radiokursa CDI (engl. *Course Deviation Indicator*) ili elektronički prikaznik horizontalne situacija (E)HSI (engl. *Electronic Horizontal Situatuon Indicator*), čija podjela i puni otklon skale moraju odgovarati RNAV 5 specifikacijama.[43] Osim CDI i (E)HSI prikaznika, koristi se i navigacijska karta na kojoj je moguće prikazati udaljenost i azimut prema aktivnoj točki preletišta. Osim nabrojanih, instrumenti bi trebali biti u stanju prikazati i zemaljsku brzinu leta, te aktivne točke preletišta. Kako bi se tokom letenja održavala središnjica rute, prikaznici kao CDI i (E)HSI koriste se zajedno sa autopilotom ili upraviteljom leta (*flight director*), pritom lateralna greška trebala bi iznositi ½ autorizirane lateralne tolerancije.

4.3.3. RNAV 1 i RNAV 2

Navigacijska specifikacija koja pruža mogućnost instrumentalnog prilaženja navigacijskim specifikacijama RNAV, preko zemaljskih i satelitskih sredstava označene su kao RNAV 1 i RNAV 2. Osim procedura prilaženja (STAR samo do FAF), ova vrsta specifikacija pruža i navigaciju na rutama, te instrumentalnim odlascima (SID). Ovisno o vrsti navigacijskih sredstava koji se koriste tokom procedura, one mogu biti GNSS, DME/DME i DME/DME/IRU.

Kako bi se RNAV 1 i RNAV 2 mogli odvijati, sljedeći uvjeti moraju biti ispunjeni:

- Preciznost: RNAV 1 rute lateralni TSE unutar granica ± 1 NM 95% ukupnog vremena leta, TSE duž putanje leta unutar ± 1 NM 95% ukupnog vremena leta, dok je za RNAV 2 rute lateralni TSE unutar granica ± 2 NM 95% ukupnog vremena leta, TSE duž putanje leta unutar ± 2 NM 95% ukupnog vremena leta
- Cjelovitost: neispravna navigacijska oprema zrakoplova smatra se stanjem velike greške
- Neprekidnost: gubitak navigacijske sposobnosti smatra se stanjem male greške, ukoliko se let može nastaviti koristeći druge navigacijske sustave

[42] Performance-Based Navigation (PBN) Manual, ICAO Doc 9613, AN/9613, 3rd Edition, 2008., str. 155
[43] Performance-Based Navigation (PBN) Manual, ICAO Doc 9613, AN/9613, 3rd Edition, 2008., str. 155

- Signal u svemiru: tijekom korištenja GNSS-a pri specifikaciji RNAV 1, navigacijska oprema zrakoplova pružit će upozorenje ako vjerojatnost greške signala u svemiru premašuje 10^{-7}/h, i pritom uzrokuje lateralnu pozicijsku grešku veću od 2 NM, dok je kod RNAV 2 vjerojatnost jednaka kao i kod RNAV 1, ali je u ovom slučaju lateralna pozicijska greška veća od 4 NM[44]

Tablica 8. Vrijednosti XTT, ATT i 1/2 AREA pri RNAV 1 i RNAV 2

RUTNI SEGMENT/STAR/SID (>30 NM OD ARP)			STAR/IF/IAF/SID (<30 NM OD ARP)			SID (<15 NM OD ARP)		
XTT	ATT	½ A/W	XTT	ATT	½ A/W	XTT	ATT	½ A/W
2 NM	1,6 NM	5 NM	1 NM	0,8 NM	2,5 NM	1 NM	0,8 NM	2 NM

Izvor: **[13]**

Nakon nabrojanih uvjeta sistemskih performansi, ukoliko se navigacija odvija preko GNSS-a, RAIM funkcija bi trebala biti dostupna, ako se navigacija odvija preko IRS-a, točna pozicija zrakoplova trebala bi se odrediti preko VOR/DME zemaljskih sredstava. DME navigacijsko sredstvo koristi se ukoliko je zrakoplov između 3 i 160 NM od referentnog sredstva, u slučaju slabog primitka signala, navigacija se odvija samo preko GNSS-a.

4.3.4. RNP 4

Pružanje upozorenja tijekom leta na oceanskim rutama i rutama u udaljenim zračnim prostorima odvijaju se pod navigacijskom specifikacijom RNP 4. Kako se letovi odvijaju na udaljenim područjima, zemaljska navigacijska sredstva se ne koriste, primarno navigacijsko sredstvo je GNSS te su uvjeti razdvajanja 30 NM lateralno i longitudinalno. Sistemski uvjeti koji moraju biti zadovoljeni prilikom odvijanja operacija u RNP 4:

- Preciznost: lateralni TSE unutar granica $\pm$ 4 NM 95% ukupnog vremena leta, TSE duž putanje leta unutar $\pm$ 4 NM 95% ukupnog vremena leta,
- Cjelovitost: neispravna navigacijska oprema zrakoplova smatra se stanjem velike greške
- Neprekidnost: gubitak navigacijske sposobnosti smatra se stanjem velike greške, pritom se uvjet neprekidnosti zadovoljava ukoliko se koriste dva nezavisna LRNS-a

[44] Performance-Based Navigation (PBN) Manual, ICAO Doc 9613, AN/9613, 3rd Edition, 2008., str. 172

- Nadgledanje sustava i upozorenja: u slučaju kada preciznost nije zadovoljena sustav će poslati upozorenje, ili ako je vjerojatnost lateralnog TSE veća od 10^{-5} i uzrokuje pozicijsku grešku veću od 8 NM
- Signal u svemiru: tijekom korištenja GNSS-a pri specifikaciji RNP 4, navigacijska oprema zrakoplova pružiti će upozorenje ako vjerojatnost greške signala u svemiru premašuje 10^{-7}/h, i pritom uzrokuje lateralnu pozicijsku grešku veću od 8 NM[45]

Tablica 9. Vrijednosti XTT, ATT i 1/2 AREA pri RNP 4

RUTNI SEGMENT

(>30 NM od ARP)

XTT	4 NM
ATT	3,20 NM
½ AREA	8 NM

Izvor: **[13]**

Kako bi se let mogao odvijati na RNP 4 rutama, indikacija lateralne pozicije prikazana je na instrumentima kao CDI ili (E)HSI, pri čemu puni otklon skale odgovara navigacijskoj specifikaciji, u ovom slučaju ±4 NM. Lateralna greška bi u ovom slučaju, pritom koristeći upravitelja leta ili autopilot, trebala odgovarati ½ navigacijske preciznosti RNP 4.

4.3.5. Basic RNP-1

Basic RNP-1 koristi se za rutne segmente, poglavito povezivanje između rutnog segmenta leta i terminalnog zračnog prostora (TMA), s ili limitiranim nadzorom ATS-a, male ili srednje gustoće prometa, upotrebom GNSS-a s RAIM funkcijom kao primarnim navigacijskim sredstvom određuje se lateralna pozicija zrakoplova.[46] Uvjeti sistemskih performansi tijekom BASIC-RNP 1 operacija:

- Preciznost: lateralni TSE unutar granica ± 1 NM 95% ukupnog vremena leta, TSE duž putanje leta unutar ± 1 NM 95% ukupnog vremena leta, kako bi se zadovoljila ova preciznost 95% FTE ne bi trebao premašiti vrijednost od 0,5 NM

[45] Performance-Based Navigation (PBN) Manual, ICAO Doc 9613, AN/9613, 3rd Edition, 2008., str. 201
[46] Performance-Based Navigation (PBN) Manual, ICAO Doc 9613, AN/9613, 3rd Edition, 2008., str. 213

- Cjelovitost: neispravna navigacijska oprema zrakoplova smatra se stanjem velike greške
- Neprekidnost: gubitak navigacijske sposobnosti smatra se stanjem male greške, ukoliko se let može nastaviti koristeći druge navigacijske sustave
- Nadgledanje sustava i upozorenja: u slučaju kada preciznost nije zadovoljena sustav će poslati upozorenje, ili ako je vjerojatnost lateralnog TSE veća od 10^{-5} i uzrokuje pozicijsku grešku veću od 2 NM
- Signal u svemiru: tijekom korištenja GNSS-a pri specifikaciji BASIC-RNP 1, navigacijska oprema zrakoplova pružit će upozorenje ako vjerojatnost greške signala u svemiru premašuje 10^{-7}/h, i pritom uzrokuje lateralnu pozicijsku grešku veću od 2 NM[47]

BASIC-RNP 1 navigacijske specifikacije koriste se i prilikom procedura instrumentalnog odlaženja, pritom navigacijska baza podataka mora biti ažurirana. Također, mora biti potvrđeno da su točan aerodrom i uzletno-sletna staza učitane u navigacijski sustav, zajedno s odlaznom procedurom. Kako bi se na prikaznicima kao što su CDI i EHSI mogla odrediti lateralna pozicija zrakoplova, prilikom polijetanja, ne kasnije nakon 500 stopa iznad elevacije aerodroma, BASIC-RNP 1 specifikacija trebala bi biti dostupna.[48]

Tablica 10. Vrijednosti XTT, ATT i 1/2 AREA pri BASIC-RNP 1

STAR/SID (>30 NM od ARP)			STAR/SID (<30 NM od ARP)			SID (<15 NM OD ARP)		
XTT	ATT	½AREA	XTT	ATT	1/2AREA	XTT	ATT	1/2AREA
1 NM	0,8 NM	3,5 NM	1 NM	0,8 NM	2,5 NM	1 NM	0,8 NM	2 NM

Izvor: **[13]**

Osim procedura instrumentalnog odlaženja, BASIC-RNP 1 koristi se i za procedure instrumentalnih prilaženja, gdje također navigacijska baza mora biti ažurirana. Točne procedure prilaza zajedno s dolaznim rutama i uzletno-sletnim stazama moraju biti učitane, pritom su dane informacije o ograničenjima brzine, visine itd.

[47] Performance-Based Navigation (PBN) Manual, ICAO Doc 9613, AN/9613, 3rd Edition, 2008., str. 218
[48] Performance-Based Navigation (PBN) Manual, ICAO Doc 9613, AN/9613, 3rd Edition, 2008., str. 224

4.3.6. RNP APCH

RNP APCH navigacijska specifikacija odvija se uz pomoć GNSS-a kao primarnog navigacijskog sustava, kao samostalni sustav ili kao dio navigacijskoj sustava sa više senzora[49], pri čemu se prilazi za ovu vrstu procedura odvijaju kao pravocrtan instrumentalni prilaz (engl. *straight-in approach*). Iako se za prilaze kao primarno navigacijsko sredstvo koristi GNSS, neuspjelo prilaženje osim GNSS-a može biti određeno konvencionalnim zemaljskim sredstvima (NDB, VOR, DME). Performanse sustava, nadziranje i upozorenje:

- Preciznost: tijekom početnog prilaženja, međuprilaženja i neuspjelog prilaženja lateralni TSE mora biti unutar granica $\pm$ 1 NM 95% ukupnog vremena leta, TSE duž putanje leta mora biti unutar $\pm$ 1 NM 95% ukupnog vremena leta, dok je kod završnog prilaženja lateralni TSE unutar granica $\pm$ 0,3 NM 95% ukupnog vremena leta, a TSE duž putanje leta unutar $\pm$ 0,3 NM 95% ukupnog vremena leta, kako bi se zadovoljila ova preciznost prilikom početnog prilaženja i međuprilaženja 95% FTE ne bi trebao premašiti vrijednost od 0,5 NM, dok kod završnog prilaženja 95% FTE ne bi trebao premašiti vrijednost 0,25 NM
- Cjelovitost: neispravna navigacijska oprema zrakoplova smatra se stanjem velike greške
- Neprekidnost: gubitak navigacijske sposobnosti smatra se stanjem male greške, ukoliko se let može nastaviti koristeći druge navigacijske sustave
- Nadgledanje sustava i upozorenja: tijekom početnog prilaženja, međuprilaženja i neuspjelog prilaženja u slučaju kada preciznost nije zadovoljena sustav će poslati upozorenje, ili ako je vjerojatnost lateralnog TSE veća od 10^{-5} i uzrokuje pozicijsku grešku veću od 2 NM, dok će sustav poslati upozorenje tijekom završnog prilaženja kada preciznost nije zadovoljena, ili pri istoj vjerojatnosti kada je pozicijska greška veća 0,6 NM
- Signal u svemiru: tijekom korištenja GNSS-a pri specifikacijama BASIC-RNP 1, navigacijska oprema zrakoplova pružiti će upozorenje ako vjerojatnost greške signala u svemiru premašuje 10^{-7}/h, i pritom uzrokuje lateralnu pozicijsku grešku veću od 2 NM[50]

[49] Performance-Based Navigation (PBN) Manual, ICAO Doc 9613, AN/9613, 3rd Edition, 2008., str. 231
[50] Performance-Based Navigation (PBN) Manual, ICAO Doc 9613, AN/9613, 3rd Edition, 2008., str. 236

Tablica 11. Vrijednost XTT, ATT i ½ AREA pri RNP APCH

IF/IAF/NEUSPJELO PRILAŽENJE (<30 NM od ARP)			FAF			MAPt			NEUSPJELO PRILAŽENJE (<15 NM od ARP)		
XTT	ATT	½ AREA	XTT	ATT	½ AREA	XTT	ATT	½ AREA	XTT	ATT	½ AREA
1	0,8	2,5	0,3	0,24	1,45	0,3	0,24	0,95	1	0,8	2

Izvor: **[13]**

Tijekom leta lateralna devijacija određuje se preko prikaznika CDI/EHSI, gdje puni otklon skale odgovara navigacijskoj preciznosti specifikacije. Prije dolaska na IAF, potrebno je potvrditi dolazne procedure i uzletno-sletnu stazu. Ukoliko se koristi barometarski VNAV za vertikalnu putanju leta tijekom završnog prilaženja, devijacija ispod i iznad VNAV putanje ne smije prelaziti vrijednosti +100/-50 stopa.[51]

4.3.7. RNP AR APCH

Prilazi za slijetanje tijekom specifikacije RNP AR APCH odvijaju se samo uz GNSS kao primarno navigacijsko sredstvo, „u područjima gdje postoje smetnje signala DME/DME može se koristiti kao rezervno navigacijsko sredstvo ukoliko infrastruktura udovoljava zahtjevima performansi.[52] Kako bi se RNP AR APCH specifikacije mogle odvijati, sljedeći zahtjevi navigacijskih sustava moraju biti udovoljeni:

- Definicija putanje: performanse sustava zrakoplova utvrđene su prema putanji definiranoj u objavljenim procedurama
- Lateralna preciznost: lateralna navigacijska greška mora biti unutar prihvatljive vrijednosti preciznost (0,1 do 0,3 NM) 95% ukupnog vremena leta, pritom su u grešku uključena pozicijska greška, FTE, PDE i greška prikaznika, također pozicijska greška duž putanje leta mora biti unutar prihvatljive vrijednosti preciznosti 95% ukupnog vremena leta

[51] Performance-Based Navigation (PBN) Manual, ICAO Doc 9613, AN/9613, 3rd Edition, 2008., str. 242
[52] Performance-Based Navigation (PBN) Manual, ICAO Doc 9613, AN/9613, 3rd Edition, 2008., str. 247

- Vertikalna preciznost: uključuje i grešku visinomjera (ISA uvjeti), utjecaj greške duž putanje leta, grešku obrade podataka sustava, grešku razlučivosti podataka i tehničke greške tokom leta, odnosno pogreške određivanja visine tijekom prilaženja uzimaju se unutar 99,7% vrijednosti
- Nadgledanje sustava: kritična komponenta RNP-a su zahtjevi RNP-a za slijetanje, sposobnost zrakoplovnih navigacijskih sustava da prate ostvarene navigacijske performanse i da identificiraju ako su operativni zahtjevi ispunjeni tijekom leta
- Kriteriji GPS-a: preciznost GPS senzora bolja od 36 m (119 stopa), dok je kod sustava nadopune preciznost bolja od 2 m (7 stopa), 95% ukupnog vremena leta, u slučaju otkaza GPS-a ili granične geometrije GPS satelita (HIL odgovara vrijednosti HAL), vjerojatnost da zrakoplov ostane u području nadvisivanja prepreka tijekom procedure mora biti veća od 95% (lateralno i vertikalno)
- Kriteriji IRS-a: mora udovoljiti zahtjevima 2NM otklona po satu za letove trajanja do 10 sati, 95% ukupnog trajanja vremena leta
- Kriteriji DME sredstva: na ne-autoriziranim rutama DME/DME može se koristiti kao rekurzivno sredstvo tijekom prilaženja ili neuspjelog prilaženja kada sustav udovoljava navigacijskoj preciznosti
- Kriteriji VOR sredstva: koristi se samo za početno prilaženje
- Sustav kompenzacije temperature: kako bi se završni prilaz mogao odviti u slučaju različite temperature u odnosu na objavljene granične temperature dizajna procedure[53]

[53] Performance-Based Navigation (PBN) Manual, ICAO Doc 9613, AN/9613, 3rd Edition, 2008., str. 253, 254, 255

5. Postupci prilaženja s vođenjem u vertikalnoj ravnini

Prilaženje za slijetanje kompleksan je segment leta, na koji utječe puno uvjeta, ovisno o tome je li prilaz precizan ili neprecizan. Tijekom prilaženja u kojima se koristi satelitska navigacija, postupci su klasificirani kao postupci prilaženja s vertikalnim navođenjem APV (engl. *Approach Procedures with Vertical guidance*). APV sastoji se od vođenja u vertikalnoj ravnini VNAV (engl. *Vertical NAVigation*) i vođenja u horizontalnoj ravnini LNAV (engl. *Lateral NAVigation*).[54]

5.1. Navigacija prema tlaku zraka u vertikalnoj ravnini Baro-VNAV

Ukoliko se vođenje u vertikalnoj ravnini izvodi uz podršku Baro-VNAV procedura, koristi se barometarski visinomjer. Baro-VNAV procedure koriste se samo uz LNAV procedure, pri čemu se FAF i MAPt koriste za opisivanje površina i nisu dio VNAV procedure. Konstrukcija Baro-VNAV procedura temelji se na:

- Određivanju kuta putanje prilaženja VPA (engl. *Vertical Path Guidance*) i površine završnog prilaženja FAS (engl. *Final Approach Surface*)
- Konstrukcija površine procjene prepreka u konstrukciji APV procedure prilaženja APV-OAS (engl. *APV-Obstacle Assessment Surface*)
- Kalkulacija OCA/H u odnosu na prepreke koje prolaze kroz APV-OAS, ukoliko ne postoje prepreke tijekom prilaženja ili neuspjelog prilaženja OCA/H iznosi 75 metara ukoliko su definirane unutarnja, unutarnja prijelazna površina i površina neuspjelog prilaženja, te ako nema prepreka koje prolaze kroz te površine, u suprotnom iznosi 90 metara[55]

APV segment Baro-VNAV poravnat je sa produljenom središnjom osi uzletno-sletne staze i sadrži segment završnog prilaženja za slijetanje, početni segment, međusegment i završni segment neuspjelog prilaženja. APV-OAS počinje na FAP koji se nalazi ne sjecištu vertikalne putanje i najmanje visine određene za prethodni segment. FAP u ovom slučaju ne bi trebao

[54] D. Novak, Zrakoplovna prostorna navigacija, 2015., str. 170
[55] Aircraft operations – Volume II Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, ICAO Doc 8168, OPS/611, 5th Edition, 2006, str. 657

prelaziti duljinu od 10 NM od praga uzletno-sletne staze. APV-OAS završava na MAHF ili MATF, koji je prije.[56]

Početak FAS-a nalazi se na razini praga uzletno-sletne staze, i to na udaljenosti koja je jednaka udaljenosti točke u kojoj vertikalna putanja presijeca minimalnu visinu nadvisivanja prepreka iznad praga uzletno-sletne staze, na čiju se udaljenost dodaje vrijednost ATT od 444 metara. Unutarnje granice određene su granicama LNAV primarne površine na visini početka segmenta završnog prilaženja i vanjskim granicama sekundarne površine na visini minimalnog nadvisivanja prepreka tijekom prilaženja.[57]

Kako bi se točno odredila površina završnog prilaženja u kalkulaciji je potrebno odrediti točnu temperaturu, pri tome vrijede slijedeći uvjeti:

- Odrediti najnižu temperaturu, koja se zaokružuje na nižih 5ºC
- Proračunati FAS ovisno o temperaturi (ukoliko je FAS manji od 2,5º, objavljeni VPA treba povećati kako bi FAS pri najnižoj temperaturi iznosio 2,5º ili više), prema formuli ()
- Duljina prethodnog segmenta biti će pregledana kako bi se zadovoljio uvjet minimalne udaljenosti prije presijecanja vertikalnom putanjom,

Proračun kuta nagiba površine završnog prilaženja:

$$\tan \propto_{FAS} = \frac{(H_{FAP} - \Delta t - H_{MOC}) \tan \propto_{VPA}}{H_{FAP} - H_{MOC}} \tag{19}$$

Proračun početka površine završnog prilaženja na razini praga uzletno-sletne staze:

$$X_{FAS} = \frac{H_{MOC} - H_{RDH}}{\tan \propto_{VPA}} + ATT \tag{20}$$

Proračun površine završnog prilaženja na udaljenosti (x) u odnosu na prag uzletno-sletne staze:

$$H_{FAS} = (x - X_{FAS}) \tan \propto_{FAS} \tag{21}$$

[56] Aircraft operations – Volume II Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, ICAO Doc 8168, OPS/611, 5th Edition, 2006, str. 658
[57] D. Novak, Zrakoplovna prostorna navigacija, str. 188

Pri čemu je:

- H_{FAP} – visina leta na preletištu završnog prilaženja
- Δt – korekcija temperature, prikazano Tablica 12. Temperaturne korekcije
- H_{MOC} – visina minimalnog nadvisivanja prepreka tijekom završnog prilaženja
- α_{VPA} – kut putanje prilaza
- ATT – tolerancija duž putanje leta[58]

Tablica 12. Temperaturne korekcije

T°C/H(stope)	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
0	55	83	111	139	167	195	223	251	280
-10	96	144	192	240	289	337	387	436	485
-20	139	201	279	350	421	492	563	635	708
-30	186	280	374	469	564	659	755	852	949
-40	237	357	477	580	719	842	965	1088	1212
-50	293	441	590	739	890	1041	1193	1347	1500

Izvor: **[13]**

Neuspjelo prilaženje opisano je slijedećim formulama:

- Međusegment neuspjelog prilaženja, formula (15) :

$$X_{Zi} = \frac{(H_{MOC} - H_{RDH})}{\tan \propto_{VPA}} - ATT - d - X + \frac{(H_{MOC} - 30)}{\tan Z} \quad (22)$$

- Završni segment neuspjelog prilaženja, formula (16):

$$X_{Zi} = \frac{(H_{MOC} - H_{RDH})}{\tan \propto_{VPA}} - ATT - d - X + \frac{(H_{MOC} - 50)}{\tan Z} \quad (23)$$

Gdje je:

- $tan\ Z$ – gradijent penjanja pri neuspjelom prilaženju

Nadvisivanje prepreka definirano je preprekama koje prodiru kroz APV-OAS površine, pritom se dijele na prepreke koje prodiru površine prilaženja i prepreke koje prodiru površine neuspjelog prilaženja. Najmanja visina nadvisivanja prepreka određena je kako slijedi:

[58] D. Novak, Zrakoplovna prostorna navigacija, str. 189

- u završnom prilaženju iznosi 75 metara
- u neuspjelom prilaženju iznosi 30 metara tijekom međusegmenta, ondnosno 50 metara tijekom završnog segmenta neuspjelog prilaženja [59]

Ukoliko prepreke prodiru površine APV-OAS, visina prepreke definirana je formulom:

$$h_a = \frac{h_{ma}\cot Z + (X - X_Z)}{\cot Z + \cot\propto_{VPA}} \tag{24}$$

Gdje su:

- h_a – visina ekvivalentne prilazne prepreke
- h_{ma} – visina prepreke tijekom neuspjelog prilaženja
- Z – kut površine neuspjelog prilaženja
- X_Z – početak površine međusegmenta (Z_i) ili početak površine završnog prilaženja (Z_f)
- X – udaljenost prepreka u odnosu na prag uzletno-sletne staze (negativan ako je nakon praga)[60]

Pritom se (apsolutna) visina nadvisivanja prepreka OCA/H određuje prema formuli:

$$OCA/H = h_a + H_{MOC} \tag{25}$$

5.2. APV I/II procedure

APV I/II procedure temelje se na podacima o visini dobivenim od GNSS uz satelitski sustav dopune (SBAS), odnosno to je postupak u kojem se koristi SBAS koji dodatno povećava točnost i preciznost satelitskog navigacijskog sustava radi preciznijeg horizontalnog i vertikalnog vođenja zrakoplova.[61]

Standardni uvjeti na kojima se temelji procedura APV I/II:

- Maksimalne dimenzije zrakoplova prema Tablica 13. Vertikalna udaljenost putanje stajnog trapa i centra navigacije u odnosu na kategoriju zrakoplova
- Gradijent penjanja tijekom neuspjelog prilaza 2,5%
- Kut putanje poniranja optimalno 3º, najviše 3,5º

[59] Aircraft operations – Volume II Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, ICAO Doc 8168, OPS/611, 5th Edition, 2006, str. 661
[60] Aircraft operations – Volume II Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, ICAO Doc 8168, OPS/611, 5th Edition, 2006, str. 662
[61] D. Novak, Zrakoplovna prostorna navigacija, str. 171

- Referentna visina 15 m (50 stopa)
- Visina prepreka u odnosu na elevaciju praga[62]

Tablica 13. Vertikalna udaljenost putanje stajnog trapa i centra navigacije u odnosu na kategoriju zrakoplova[63]

KATEGORIJA ZRAKOPLOVA	DULJINA KRILA (m)	VERTIKALNA UDALJENOST PUTANJE STAJNOG TRAPA I CENTRA NAVIGACIJE (m)
A, B	60	6
C, D	65	7
D_L	80	8

Izvor: **[13]**

Tijekom procedura instrumentalnog prilaženja SBAS APV kut presretanja između početnog segmenta prilaženja i segmenta međuprilaženja ne bi trebao prelaziti 90º, dok je duljina početnog prilaženja ograničena na 5 NM. Tijekom faze međuprilaženja prijelaz na SBAS proceduru trebao bi se odviti 2 NM prije FAF-a, pritom je segment međuprilaženja u ravnini sa završnim segmentom.[64]

APV segment spada u instrumentalne procedure, poravnat je s uzletno-sletnom stazom i sadržava završno prilaženje, početni segment i međusegment neuspjelog prilaženja. Početak APV segmenta počinje na FAP-u, koji je određen presjecištem nominalne vertikalne putanje i najmanje visine određene prethodnim segmentom.[65] Točka neuspjelog prilaženja definirana je presjecištem nominalne vertikalne putanje i DA/H, s tim da DA/H odgovara visini OCA/H, ili višoj od nje. Završetak segmenta APV određen je točkom završnog segmenta neuspjelog

[62] Aircraft operations – Volume II Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, ICAO Doc 8168, OPS/611, 5th Edition, 2006, str. 673
[63] Aircraft operations – Volume II Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, ICAO Doc 8168, OPS/611, 5th Edition, 2006, str. 672
[64] Aircraft operations – Volume II Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, ICAO Doc 8168, OPS/611, 5th Edition, 2006, str. 673
[65] Aircraft operations – Volume II Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, ICAO Doc 8168, OPS/611, 5th Edition, 2006, str. 674

prilaženja ili gdje poluširina površine penjanja Z tijekom neuspjelog prilaženja iznosi 0,95 NM.[66]

Nadvisivanje prepreka tijekom APV segmenta određeno je površinom procjene prepreka (APV OAS). Tijekom prilaza prepreke mogu prodirati APV OAS, pritom je određena najviša prepreka u prilazu i dodana margini kategorije zrakoplova. Ukoliko se radi o prepreci koja prodire tijekom neuspjelog prilaženja, prilagođena površina prodiranja tijekom neuspjelog prilaženja dodana je margini kategorije zrakoplova kako bi se utvrdila točna OCA/H.

Proračuni nadvisivanja prepreka uključuju utvrđivanje prepreka tijekom prilaženja i neuspjelog prilaženja, pritom ovisno o proceduri APV OAS može se podijeliti na SBAS APV I OAS i SBAS APV II OAS. Nakon utvrđivanja prepreka slijede uvjeti za proračun OCA/H:

- Određivanje visine najviše prepreke tijekom prilaženja
- Smanjivanje visine svih prepreka tijekom neuspjelog prilaženja na visinu ekvivalentnih prilaznih prepreka prema formuli (19)
- Odrediti OCA/H dodavanjem vrijednosti iz Tablica 14. Vrijednosti margina visinomjera i radiovisinomjera u ovisnosti o kategoriji zrakoplova najvišoj prepreci tijekom prilaženja

$$h_a = \frac{h_{ma}\cot Z + (X_E + x)}{\cot Z + \cot\theta} \tag{26}$$

Gdje su:

- h_a – visina ekvivalentne prilazne prepreke
- h_{ma} – visina prepreke tijekom neuspjelog prilaženja
- θ – VPA
- Z – kut površine neuspjelog prilaženja
- x – udaljenost prepreka u odnosu na prag uzletno-sletne staze (negativan ako je nakon praga)
- X_E – 900 + (38/tan θ) za APV I, dok za APV II iznosi 900+(8/tan θ)[67]

[66] Aircraft operations – Volume II Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, ICAO Doc 8168, OPS/611, 5th Edition, 2006, str. 674
[67] Aircraft operations – Volume II Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, ICAO Doc 8168, OPS/611, 5th Edition, 2006, str. 676

Tablica 14. Vrijednosti margina visinomjera i radiovisinomjera u ovisnosti o kategoriji zrakoplova

KATEGORIJA ZRAKOPLOVA (V_{at})	MARGINE RADIO-VISINOMJER	MARGINE VISINOMJERA
	Stope	stope
A - 90 kts	42	130
B – 120 kts	59	142
C – 140 kts	71	150
D – 165 kts	85	161

Izvor: **[13]**

Segment neuspjelog prilaženja počinje točkom neuspjelog prilaženja, definiranom kao presjecištem vertikalne putanje i DA/H. Tijekom pravocrtnog neuspjelog prilaženja APV završava na udaljenosti gdje površina Z doseže poluširinu od 0,95 NM, pritom širina područja završnog segmenta, također iznosi 0,95 NM, i nema sekundarnih površina. Nadvisivanje prepreka definirano je formulom (20):

$$(OCA/H_{APV} - HL) + d_0 \tan Z \tag{27}$$

Gdje su:

- *OCA/H_{APV} i HL* - povezani s istom kategorijom zrakoplova
- *d_0* - mjeren od SOC (engl. *Start Of Climb*) koji je paralelan sa pravocrtnim neuspjelim prilaženjem
- *Z* - je kut mjeren od površine neuspjelog prilaženja do horizontalne ravnine[68]

Ukoliko nije moguć pravocrtni neuspjeli prilaz, razviti će se procedura, odnosno preletište koje u neuspjelom prilaženju označuje početak zaokreta. Pritom se zaokret ne može izvesti kada je to najpraktičnije, zbog sposobnosti prijemnika SBAS, stoga se zaokreti dijele na one koji počinju u APV segmentu i one koji počinju nakon APV segmenta. Ukoliko zaokreti nakon APV segmentu, uvjeti su kako slijede:

- OCA/H je zamijenjen sa ($OCA/H_{APV} – HL$)
- Kako je SOC vezan s OCA/H, nije moguće postići nadvisivanje prepreka prema općenitim uvjetima nezavisnom prilagodbom OCA/H ili MAPt

[68] Aircraft operations – Volume II Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, ICAO Doc 8168, OPS/611, 5th Edition, 2006, str. 677

Ako zaokreti počinju u APV segmentu, dijele se na zaokrete nakon praga uzletno-sletne staze i i zaokrete prije praga uzletno sletne staze. Kada zaokret počinje nakon praga uzletno sletne staze nadvisivanje prepreka definirano je formulom (21):

$$(OCA/H_{APV} - HL) + d_0 \tan Z - MOC \tag{28}$$

Gdje je:

- d_0 = d_z + najmanja udaljenost od prepreka do linije K-K'
- d_z = horizontalna udaljenost od SOC do najranijeg TP-a
- MOC = 50 metara za zaokrete veće od 15º, odnosno 30 metara za zaokrete manje od 15º[69]

U slučaju kada zaokret počinje prije praga uzletno-sletne staze, formula odgovara već danoj formuli (28).

6. Primjer dizajna procedura na aerodromu u Republici Hrvatskoj

Dizajn procedura na aerodromu u Republici Hrvatskoj prikazati će se na aerodromu Osijek, pritom će se za primjer koristiti uzletno-sletna staza 11. Parametri uzletno-sletne staze prikazani su Tablica 15. Podatci o uzletno-sletnoj stazi Dimenzije površina prilaženja proračunate su na osnovu SBAS APV OAS I, i navigacijske specifikacije RNP APCH. Proračuni površina APV OAS I izvršeni su na programu PAN-OPS OAS. Vrijednosti ulaznih podataka programa prikazane su Tablica 16. Vrijednosti ulaznih podataka PAN-OPS

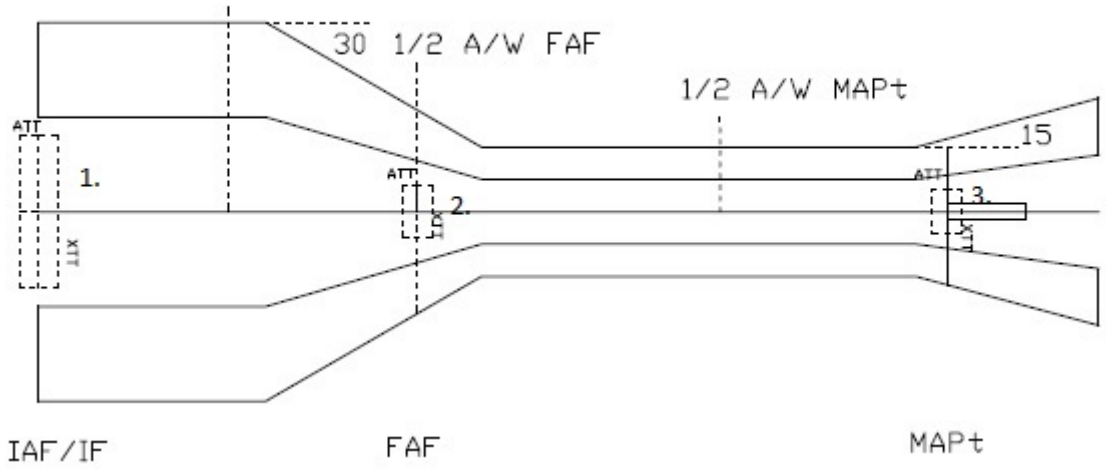
Tablica 15. Podatci o uzletno-sletnoj stazi

Usmjerenje staze	Duljina i širina staze	Visina praga
11	2500 m x 45 m	291 stopa

Izvor: **[15]**

[69] Aircraft operations – Volume II Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, ICAO Doc 8168, OPS/611, 5th Edition, 2006, str. 678

Primjer RNP APCH specifikacije prilaženja prikazana je na Slika 6. RNP APCH prilaz

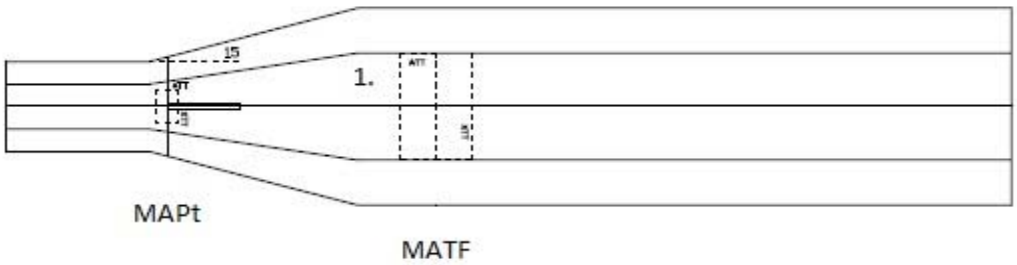


Slika 6. RNP APCH prilaz

Gdje je:

- Točka 1. IAF/IF: ATT 0,8 NM, XTT 1 NM, poluširina zaštitnog prostora 2,5 NM
- Točka 2. FAF: ATT 0,24 NM, XTT 0,3 NM, poluširina zaštitnog prostora 1,45 NM
- Točka 3. MAPt: ATT 0,24 NM, XTT 0,3 NM, poluširina zaštitnog prostora 0,95 NM

Na Slika 7. RNP APCH neuspjelo prilaženje prikazano je neuspjelo prilaženje sa pripadajućim površinama.



Slika 7. RNP APCH neuspjelo prilaženje

Gdje je:

- Točka 1 neuspjelo prilaženje: ATT 0,8 NM, XTT 1 NM, poluširina zaštitnog prostora 2 NM

Kada se opisuju APV-OAS površine, potrebno je definirati koordinatni sustav. Ishodište pravokutnog koordinatnog sustava nalazi se na pragu uzletno sletne staze, pritom je os x paralelna sa putanjom preciznog prilaza, pozitivna os nalazi se prije praga staze, dok je negativna nakon praga staze. Os y nalazi se pod pravim kutom u odnosu na os x, u slučaju proračuna SBAS APV-OAS površina, os y se uvijek smatra pozitivnom. Os z je vertikalna os iznad praga staze, i uvijek je pozitivna.[70] APV-OAS sastoji se od 7 simetrično raspoređenih površina, pri čemu su površine Y i Z lateralno ograničene na duljinu 0,95 NM. Prikaz APV-OAS površina prikazan je na Slika 8. SBAS APV I OASDimenzije površina prikazane su Tablica 17. Koordinate točaka C, D, E, C', D'', E'' (m) Točke C, D i E označavaju koordinate sjecišta spuštajućih površina na razini praga uzletno-sletne staze, dok točka C', D'' i E'' označava koordinate sjecišta na visini 300 metara iznad praga.

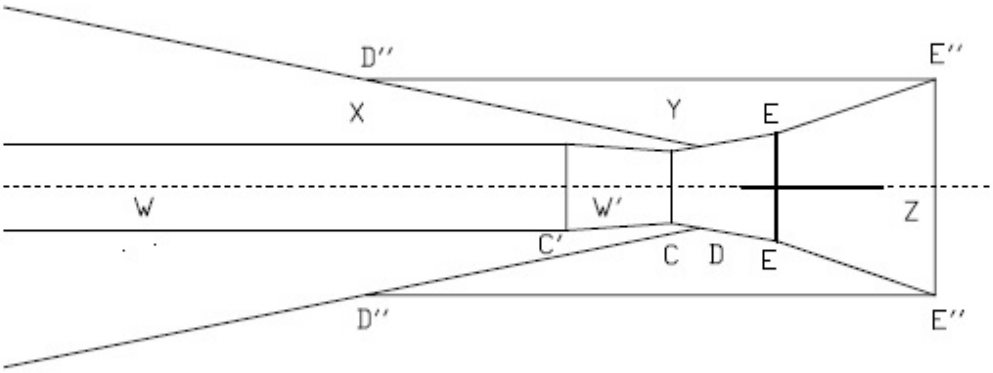
Tablica 16. Vrijednosti ulaznih podataka PAN-OPS OAS

Putanja prilaza /Putanja neuspjelog prilaženja	Referentna visina na pragu	Udaljenost *LOC* od praga staze	Kategorija zrakoplova
3º/3º	15 m	2650	B

Tablica 17. Koordinate točaka C, D, E, C', D'', E'' (m)

	C	**D**	**E**	**C'**	**D''**	**E''**
x	986	439	-1504	2849	6163	-7331
y	155	238	437	282	1051	1852
z	0	0	0	73	300	174

[70] Aircraft operations – Volume II Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, ICAO Doc 8168, OPS/611, 5th Edition, 2006, str. 675



Slika 8. SBAS APV I OAS

Površine spuštanja W, W', X i Z određene su sa 4 linearne jednadžbe prema formuli:

$$z = Ax + By + C \tag{29}$$

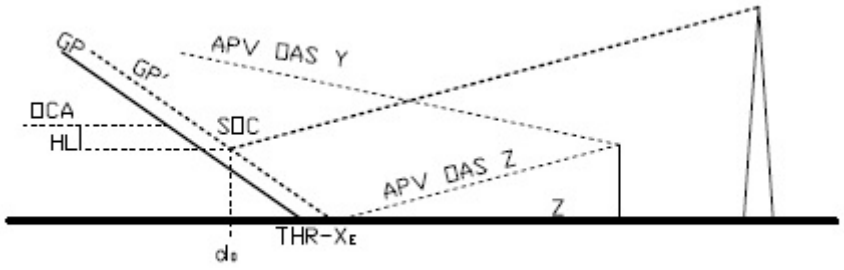
$$Wz = 0{,}0285x - 8{,}01 \tag{30}$$

$$W'z = 0{,}03929x - 38{,}75 \tag{31}$$

$$Xz = 0{,}027051x - 0{,}178350y - 54{,}34 \tag{32}$$

$$Yz = 0{,}021968x - 0{,}214103y - 60{,}62 \tag{33}$$

$$Zz = 0{,}03x - 45{,}13 \tag{34}$$



Slika 9. Nadvisivanje prepreka u neuspjelom prilaženju

Visina odluke kod prilaza procedurom SBAS APV OAS iznosi 250 stopa, dok apsolutna visina oduke iznosi 541 stopa. Nadvisivanje prepreka u neuspjelom prilaženju (Slika 9. Nadvisivanje prepreka u neuspjelom prilaženjuodređeno je točkom SOC, koja se nalazi u ravnini GP, dok je u vertikalnoj ravnini određena razlikom visina OCA/H i HL (za istu kategoriju zrakoplova). OCH kod ovakvih procedura iznosi 250 stopa, dok je OCA 541 stopu.

7. Zaključak

Povećanje operacija u zračnom prometu i zagušenje postojećih ruta, kao i sve veće eksploatacije aerodroma, doveli su do razvoja navigacijskih sredstava, kako zemaljskih, poput VOR i DME, tako i svemirskih GNSS. Razvojem GNSS-a, u ovom slučaju GPS-a i sustava nadopune GPS-a, došlo je do novih metoda navigacije, odnosno prostorne navigacije RNAV. Osim specifikacija RNAV-a razvile su se i druge navigacijske specifikacije, odnosno specifikacije RNP. Ovisno o segmentu leta, postoje različite navigacijske specifikacije sukladno zahtijevanoj lateralnoj toleranciji.

U ovom se radu također opisuje GPS i sustavi nadopune GPS-a, ABAS, GBAS i SBAS. Svaki od tih sustava nadopune doprinosi povećanju točnosti navigacijske pozicije. Nadalje, objašnjene su navigacijske specifikacije PBN koncepta. RNAV navigacijske specifikacije omogućuju operateru zrakoplova „slobodan odabir ruta“ unutar područja gdje je procedura odobrena. S obzirom na podjelu specifikacija na RNAV i RNP, granične lateralne vrijednosti ovise o području pokrivanja zemaljskim i satelitskim navigacijskim sredstvima. Termin koji se često koristi kod RNAV koncepta je i 4D, jer osim navigacije u prostoru, još je i vremenski određen.

SBAS APV relativno je novi način prilaza zrakoplova upotrebom satelitske navigacije i vertikalnim navođenjem. Prednost SBAS sustava dopune je u pokrivanju velikih površina jer se korekcijski signali šalju geostacionarnim satelitima, koji ih zatim odašilju prema površini pokrivanja, poput WAAS i EGNOS. Primjera radi, u SAD-u preko WAAS dopune moguće je odraditi prilaz na oko 3400 aerodroma, i u uvjetima smanjene vidljivosti. Jedna od prednosti ovakve vrste prilaza je u tome što je cijena višestruko manja od GBAS procedura prilaza. GBAS procedure prilaza zahtijevaju popratnu infrastrukturu na aerodromu koja korekcijskim signalima pokriva područje radijusa oko 23 NM.

Smatram da je GNSS budućnost zrakoplovne navigacije i instrumentalnih prilaženja i odlaženja. Samim odabirom rute unutar pokrivanja navigacijskih sredstava smanjuje se trajanje leta, a posljedično i potrošnja goriva. Smanjuje se opterećenje ATS-a, procedure RNAV i RNP fleksibilnije su, i omogućuju veći broj operacija unutar zračnog prostora, čime je on više iskorišten.

Literatura

1. https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/what-gnss (01.08.2019.)
2. D. Novak, Zrakoplovna prostorna navigacija, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2015.
3. B. W. Parkinson, J. J. Spilker Jr, Global Positioning System: Theory and Applications Volume I, Stanford: Stanford University, 1996.
4. https://www.gps.gov/systems/gps/space/ (02.08.2019.)
5. https://shivkumardas.wordpress.com/agri-tech/an-introduction-to-gps-gis-and-its-uses-in-agriculture/ (02.08.2019.)
6. F. van Diggelen, A-GPS: Assisted GPS, GNSS, and SBAS, Boston: Artech House 2009.
7. https://ww1.jeppesen.com/documents/aviation/business/RAIM-Requirements.pdf (10.08.2019.)
8. https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/laas/ (12.08.2019.)
9. https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/laas/howitworks/ (12.08.2019.)
10. https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/waas/ (12.08.2019.)
11. https://www.faa.gov/air_traffic/publications/atpubs/aip_html/part2_enr_section_1.17.html(12.08.2019.)
12. Flight Operations Support & Line Assistance, Blagnac, 2002. https://www.theairlinepilots.com/forumarchive/concepts-procedures/modern-navigation.pdf (15.08.2019.)
13. Aircraft operations – Volume II Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, ICAO Doc 8168, OPS/611, 5th Edition, 2006
14. Performance-Based Navigation (PBN) Manual, ICAO Doc 9613, AN/9613, 3rd Edition, 2008.
15. http://www.crocontrol.hr/UserDocsImages/AIS%20produkti/eAIP/2019-07-19-AIP/html/index-en-HR.html (05.09.2019)
16. https://www.icao.int/safety/airnavigation/OPS/Pages/PANS-OPS-OAS-Software.aspx (05.09.2019.)

Popis slika

Slika 1. Orbite satelita, [4] 3
Slika 2. Prikaz upravljačkog segmenta, [5] 4
Slika 3. Navigacijska specifikacija, [11] 10
Slika 4. Točka obaveznog preleta [13] 20
Slika 5. Točka neobaveznog preleta [13] 21
Slika 6. RNP APCH prilaz 39
Slika 7. RNP APCH neuspjelo prilaženje 39
Slika 8. SBAS APV I OAS 41
Slika 9. Nadvisivanje prepreka u neuspjelom prilaženju 41

Popis tablica

Tablica 1. Vrijednosti FTE 11
Tablica 2. Vrijednosti zaštitnog područja (Buffer Value) 12
Tablica 3. Vrijednosti XTT, ATT i ½ AREA pri RNAV 1 15
Tablica 4. Vrijednosti XTT, ATT i ½ AREA pri RNAV 2 16
Tablica 5. Vrijednosti XTT, ATT i ½ AREA pri RNAV 5 16
Tablica 6. Vrijednosti XTT, ATT i ½ AREA pri RNAV 5 VOR/DME 18
Tablica 7. Vrijednosti XTT, ATT i 1/2 AREA RNAV 5 23
Tablica 8. Vrijednosti XTT, ATT i 1/2 AREA pri RNAV 1 i RNAV 2 25
Tablica 9. Vrijednosti XTT, ATT i 1/2 AREA pri RNP 4 26
Tablica 10. Vrijednosti XTT, ATT i 1/2 AREA pri BASIC-RNP 1 27
Tablica 11. Vrijednost XTT, ATT i ½ AREA pri RNP APCH 29
Tablica 12. Temperaturne korekcije 33
Tablica 13. Vertikalna udaljenost putanje stajnog trapa i centra navigacije u odnosu na kategoriju zrakoplova 35
Tablica 14. Vrijednosti margina visinomjera i radiovisinomjera u ovisnosti o kategoriji zrakoplova 37
Tablica 15. Podatci o uzletno-sletnoj stazi 38
Tablica 16. Vrijednosti ulaznih podataka PAN-OPS OAS 40
Tablica 17. Koordinate točaka C, D, E, C', D'', E'' (m) 40

Popis kratica

ABAS – zrakoplovni sustav dopune

AMSL – iznad srednje razine mora

APV – postupci prilaženja s vođenjem u vertikalnoj ravnini

APV OAS – površine procjene prepreka u konstrukciji APV procedure prilaženja

ATT – uzdužna vrijednost dopuštenog odstupanja pri određivanju putne točke ili preletišta

C/A – kod za pozicioniranje standardnom razinom točnosti

CDI – radionavigacijski pokazivač odstupanja od radiokursa

DME – oprema za mjerenje udaljenosti

EHSI – elektronički prikaznik horizontalne situacije

FD(E) – računalni algoritam zrakoplovnog sustava dopune

FTE – tehnička pogreška tijekom leta

FTT – tolerancija na pogrešku upravljanja zrakoplovom

GBAS – zemaljski sustav dopune

GNSS – globalni navigacijski satelitski sustavi

GPS – globalni pozicijski sustav

IRU/INS – inercijski navigacijski sustav

OCA/H – (apsolutna) visina nadvisivanja prepreka

P(Y) – kod za pozicioniranje većom razinom točnosti

PBN – koncept navigacije bazirane na performansama

PRN – pseudoslučajni kod

RNAV – prostorna navigacija

RNP – navigacijske specifikacije PBN koncepta

SBAS – satelitski sustav dopune

TSE – ukupna sistemska pogreška

VOR – visokofrekvencijski (VHF) svesmjerni radiofarovi

XTT – poprečna vrijednost dopuštenog odstupanja pri određivanju putne točke ili preletišta

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 **Dizajn navigacijskih procedura prilaženja metodom satelitske navigacije** na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 12/09/2019

Student/ica:

(potpis)