Analiza mogućnosti implementacije GLS-a na zračnoj luci Split

Hrga, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

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:119:992140

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Luka Hrga

ANALIZA MOGUĆNOSTI IMPLEMENTACIJE GLS-A NA ZRAČNOJ LUCI SPLIT

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 20. travnja 2016.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 3647

Pristupnik: **Luka Hrga (0135233932)**
Studij: Aeronautika
Smjer: Pilot
Usmjerenje: Civilni pilot

Zadatak: **Analiza mogućnosti implementacije GLS-a na zračnoj luci Split**

Opis zadatka:

U radu je potrebno opisati postojeće globalne navigacijske satelitske sustave te analizirati njihove mogućnosti u usporedbi sa zahtijevanim navigacijskim performansama u zrakoplovstvu. Potrebno je potom opisati tehničke karakteristike i specifičnosti rada GLS-a te u odnosu na njih napraviti analizu mogućnosti implementacije takvog sustava na aerodromu u Splitu. Potrebno je navesti koja je korist, a koji su nedostatci uvođenja GLS-a.

Zadatak uručen pristupniku: 4. ožujka 2016.

Mentor:

dr. sc. Tomislav Radišić

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet Prometnih Znanosti

ZAVRŠNI RAD

ANALIZA MOGUĆNOSTI IMPLEMENTACIJE GLS-A NA ZRAČNOJ LUCI SPLIT
ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF IMPLEMENTATION OF GLS TO AIRPORT SPLIT

Mentor: dr. sc. Tomislav Radišić

Student: Luka Hrga

JMBAG: 0135233932

Zagreb, lipanj 2016.

Sažetak

U završnom radu opisat će se načelo rada, koncept i izgled strukture GPS sustava. Također će se opisivati koje su to zahtijevane performanse koje definiraju sustav pozicioniranja te koja su poboljšanja GPS sustava. Poboljšanja će biti prikazana kroz tekst, ali i kroz slikovit prikaz. GBAS poboljšanje definirati će se i objasniti detaljnije. Prikazat će se kroz niz tablica tehničke specifikacije GBAS poboljšanja, struktura i performanse tog sustava. Na kraju završnog rada prikazat će se zahtjevi za postavljanje GBAS sustava te povlastice koje nosi taj sustav. Obradom svih zahtijeva doći će se do zaključka mogućnosti te isplativosti ugradnje GBAS sustav na splitski aerodromu te će se prikazati sve povlastice koje značajno utječu na ugradnju GBAS poboljšanja što je i cilj ovog seminarskog rada.

KLJUČNE RIJEČI: GPS; ABAS; SBAS; GBAS; Performanse; Povlastice

Summary

The final work will be described the principle of operations, concept and layout structure of the GPS system. It will also describe what are the required performance that define the positioning system and improvements of GPS system. Improvements will be displayed through text, but also through the scenic view. GBAS improvement will be defined and explained in detail. Will be shown through a series of technical specifications table GBAS improvements, structure and performance of the system. At the end of the final paper will be displayed requirements for setting GBAS system and privileges that carries that system. Processing all requires will come to conclusion of opportunities and profitability installing GBAS system at Split airport and will show all the benefits that significantly affect the installation of GBAS improvement which is the goal of this research paper.

KEYWORDS: GPS; ABAS; SBAS; GBAS; Performance; Privileges

Sadržaj

1. Uvod 1

2. Globalni satelitski navigacijski sustavi 2

2.1. Načelo rada satelitskog navigacijskog sustava 2

2.2. Globalni sustav pozicioniranja (GPS) 3

2.2.1. Segmenti GPS-a 4

2.2.1.1. Svemirski segment 5

2.2.1.2. Upravljački segment 5

2.2.1.3. Korisnički segment 5

2.2.2. Pogreške GPS-a 6

3. Zahtijevane navigacijske performanse 8

3.1. Točnost 8

3.2. Integritet i vrijeme za upozorenje 8

3.3. Kontinuitet 9

3.4. Dostupnost 10

4. Poboljšanja GPS-a 11

4.1. Zrakoplovni sustav poboljšanja (ABAS) 11

4.2. Satelitski sustav poboljšanja (SBAS) 13

4.3. Zemaljski sustav poboljšanja 14

5. Tehničke specifikacije GBAS-a 16

5.1. GNSS satelitski podsustav 16

5.2. GBAS zrakoplovni podsustav 16

5.3. GBAS zemaljski podsustav 17

6. Primjer implementacije na splitskom aerodromu 22

6.1. Zahtjevi prilikom implementacije 22

6.2. Primjer implementacije na aerodromu Palm Springs 28

6.3. Beneficije GBAS sustava 29

7. Zaključak 35

1. Uvod

Satelitski navigacijski sustavi zasnivaju se na mjerenju vremena, odnosno izračunavanju udaljenosti. Prvi takvi sustavi bili su DECCA, LORAN i Omega. Ovi pozicijski sustavi emitirali su radijski puls s poznate „gospodarske“ pozicije nakon čega su uslijedili ponovljeni pulsevi s brojnih „ropskih“ stanica. Pratilo se kašnjenje između primanja i slanja signala te se iz toga mogla izračunati i utvrditi udaljenost. Ti sustavi doveli su do razvoja prvih satelitskih navigacijskih sustava. Prvi takav sustav napravila je američka vojska 1960-tih te se sustav zvao Transit i bazirao se na Dopplerovom efektu. Sateliti su putovali na unaprijed utvrđenim putanjama te su emitirali signale na poznatim frekvencijama. Pratila se razlika u frekvencijama, odnosno razlika u vremenskom intervalu prijemnog i emitiranog signala te se nakon nekoliko mjerenja mogla dobiti određena pozicija. Taj sustav dovodi do razvoja globalnih satelitskih navigacijskih sustava. U ovom završnom radu obrađivat će se sustav poboljšanja globalnih satelitskih navigacijskih sustava (GNSS). Objašnjeni će biti navigacijski sustavi kao što su američki GPS, odnosno globalni pozicijski sustav, te ruski GLONASS, njihov način rada, rasprostranjenost, pokrivenost te mnoge druge važne karakteristike. Razrađivat će se poboljšanja GPS-a kao što su ABAS, GBAS i SBAS. Sustav poboljšanja GBAS biti će detaljnije objašnjen, koje mogućnosti, prednosti, a i nedostatke pruža zrakoplovstvu te kakva bi bila njegova primjena na aerodromu Split. Cilj rada je prikazati mogućnost implementacije na splitski aerodrom te koje povlastice GBAS sustav poboljšanja pruža.

2. Globalni satelitski navigacijski sustavi

GNSS ili globalni satelitski navigacijski sustav je sustav koji pomoću satelita u orbiti omogućuje određivanje pozicije u svakom trenutku i bilo gdje na Zemlji. Određivanje pozicije zasniva se na preciznom mjerenju vremena putovanja signala od satelita do prijemnika. GNSS sustav sastoji se od jedne satelitske konstelacije ili više njih, prijamnika te sustava koji prate rad i potrebne korekcije. U operativnoj uporabi danas se nalaze dva takva sustava, GPS i GLONASS. GPS je američki sustav koji je jedini potpuno funkcionalan i dostupan globalni navigacijski satelitski sustav. Ovaj sustav sastoji se od 32 satelita u srednjoj Zemljinoj orbiti postavljenih u šest različitih orbitalnih ravnina, a broj satelita varira kako se stariji sateliti zamjenjuju. GLONASS je ruski globalni satelitski navigacijski susta te je to bila potpuno funkcionalna navigacijska konstelacija, ali je nakon pada Sovjetskog Saveza prekinuto održavanje što je dovelo do rupa u pokrivenosti te parcijalnoj dostupnosti. GNSS je u mnogo čemu različitiji te napredniji sustav nego tradicionalni NAVAIDs. Ima potencijal rada u svim fazama leta pružajući besprijekorno globalno navigacijsko navođenje na kopnenim te oceanskim područjima. Uvođenjem GNSS u zrakoplovstvo uvelike se povećava preciznost i sigurnost letenja te se smanjuju troškovi nakon što se instalira pripadajuća oprema. [1]

2.1. Načelo rada satelitskog navigacijskog sustava

Načelo rada satelitskog navigacijskog sustava zasniva se na mjerenju vremena. U međusobnoj jednosmjernoj komunikaciji između satelita i prijamnika mjeri se vrijeme širenja signala od pojedinog satelita do korisničkog prijamnika. Signal koji se primi sa satelita zahtjeva obradu kako bi pogreška u izlaznom rezultatu bila svedena na najmanju vrijednost. Rad samog sustava temelji se na ekstremno visokoj stabilnosti atomskih oscilatora odnosno satova ugrađenih u satelite i visokoj točnosti mjerenja vremena. Prijamnik mjeri vrijeme rasprostiranja signala od satelita, uspoređuje tu udaljenost od poznate pozicije satelita te daje rješenje za ispravku na osnovu korektivnih parametara. Udaljenost od satelita (R) računa se mjerenjem proteka vremena od emitiranja signala sa satelita do dolaska u prijamnik, prema formuli:

$$R = c\Delta t = c(t_k - t_p)$$

Brzina svjetlosti (c) je brzina kojom se signal emitira od satelita do prijamnika te u formuli t_k predstavlja vrijeme pokazivanja satelitskog sata, a t_p predstavlja pokazivanje sata u prijamniku. Izračunom udaljenosti definirani su polumjeri sfera oko pojedinog satelita te kako bi se odredile

koordinatore jedne točke potrebno presijecanje triju sfera u čijim se središtima nalaze sateliti. Računajući s poznatim koordinatama od tri satelita, dobiju se tri linearne jednadžbe s tri nepoznanice te rješavanjem tog sustava linearnih jednadžbi dobiju se tri koordinate, odnosno tražena pozicija točke. Za rješavanje potrebno je poznavati točnu poziciju pojedinog satelita u orbiti, što je moguće primjenom Keplerovih zakona. Također je nužno znati udaljenost koja je određena mjerenjem vremena putovanja signala od trenutka emitiranja sa satelita do trenutka prijma u prijamniku. Emitiranje signala sa satelita odvija se prema međusobno vremenski usklađenim sekvencama za što je potrebna velika preciznost u mjerenju vremena. U realnim uvjetima satovi na satelitu te pogotovo u prijemniku nisu savršeno precizni. Također jedan od čimbenika koji utječu je da se emitirani signali ne rasprostiru konstantnom brzinom, odnosno brzinom svjetlosti jer u atmosferi ne prolaze kroz vakuum te je zbog toga signal je podložan brojnim smetnjama. Prijamnici koji u sebi nemaju satove velike preciznosti neće mjeriti točnu udaljenost (R), nego pseudoudaljenost (R“). Ta pseudoudaljenost prikazana je jednadžbom s četiri nepoznanice:

$$R“ = R+c(\Delta t_p-\Delta t_{S1})+c\Delta t_{\alpha t}.$$

U jednadžbi Δt_p i Δt_{S1} su vremenske razlike odstupanja mjerenja vremena sustava u prijamniku i mjerenja vremena na satelitu, dok je $\Delta t_{\alpha t}$ pogreška rasprostiranja radiovalova. Tri nepoznanice u jednadžbi su prostorne koordinate, a četvrta je pseudoudaljenost te radi toga prijamnik mora imati mogućnost prijama i mjerenja signala od četiri satelita kako bi se mogla odrediti pozicija u prostoru. Pomoću algoritama u samom prijamniku uklanjaju se pogreške pseudoudaljenosti te se provodi korekcija za tri prostorne koordinate iz čega se dobije točna pozicija. Prednost ovakvog načina određivanja pozicije je to što prijamnici ne moraju imati sat velike preciznosti čime se pojeftinjuje sam korisnički uređaj. [1]

2.2. Globalni sustav pozicioniranja (GPS)

GPS je sustav Sjedinjene Američke Države koji služi za pozicioniranje pomoću satelita u Zemljinoj orbiti koji odašilju signale te se sa odgovarajućim prijamnikom dobivaju podatci o poziciji brzine kretanja, smjeru i visini. Sateliti odašilju signale na dvije frekvencije L1 i L2. Njihov frekvencijski raspon je od 390 MHz do 1550 MHz. Množenjem osnovne frekvencije takta atomskog sata sa 154 i 120 dobivaju se dvije različite prijenosne frekvencije. Prva prijenosna frekvencija L1 je 1575,42 MHz i ima valnu duljinu od 19 cm, dok druga prijenosna frekvencija L2 je 1277,60 MHz, s valnom duljinom od 24,4 cm. Signali nositelji se moduliraju s dva

pseudoslučajna kod C/A i P (Y). Postoji i D kod koji se dodatno modulira na kodove C/A i P (Y) te je taj kod zadužen za prijenos podataka. Svaki satelit ima svoj poseban pseudoslučajni kod sastavljen on niz sekvenci bitova kako bi prijamnik koji prima signal znao od kojeg satelita prima signal. Prijamnik može razlikovati signale zato jer od svakog primljenog signala prijamnik mora interno generirati pseudoslučajni kod i sinkronizirati se s njime.

Za generiranje koda C/A pseudoslučajni kod je poznat i dostupan svima, dok pseudoslučajni kod za P kod nije dostupan svima te ga koriste samo američke vojne snage. C/A kod ili kod za pozicioniranje sa standardnom razinom preciznosti je civilni kod sa frekvencijom izmjene bitova od 1,023 MHz. Namijenjen je civilstvu zato jer nema veliku preciznost u određivanju pozicije te je taj kod moduliran samo na L1 prijamnom signalu. Kod se ponavlja svake milisekunde te tako u jednoj sekundi generira 1 023 000 bitova od čeka svaki bit ima duljinu od 300 m. Kod za pozicioniranje visokom razinom točnosti odnosno P (Y) kod. Emitira se na signalima L1 i L2 te je deset puta gušći od koda C/A pa ima frekvenciju izmjene bita od 10,23 MHz.

Zbog povećane brzine kodiranja P (Y) koda za deset puta, povećava se i točnost u pozicioniranju za deset puta. Svaki satelit posjeduje jedinstveni tjedni segment P koda koji se nakon svakih tjedan dana mijenja te ministarstvo obrane Sjedinjenih američkih država ima mogućnost omogućiti prijam P koda prijamnicima koji su posebno autorizirani. D kod ili navigacijska poruka radi na frekvenciji od 50 Hz što znači da je brzina kodiranja 50 bita/s. Signal je podijeljen u 25 podokvira od kojih se svaki sastoji od 1500 bitova, što znači da se cijeli signal sastoji od 37 500 bita i za primanje cijelog signala potrebno je 12,5 minuta. D kod šalje podatke odnosno navigacijsku poruku o stanju satelita, stanju atomskog sata, parametre za ionosfersku korekciju i navigacijski almanah cijele konstelacije GPS sustava i efemeride za svaki pojedini satelit. [1]

2.2.1. Segmenti GPS-a

Sastavni dio GPS sustava su segmenti. Taj sustav podijeljen je u tri glavna segmenta u kojem bez jednog od tih segmenta GPS sustav ne bi mogao funkcionirati. Ti glavni segmenti su svemirski segment, upravljački segment i korisnički segment.

2.2.1.1. Svemirski segment

Svemirski segment se sastoji od najmanje 24 satelita koji kruže u precizno definiranim orbitama oko Zemlje. Postoji šest orbita i one su međusobno raspoređene tako da presijecaju ravninu Zemljinog ekvatora pod kutom od 55°. Broj operativnih satelita se mijenja ovisno o predviđenom roku trajanja satelita. Sateliti se nalaze na visini od 20200 km te da potpuno obiđe Zemlju u svojoj orbiti satelitu je potrebno 11 sati 57 minuta i 58 sekundi. Raspored satelita po orbitama omogućuje da u bilo koje vrijeme je vidljivo pet do osam satelita. [1]

2.2.1.2. Upravljački segment

Upravljački segment čine glavne postaje i ostale prateće postaje koja imaju takav raspored da pokrivaju sva područja na Zemlji. Funkcija glavne postaje je da primljene podatke od postaja za praćenje obradi te da se proračunaju efemeride i vremena koja mjeri pojedini satelit. Podatci koji su obrađeni s eventualnom korekcijom šalju se preko zemaljskih postaja prema satelitima. Postaje za praćenje su precizni radioprijamnici povezani komunikacijskom vezom s glavnom upravljačkom stanicom iz koje se nadzire njihov rad. Postaje za praćenje rade uzastopna mjerenja promjene udaljenosti između satelita i vlastite udaljenosti. Podatci se odašilju prema glavnoj postaji iz koje se korekcije šalju na pojedine satelite. [1]

2.2.1.3. Korisnički segment

Korisnički segment su radionavigacijski prijamnici namijenjeni korisnicima te služe za prijam i dekodiranje GPS kodova za mjerenje udaljenosti i za obradu navigacijskih poruka. Kodovi za mjerenje udaljenosti emitirani sa satelita omogućuju mjerenje vremena putovanja signala od satelita do prijamnika te mjerenjem vremena izračunava se udaljenost između satelita i korisnika. Prijamnici GPS-a za određivanje pozicije najčešće koriste samo L_1 signal dok oni koji se koriste i signalom L_2 odnosno dvofrekvencijski prijamnici mogu kompenzirati atmosferske utjecaje koji izazivaju pogreške u mjerenju vremena te je i određivanje pozicije s takvim prijamnicima puno točnije. [1]

2.2.2. Pogreške GPS-a

GPS sustav nije savršen i ima svoje mane i pogreške. Glavne pogreške koje se pojavljuju su geometrijske i sistemske. Sistemske pogreške čine sve pogreške nastale pri određivanju udaljenosti između korisnika i satelita. Jedne od pogrešaka su odstupanja satelitskog sata ili sata u prijamniku, efemeride satelita, atmosferski utjecaj, šum prijamnika i prijam reflektivnog vala. Pogreška u mjerenju satelitskog sata je razlika stvarnog vremena koje mjeri satelit i vremena koje GPS prijamnik dobiva preko satelitskih podataka.

Pogreške efemerida su pogreške koje nastaju zbog razlike između prave pozicije satelita i one koja se dobiva iz orbitalnih podataka. Pogreške atmosferskog utjecaja nastaju zbog promjena brzina i smjerova rasprostiranja emitiranih signala sa satelita te se to događa zbog različitih slojeva atmosfere koji okružuju Zemlju. Šum signala i prijam reflektivnog signala usko su povezani. Refleksiju uzrokuju raznovrsni objekti koji se nalaze u okolini prijamnika te prijamnik, pošto nije usmjeren, prima reflektirani signal i izravni signal te dolazi do interferencije što uzrokuje pogreške mjerenja pseudoudaljenosti. Do šuma signala dolazi kada višestruko reflektirani signal interferira s izravnim signalom te se pojavljuju smetnje u prijemu.

Geometrijske pogreške nastaju zbog prostorne raspodijele satelita i korisnika te se kao mjera preciznosti upotrebljava bezdimenzionalni faktor geometrijske mjere preciznosti. Geometrijska mjera preciznosti jest mjera kvalitete geometrijskog položaja satelita te pri određivanju tog faktora uzima se u obzir utjecaj trenutačnog prostornog rasporeda satelita u odnosu na prijamnik. Pogreška će biti veća ako se sateliti nalaze jako blizu. Geometrijska mjera preciznosti sastoji se od tri komponente. Horizontalna mjera preciznosti uključuje dvodimenzionalnu poziciju u horizontalnoj ravnini te ima uobičajene vrijednosti između 1 i 1,6. Vertikalna mjera preciznosti uključuje koordinatu visine i njene vrijednosti su između 1,6 i 3. Geometrijska mjera preciznosti pri određivanju pozicije upućuje na kvalitetu horizontalnog i vertikalnog mjerenja. Ako je izračunata vrijednost manja od 5, onda je izvrsna kvaliteta, od 5-8 je prihvatljiva kvaliteta, a veće od je loša kvaliteta. Geometrijska mjera preciznosti pri određivanju vremena upućuje na odstupanje od sata. [1]

Tablica 1. Vrijednost pojedinih izvora pogrešaka

Izvor pogreške	Potencijalne vrijednosti pogreške (m)	Tipične vrijednosti pogreške (m)
Efemeride satelita	2,5	0
Pogreške sata satelita	1,5	0
Ionosfersko kašnjenje uzrokovano refrakcijom satelitskog signala	5	0,4
Troposfersko kašnjenje uzrokovano refrakcijom satelitskog signala	0,5	0,2
Prijam reflektivnog vala	0,6	0,6
Šum signala i prijamnika	0,3	0,3

Izvor: [1]

3. Zahtijevane navigacijske performanse

Zahtijevane navigacijske performanse sustava za pozicioniranje mogu se prikazati kroz par parametara. Ti parametri su točnost, integritet i vrijeme za upozorenje, kontinuitet i dostupnost.

3.1. Točnost

GNSS točnost pozicije je razlika između procijenjenog i stvarne pozicije zrakoplova. Sustavi na zemlji kao što su VHF omnidirectional radio range (VOR) i instrumentalni sustav slijetanja (ILS) imaju relativno ponavljajuće karakteristike grešaka. Stoga se njihov učinak može mjeriti u kratkom periodu vremena kao što je za vrijeme inspekcije leta te se pretpostavlja da točnost sustava se ne mijenja nakon mjerenja. Međutim GNSS pogreške mogu se mijenjati tijekom razdoblja zbog promjene geometrije satelita učincima ionosfere. Pogreške se mogu brzo mijenjati za temeljnu konstelaciju satelita, dok za Satellite-based augmentation system (SBAS) i ground-based augmentation system (GBAS), koji će biti detaljnije objašnjeni u nastavku, pogreške će se mijenjati sporije tijekom vremena. [4]

3.2. Integritet i vrijeme za upozorenje

Integritet je mjera povjerenja koja se može staviti kao istinitost dobivenih informacija od ukupnog sustava. Integritet uključuje sposobnost sustava da upozori korisnika kada se sustav ne bi trebao koristiti za namjeravanu operaciju ii fazu leta. Potrebna razina integriteta svake operacije je osnovana s obzirom na horizontalne i bočne granice upozorenja, a kod nekih i vertikalne. Kada procjena integriteta prelazi te granice, pilot će dobiti upozorenje u određenom propisanom periodu vremena. Određena vrsta operacije ili faza leta određuje maksimalno dozvoljene granice horizontalne, bočne i vertikalne pogreške te maksimalno vrijeme upozorenja pilota. Podatci se mogu vidjeti u Tablici 2. Nakon upozorenja, posada bi trebala nastaviti s navigacijom koristeći tradicionalna navigacijska pomagala (NAVAIDs) ili se uskladiti sa postupcima vezanim uz razinu GNSS zasnovane usluge s manje strožim zahtjevima. [4]

Tablica 2. GNSS ograničenje upozorenja integriteta za zračne prostore

Operacije	**Preko oceanske rute**	**Kontinentalne rute**	**Terminal**	**Neprecizni prilaz**	**Prilazna procedura s vertikalnim navođenjem (APV)**		**Kategorija I**
					APV-I	**APV-II**	
Horizontalno/Bočno ograničenje upozorenja	4 NM	4 do 2 NM	1 NM	0,3 NM	130 ft	130 ft	130 ft
Vertikalno ograničenje upozorenja	N/A	N/A	N/A	N/A	164 ft	66 ft	33 do 50 ft
Maksimalno vrijeme upozorenja	5 min	5 min	15 s	10 s	6 s	6 s	6 s

Izvor: [4]

3.3. Kontinuitet

Kontinuitet je sposobnost sustava da obavlja svoju funkciju bez neplaniranih prekida tijekom namjeravane operacije te se izražava kao vjerojatnost. Zahtjevi kontinuiteta razlikuju se od niže vrijednosti za nisku gustoću prometa na ruti zračnog prostora do više vrijednosti za područje visoke gustoće složenosti zračnog prostora, gdje kvar ili otkaz može utjecati na velik broj zrakoplova. Kada postoji veliki stupanj oslanjanja na navigacijski sustav, smanjenje od kvara može se postići korištenjem alternativne navigacije ili uz pomoć nadzora zračne kontrole osigurati da se minimalna separacija održi. Za operacije prilaza i slijetanja svaki zrakoplov se može promatrati pojedinačno. Kada bi se prekinulo davanje usluge to bi rezultiralo riziku povezanim s prekinutim slijetanjem. Za neprecizni, APV i kategoriju I prilaza prekinuto slijetanje smatra se normalnom operacijom, s obzirom da se odvija u periodu kad je zrakoplov u spuštanju na minimalnu visinu prilaza i pilot nije u mogućnosti nastaviti ako nema vizualnu referencu. To je, dakle operativno

pitanje učinkovitosti, a ne sigurnosti. Države bi trebale osmisliti SBAS ili GBAS da zadovolji standarde kontinuiteta. Međutim, nije potrebno izdati obavijest pilotu (NOTAM) za uslugu prekida rada, ako kontinuitet padne ispod minimuma privremeno zbog otkaza određenog elementa. [4]

3.4. Dostupnost

Usluga dostupnosti je dio vremena tijekom kojeg sustav istovremeno isporučuje potrebnu točnost, integritet i kontinuitet. Dostupnost GNSS je ovisna o kretanju satelita u odnosu na pokrivenost područja i potencijalno dugog vremena koje je potrebno za vračanje sustava satelita u slučaju kvara. Razina dostupnosti za određeni zračni prostor u određenom vremenskom razdoblju treba utvrditi kroz plan, analizu i modeliranje, a ne kroz mjerenje. Pri utvrđivanju zahtjeva raspoloživosti za GNSS, željena razina usluge potpore treba uzeti u obzir. Gustoća prometa, alternativne NAVAIDs, pokrivenost primarnim/sekundarnim nadzorom, potencijalno trajanje i geografska veličina zastoja, let i procedure kontrole leta su parametri koje bi država trebala uzeti u obzir pri postavljanju specifikacije dostupnosti za zračni prostor. Procjena operativnog utjecaja degradacije usluge također bi trebala biti dovršena. Alat za predviđanje dostupnosti može odrediti period kada GNSS neće podržati određenu operaciju. Ako se ovaj alat koristi za paniranje leta, tada iz operativne perspektive, ostaje samo rizik kontinuiteta povezan s potrebnih komponenata sustava između napravljenog predviđenog vremena i vremena kada se operacija provodi. [4]

4. Poboljšanja GPS-a

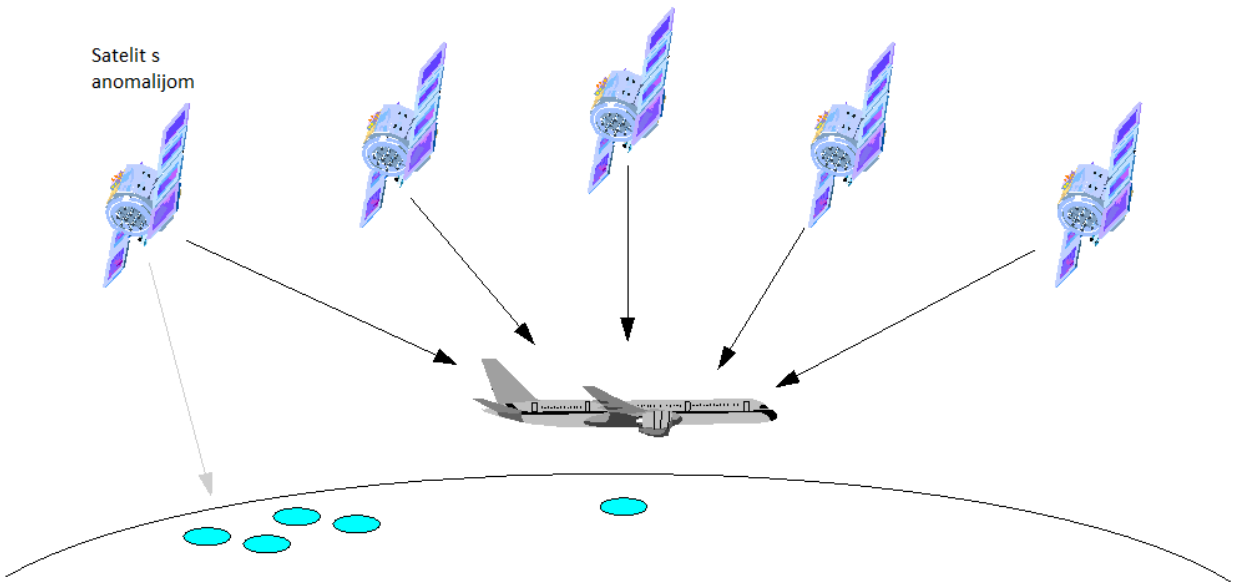
Sustavi poboljšanja GPS-a služe za osiguravanje performansi navigacijskog sustava kroz kontinuitet, dostupnost, integritet i točnost u svih fazama leta zrakoplova. Kako bi se to osiguralo satelitski navigacijski sustav se dodatno upotpunjuje sa sustavima i metodama koje omogućuju da navigacijski sustav pruža uslugu bolje kvalitete pozicioniranja. Tri su sustava nadogradnje koji poboljšavaju kvalitetu pozicioniranja, Aircraft-Based Augmentation System (ABAS), Space-Based Augmentation System (SBAS) i Ground-Based Augmentation System (GBAS). [5]

4.1. Zrakoplovni sustav poboljšanja (ABAS)

ABAS je sustav poboljšanja pozicioniranja GPS-a koji dolazi u obliku algoritma koji se zove RAIM (Receiver Autonomus Integrity Monitoring) te se nalazi kao sastavni dio računanog programa GPS prijamnika. Prijamnik se koristi algoritmom kada postoje više od četiri vidljiva satelita. Pri određivanju pozicije potrebna su nam četiri satelita, a sa pet satelita je moguće različitim kombinacijama izračunati pet međusobno neovisnih pozicija. Različitim kombinacijama u sustavu od četiri jednadžbe ako svih pet satelita je ispravno dobit će se približna pozicija od svih satelita, odnosno unutar 300 m.

Ako jedna proračunata pozicija odstupa, odnosno nije unutar 300 m, algoritam RAIM određuje koji od satelita unosi pogrešku, što se može vidjeti na slici 1. Taj algoritam služi za provjeru i uspoređivanje pozicije te određivanje koji signal sa kojeg satelita stvara pogrešku u određivanju pozicije zrakoplova. Ako se upotrebljava šest ili više satelita, algoritam je u mogućnosti izračunati više neovisnih pozicija te vrlo lako otkriti koji satelit daje neprecizne podatke i isključiti ga iz daljnjih proračuna. Takav sustav zove se Fault Detection and Exclusion (FDE). Drugi način poboljšanja sustava ABAS je preko AAIM-a (Aircraft Autonomus Integrity Monitoring).

Način rada se zasniva da inercijski navigacijski sustav, koji se nalazi u samom zrakoplovu može u slučaju kada je antena GNSS prijamnika zasjenjena nastaviti slati podatke u navigacijsko računalo zrakoplova. To se pojavljuje kada ne postoji dovoljan broj vidljivih satelita ili kad zrakoplov izvodi manevar tijekom leta. Kako bi pilot bio siguran da tijekom cijelog leta bude imao pokrivenost satelitima EUROCONTROL je razvio računani program AUGUR. Pomoću toga sustava moguće je 72 sata unaprijed znati broj operativnih i vidljivih satelita iznad određenih aerodroma što pruža mogućnost pilotu da zna hoće li biti u mogućnosti letjeti pomoću GPS-a na planiranoj ruti. [1]

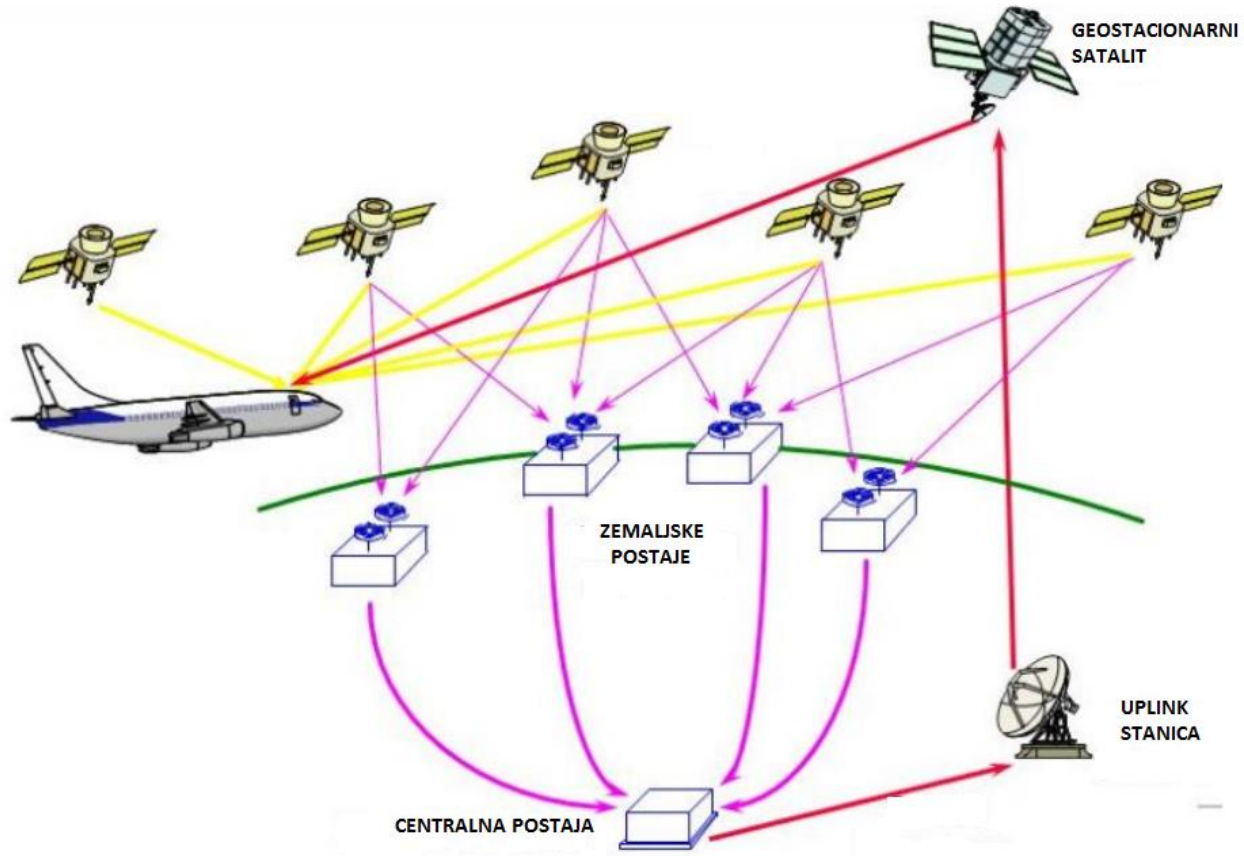


Slika 1. Prikaz pokazivanja greške satelita s anomalijom, [6]

4.2. Satelitski sustav poboljšanja (SBAS)

SBAS je sustav poboljšanja na većem području, odnosno iznad velike površine uporabom dodatnih satelita za emitiranje signala korekcije. Koriste se geostacionarni sateliti koji se nalaze iznad ekvatora što predstavlja ograničenja tog sustava zbog nemogućnosti pokrivanja polarnih područja i zasjenjivanja korigiranog signala zbog konfiguracije terena. SBAS se također sastoji od određenog broja GPS postaja na zemlji (Referene stations) čije su pozicije unaprijed precizno određene. Te postaje primaju standardni signal i proračunavaju razliku između svoje točno izračunate pozicije i pozicije koju prima od satelita.

Ti se podatci sa svih zemaljskih postaja šalju u centralne postaje za obradu (CPC), gdje se proračunavaju kratkoročne i dugoročne pogreške satelitskih satova, dugoročne pogreške u putanjama satelita, ionosferske korekcije i ostali podatci vezani za integritet sustava i informacija. Ti korekcijski parametri šalju se preko Uplink stanica na geostacionarne satelite koji korektivne parametre šalju na zrakoplov. Danas u funkciji postoje takva četiri SBAS sustava. Jedan je američki WASS (Wide Area Augmentation System), europski je EGNOS (European Geostationary Navigation Overay Service), japanski MSAS (Multi-functional Transport Satellite Augmentation System) i indijski GAGAN (GPS Aided Geo Augmentation System). [1]

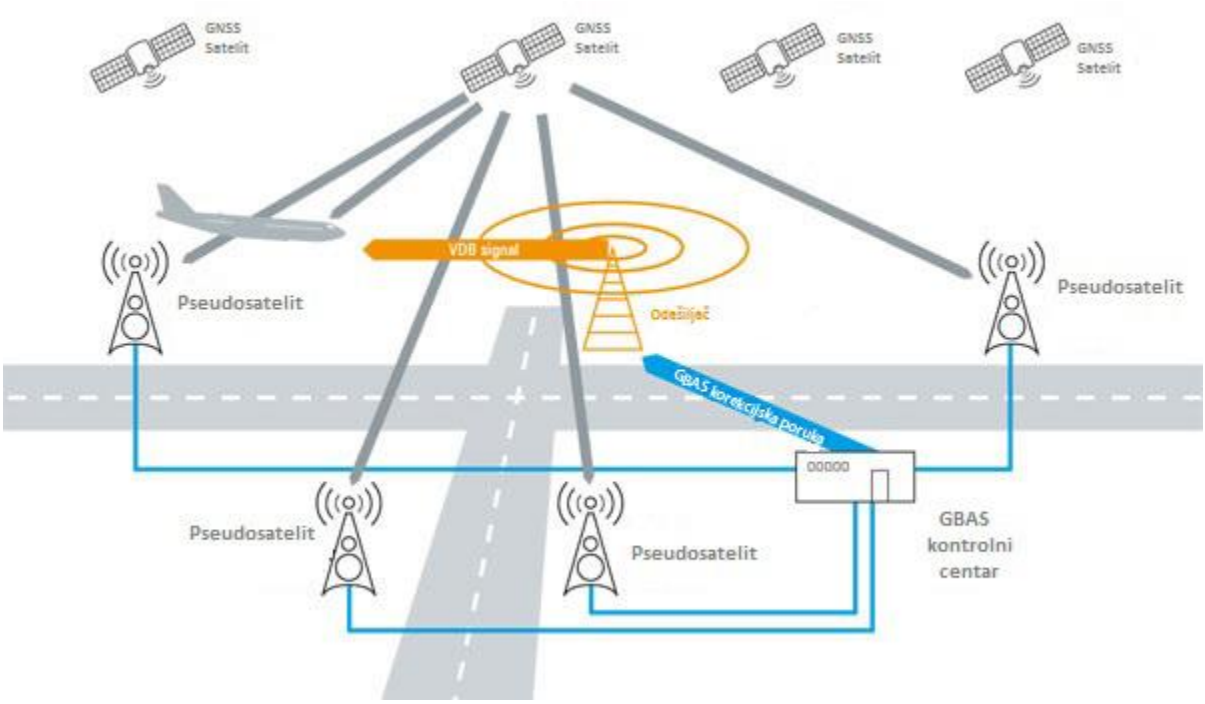


Slika 2. Prikaz rada SBAS sustava, [3]

4.3. Zemaljski sustav poboljšanja

GBAS je sustav poboljšanja čiji se temeljni način rada zasniva na signalima sa zemaljskih postaja i senzora te taj sustav poboljšanja pokriva određeni lokalni dio područja na zemlji. Postaja, koja prima signal sa satelita, uspoređuje poziciju dobivenu sa satelita s poznatom, precizno izmjerenom vlastitom pozicijom te izračunava vrijednosti pogreške pozicioniranja. Postaja se nalazi u blizini ili čak na samom aerodromu na kojem se primjenjuju procedure koje zahtijevaju povećanu točnost pozicioniranja. Podatak o pogrešci koji se izračunao na postaji, emitira se svim zrakoplovima u blizini od 20 NM te služi za korekciju pozicije i informaciju vezanu za integritet sustava. Prijamnici koji se nalaze na zrakoplovima, primjeni korigirani signal sa zemaljske postaje obrađuju na isti način kao i signal sa samog satelita pa se postaja koja emitira signal naziva još i pseudosatelit. Arhitektura cijelog sustava poboljšanja GBAS-a prikazana je na slici 3. Taj sustav

gdje se preko pseudosatelita koji proračunava pogrešku i šalje korekcije na GPS prijamnike naziva diferencijski GPS. Važna stavka za naglasiti je da prijamnik u zrakoplovu treba biti tehnički opremljen za prijam korekcijskih podataka koji se emitiraju sa pseudosatelitskih postaja. Takvim GPS sustavom poboljšanja postiže se metarska točnost pozicioniranja zrakoplova, a uz posebne tehničke uvjete i submetarska točnost pozicioniranja što će biti prikazano u idućem poglavlju. [1]



Slika 3. Prikaz koncepta izvedbe GBAS sustava poboljšanja, [7]

5. Tehničke specifikacije GBAS-a

Tehničke specifikacije GBAS-a su podatci koji prikazuju koliku razinu i raspon usluge pruža ovaj sustav poboljšanja. Kako bi se što detaljnije mogle prikazati tehničke specifikacije, potrebno je definirati pojedine dijelove GBAS sustava. Prvi dio je GNSS satelitski podsustav (GNSS Satellites subsystem), drugi GBAS zrakoplovni podsustav (GBAS Aircraft Subsystem) te posljednji i najbitniji je GBAS zemaljski podsustav (GBAS Ground Subsystem).

5.1. GNSS satelitski podsustav

GNSS satelitski podsustav je dio sustava GBAS-a koji se nalazi u svemiru. Taj podsustav čine sateliti koji se koriste u civilnu svrhu i svima su dostupni te se pomoću satelita koji emitira signal određuje željena pozicija na zemlji koja se najčešće nalazi u blizini aerodroma.

5.2. GBAS zrakoplovni podsustav

GBAS zrakoplovni podsustav je dio sustav GBAS-a i nalazi se u samom zrakoplovu. Glavni dijelovi koji čine ovaj sustav i osiguravaju da prima korekcije sa zemaljskih postaja je zrakoplovni GNSS prijamnik. Ovaj prijamnik prima, prati i dekodira GNSS satelitske signale. Kako bi prijamnik mogao primati za zemaljskih postaja korekcije mora sadržavati u sebi VHF Data Broadcast Receiver funkciju. Ta funkcija omogućuje kako je već spomenuto dekodiranje signala sa zemaljskih postaja odnosno GBAS zemaljskog podsustava. Prijamnik također mora sadržavati funkciju Aircraft Navigation Processing Function, koja prima izračune pseudoudaljenosti sa funkcije GNSS prijamnika, primjenjuje razlike u korekciji primljene od VHF Data Broadcast Receiver funkcije i uz izračunatu razliku korekcije određuje točnu poziciju zrakoplova. Aircraft Navigation Processing Function također izračunava devijaciju od odabrane FAS (Final approach segment) putanje. [2]

5.3. GBAS zemaljski podsustav

GBAS zemaljski podsustav je najvažniji dio GBAS poboljšanja. Sastoji se od dva do četiri GNSS referentna prijamnika (GNSS Reference Receivers), VHF Data Broadcast (VDB) odašiljača čiji se raspon frekvencija kreće od 108.025 MHz do 117.950 MHz, sustava za nadzor (monitoring system) i bazu podataka prilaza (Approach Database). Glavna zadaća zemaljskog GBAS podsustava je osigurati korekcije pseudoudaljenosti, podatke vezane za GBAS sustav. Također je potrebno osigurati podatke o segmentu završnog prilaženja kada pruža uslugu preciznog prilaženja, osigurati dostupnost podataka o rasponu izvora te osigurati integritet praćenja GNSS raspona izvora. Svi podatci sadržani su u navigacijskoj poruci koja je emitirana sa GBAS sustava te se prikaz jedne takve poruke može vidjeti na slici 4. [2]

Message type identifier	Message name
0	Spare
1	Pseudo-range corrections
2	GBAS-related data
3	Reserved for ground-based ranging source
4	Final approach segment (FAS) data
5	Predicted ranging source availability
6	Reserved
7	Reserved for national applications
8	Reserved for test applications
9 to 100	Spare
101	GRAS pseudo-range corrections
102 to 255	Spare

Slika 4. Konstrukcija poruke se VDB odašiljača, [2]

GBAS sustav ima nekoliko vrsta poruka koje odašilje. Jedna od tih poruka je Type 1 poruka koja pruža diferencijalnu korekciju za individualni GNSS raspon izvora. Type 1 poruka dijeli se na tri sekcije te svaka sekcija pruža određene informacije. Prva sekcija sadržava osnovne informacije o poruci kao što je vrijeme trajnosti, broj mjerenja, tip mjerenja. Druga sekcija sadržava informacije o niskoj frekvenciji kao što su efemeridi satelitai dostupnost satelita te treća sekcija sadržava podatke o satelitskim mjerenjima na toj sekciji. Prikaz poruke tog tipa vidi se na slici 5. [2]

Data content	Bits used	Range of values	Resolution
Modified Z-count	14	0 to 1 199.9 s	0.1 s
Additional message flag	2	0 to 3	1
Number of measurements (N)	5	0 to 18	1
Measurement type	3	0 to 7	1
Ephemeris decorrelation parameter (P)	8	0 to 1.275×10^{-3} m/m	5×10^{-6} m/m
Ephemeris CRC	16	—	—
Source availability duration	8	0 to 2 540 s	10 s
For N measurement blocks			
Ranging source ID	8	1 to 255	1
Issue of data (IOD)	8	0 to 255	1
Pseudo-range correction (PRC)	16	±327.67 m	0.01 m
Range rate correction (RRC)	16	±32.767 m/s	0.001 m/s
σ_{pr_gnd}	8	0 to 5.08 m	0.02 m
B_1	8	±6.35 m	0.05 m
B_2	8	±6.35 m	0.05 m
B_3	8	±6.35 m	0.05 m
B_4	8	±6.35 m	0.05 m

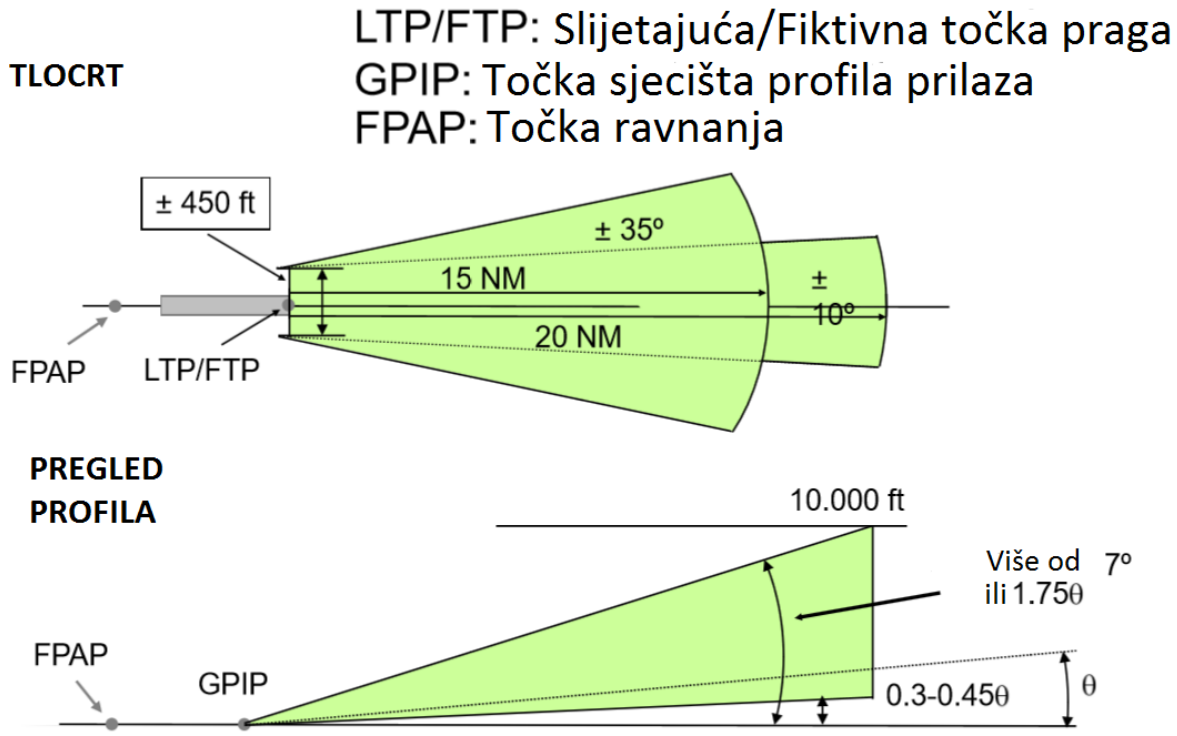
Slika 5. Type 1 korekcijska poruka pseudoudajenosti, [2]

Druga vrsta poruke je Type 2 poruka koja identificira lokaciju referentne točke GBAS-a na kojoj se pružaju korekcije i ostali podatci koji su od značaja za GBAS sustav. Treća vrsta poruke je Type 4 i ona sadržava podatke o jednom ili više segmenata završnog prilaženja. Svaka Type 4 poruka sadržava podatke od zadanoj udaljenosti, FAS (Final approach segment) podatke, FASVAL prilazni status i FASLAL prilazni status. Prikaz GBAS FAS ili Type 4 poruke može se vidjeti na slici 6. [2]

Data content	Bits used	Range of values	Resolution
Operation type	4	0 to 15	1
SBAS provider ID	4	0 to 15	1
Airport ID	32	—	—
Runway number	6	0 to 36	1
Runway letter	2	—	—
Approach performance designator	3	0 to 7	1
Route indicator	5	—	—
Reference path data selector	8	0 to 48	1
Reference path identifier	32	—	—
LTP/FTP latitude	32	±90.0°	0.0005 arcsec
LTP/FTP longitude	32	±180.0°	0.0005 arcsec
LTP/FTP height	16	–512.0 to 6 041.5 m	0.1 m
ΔFPAP latitude	24	±1.0°	0.0005 arcsec
ΔFPAP longitude	24	±1.0°	0.0005 arcsec
Approach TCH (Note 2)	15	0 to 1 638.35 m or 0 to 3 276.7 ft	0.05 m or 0.1 ft
Approach TCH units selector	1	—	—
GPA	16	0 to 90.0°	0.01°
Course width (Note 1)	8	80 to 143.75 m	0.25 m
ΔLength offset	8	0 to 2 032 m	8 m
Final approach segment CRC	32	—	—

Slika 6. Type 4 poruka, [2]

GBAS zemaljski sustav svojim korisnicima mora omogućiti određenu pokrivenost koja osigurava zahtijevane minimume. Osiguravanje tih minimuma potrebno je zadovoljiti kako u horizontalnoj tako i u vertikalnoj ravnini te prikaz tih minimuma najbolje objašnjava slika 7. [3]



Slika 7. Minimalna pokrivenost GBAS sustava, [3]

Osim minimalne pokrivenosti, GBAS sustav mora zadovoljiti i druge zahtijevane performanse kao što su točnost, integritet, kontinuitet i dostupnost. Te zahtijevane performanse već su objašnjene u četvrtom poglavlju. Prikaz određenih parametara zahtijevanih performansi za GBAS sustav vidljivi su u tablici 3. [3]

Tablica 3. Zahtijevane performanse GBAS sustava

Tip operacije	**Lateralna točnost 95%**	**Vertikalna točnost 95%**	**Integritet**	**Vrijeme za upozorenje**	**Kontinuitet**	**Dostupnost**
Početno i među prilaženje	220 m	N/A	$1\text{-}10^{7}$ /h	10 s	$1\text{-}10^{-4}$/h do $1\text{-}10^{-8}$/h	0.99 do 0.99999
Neprecizni prilaz s vertikalnim navođenjem NPV I	220 m	20 m	$1\text{-}2x10^{7}$ po prilazu	10 s	$1\text{-}8x10^{-6}$ u 15 s	0.99 do 0.99999
Neprecizni prilaz s vertikalnim navođenjem NPV II	16.0 m	8.0 m	$1\text{-}2x10^{7}$ po prilazu	6 s	$1\text{-}8x10^{-6}$ u 15 s	0.99 do 0.99999
CAT I	16.0 m	6.0 m do 4.9 m	$1\text{-}2x10^{7}$ po prilazu	6 s	$1\text{-}8x10^{-6}$ u 15 s	0.99 do 0.99999

Izvor: [3]

6. Primjer implementacije na splitskom aerodromu

GBAS sustav, kroz niz parametara, pokazao se kao jako efikasan i isplativ sustav poboljšanja. Ovaj sustav postavljen je na niz velikih aerodroma te im donio velike prednosti nad drugim sustavima poboljšanja. Kroz daljnji tekst prikazat će se prednosti koje bi bile od velikog značaja za splitski aerodrom te koji su zahtjevi za postavljanje i ispunjava li splitski aerodrom te zahtjeve.

6.1. Zahtjevi prilikom implementacije

Odluka o postavljanu GBAS sustava utječe na pojedina područja aeronautičke zajednice te da bi postavljanje bilo uspješno mora se proći kroz niz analiza. Jedan od glavnih zahtijeva prilikom postavljanja je analiza omjera uloženog i dobivenog. U analizi tog omjera obavezne točke koje se uzimaju u obzir su:

- Broj zrakoplova operativno spremnih za GBAS sustav;
- Broj operatora zrakoplova obvezanih na sposobnost modernizacije GBAS sustava;
- Statistička analiza meteoroloških uvjeta;
- Procjena rasta zračnog prometa;
- NAVAIDs koji podržava instrumentalni prilaz;
- Planirane promjene postojećih NAVAIDs;
- Procjena stvarnih operativnih zahtijeva aerodroma. [2]

Također, prilikom postavljanja GBAS sustava, treba se uspostaviti struktura koja osigurava primanje podataka sa GPS satelita za identifikaciju i mjerenja ionosferskog gradijenta te njihove brzine. To se ostvaruje modelom prijetnji te je potrebno pridržavati se nekoliko uvjeta:

1. Instalacija GPS prijamnika oko područja interesa

Broj prijamnika prilikom postavljanja mora biti velik kako bi se moglo točno identificirati kašnjenja na različitim točkama u ionosferi. Udaljenost između pojedinih prijamnika ne smije biti preko 100 km (54 NM) udaljenosti. Prijamnik koji se postavlja mora imati mogućnost primanja L1 i L2 frekvencije. Brzina prikupljanja podataka prijamnika mora biti veća od 1 Hz te postavljene GPS antene i VDB antene, po mogućnosti, trebaju biti osigurane bez prepreka od 5 stupnjeva elevacije.

2. Prikupljanje i pohrana podatka sa prijamnika

Podatci bi se trebali prikupljati periodički s pojedinih stanica te biti pohranjeni. Prikupljanje podataka ostvaruje se preko uređaja s vanjskom pohranom ili preko mreže koja preuzimanjem podataka prikuplja podatke na server.

3. Prepoznavanje pojava teških ionosferskih pojava

Program se mora koristi za identifikaciju unutar prikupljene količine podataka prilikom nastajanja značajnih ionosferskih pojava.

4. Izračun brzine valne fronte i gradijenta

Program se mora koristiti za izračun brzine valne fronte i gradijenta referenciran na podatke sa značajnih inosferskih pojava.

5. Usporedba s modelom prijetnji

Uračunate točke unijet će se u model prijetnji omogućujući procjenu primjenjivosti modela. Potrebno je naznačiti da izrada ovog modela zahtjeva veliki proračun kako bi se pokrili troškovi opreme, programa i istraživanja te je također potrebna potpora institucija koje su sposobne za ovu vrstu posla. [2]

Osim što je potrebno istraživanje utjecaja atmosfere na postavljanje GBAS sustava, za uspješnu implementaciju potrebno je provesti testiranja i trening osoblja. Prelazak na GBAS sustav predstavlja značajne promjene za avijaciju i potreban je drugačiji pristup regulacijama usluga i operacija zrakoplova te za uspješnu implementaciju obuka osoblja je ključna i mora sadržavati:

- Regulatore koji su odgovorni za ažuriranje propisa uključujući GBAS operacije;
- Kreatore procedura koji su odgovorni za dizajn novih GBAS procedura;
- ATS (Air traffic services) usluge zračnog prometa koje su odgovorne za nadzor zračnog prostora;
- AIS (Aeronautical information services) zrakoplovne informacijske usluge, odgovorne za obavijest pilotima (NOTAM) i bazu podataka;
- Pilote;
- Operatora aerodroma koji je odgovoran za rad novog GBAS sustava i njegove infrastrukture;
- Standarde plovidbenosti koji služe za odobravanje avionske opreme;
- NAVAIDs osoblje održavanja koje je odgovorno za održavanje GBAS stanice. [2]

GBAS poboljšanje je vrlo kompleksan sustav te zahtijeva uz, već navedene, još niz parametara koji moraju biti analizirani prije samog postavljanja. Prilikom nabavke i instalacije GBAS zemaljskog sustava ta faza sadrži pojedine aktivnosti koje uključuju:

- Identifikaciju GBAS proizvođača;
- Odobravanje informacije od proizvođača;
- Definiciju tehničkih i logističkih zahtjeva;
- Odobravanje prijedloga proizvođača;
- Izbor najboljeg prijedloga i potpisivanje ugovora;
- Instalaciju i konfiguracija stanice;
- Test sustava na zemlji i u zraku;
- Puštanje u rad. [2]

Minimalni zahtjevi zemaljske opreme za postavljanje GBAS sustava su:

- Staza za slijetanje mora imati duljinu od 5000 ft ili više;
- Staza mora biti kvalificirana za CAT I;
- Zahtijevana svjetla moraju ispunjavati uvijete za CAT I. [8]

Splitski aerodrom zadovoljava sve zahtjeve za postavljanje zemaljske opreme dok aerodrom Brač ne ispunjava zahtjev svjetala za CAT I. Sustavi svjetala koji ispunjavaju uvijete za CAT I su: SSALR, MALSR i ALSF-1/ALSF-2. Na aerodromu Brač postavljena su prilazna svjetla SALS koja ne mogu ispuniti uvijete za CAT I. Također aerodrom Brač ne ispunjava uvjete duljine staze za slijetanje jer ukupna duljine staze aerodroma Brač iznosi 4724 ft. [9]

Završno, kako bi GBAS sustav potpuno bio pušten u rad, potreban je certifikat i operativno odobrenje. Postupak dobivanja certifikata je da se prvo dobije odobrenje za dizajn sustava te nakon toga odobrenje za postavljen sustav koji je napravljen u skladu sa svim propisima. Zadnje odobrenje je operativno odobrenje koje se veže uz propisane operacije koje uključuju postojanje regulacije, obuke osoblja te definirane i dokumentirane sve operativne procedure. [2]

Obradom svih zahtjeva za implementaciju GBAS sustava proizlazi da splitski aerodrom ispunjava sve uvijete potrebne za implementaciju. GBAS bi se koristio osim za slijetanje na stazu u Splitu i za slijetanje helikoptera na splitsku bolnicu, a aerodrom Brač ne ispunjava zahtjeve te se za njega ne može koristiti GBAS sustav. Najvažniji konstrukcijski zahtjevi za ovakvu izvedbu GBAS sustava prikazati će se kroz tablicu 4. [2]

Tablica 4. Prikaz konstrukcijskih zahtjeva

	Gradijent (°)	**Udaljenost između prijamnika (NM)**
Maksimalna dopuštena vrijednost	5	54
Maksimalna vrijednost za implementaciju na aerodrom Brač i Split	3	28

Izvor: [2]

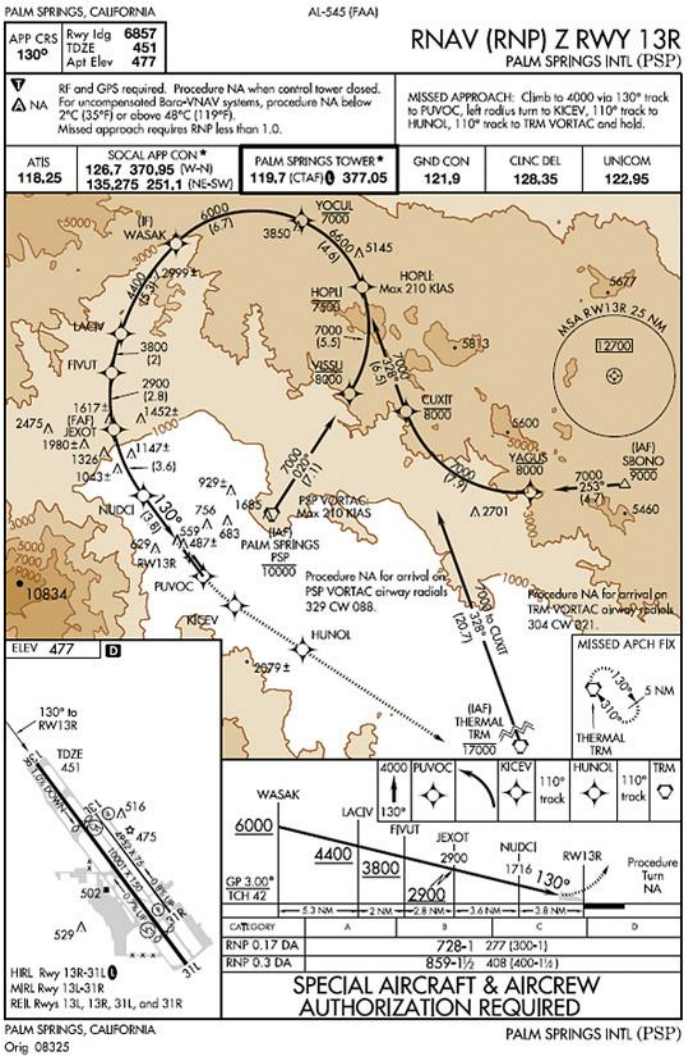
Konstrukcijski zahtjev postavljanja VDB antene je da njena pokrivenost je do maksimalno 20 NM. Postavljanjem VDB antene na položaj, kako je prikazano na slici 8., omogućuje se dovoljna pokrivenost za normalan način rada GBAS sustava kako na splitskom aerodromu tako i na aerodromu Brač te heliodromu KBC Split. [2]



Slika 8. Prikaz položaja VDB antene

6.2. Primjer implementacije na aerodromu Palm Springs

Jedni od prvih aerodroma koji su započeli eru sve veće upotrebe GBAS sustava su američki aerodromi. Jedan od takvih aerodroma je Palm Spring aerodrom. GBAS sustav ili kako ga u Americi zovu LAAS (Local area augmentation system) donio je mnoge prednosti ovom aerodromu zbog njegove specifične pozicije. Aerodrom je okružen visokim planinama što u lošijim vremenskim situacijama rezultira gotovo nemogućim prilazom te slijetanjem na stazu. Kako bi se omogućio nesmetani prilaz i slijetanje koristi se zakrivljeni prilaz. Na slici 9. prikazana je procedura zakrivljenog prilaza za aerodrom Palm Springs, a ostale beneficije detaljnije će se objasniti u sljedećem poglavlju kao i sam zakrivljeni prilaz.



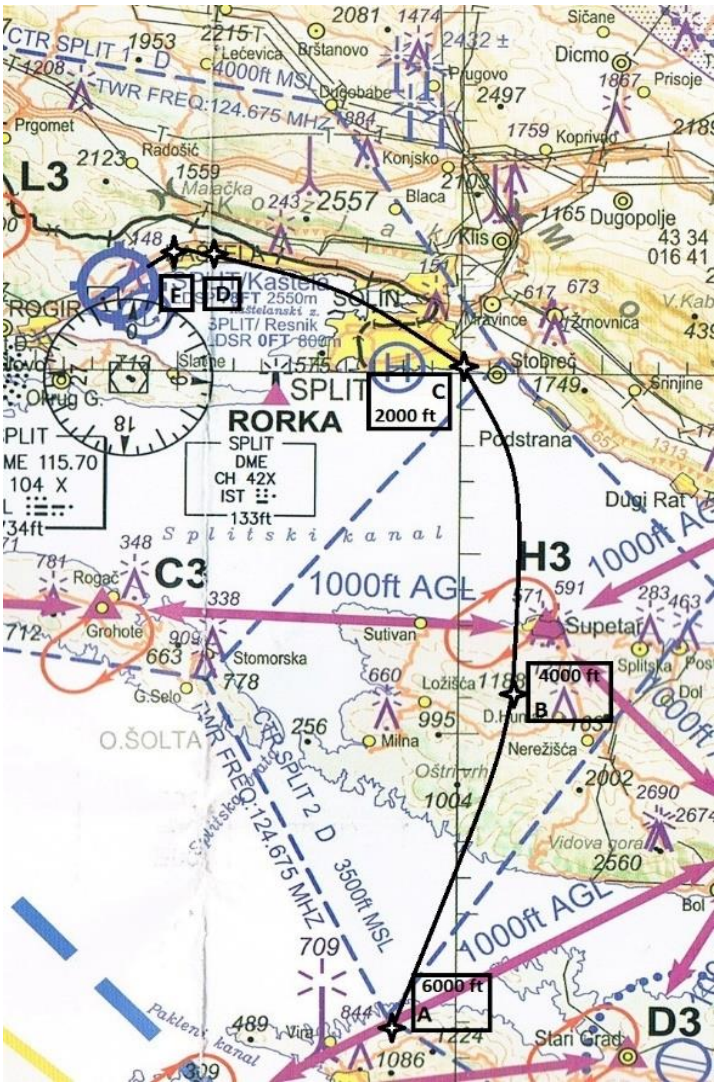
Slika 9. Prikaz zakrivljenog prilaza na aerodromu Palm Springs, [12]

6.3. Beneficije GBAS sustava

GBAS sustav u usporedbi sa drugim sustavima preciznog prilaženja ima jako buno beneficija kao što su:

1. Zakrivljeni prilaz

GBAS sustav omogućuje prilaz zakrivljenom putanjom s navođenjem u vertikalnoj i horizontalnoj ravnini. Zakrivljeni prilaz je važna povlastica ako je potrebno na određenom aerodromu izbjeći da zrakoplov leti iznad određenog područja blizu drugog aerodroma. Također je prednost što se izbjegava buka iznad naseljenog mjesta te za izbjegavanje prepreka što je jako bitno za splitski aerodrom. Položaj splitskog aerodroma je specifičan te sa sjeverne strane ima mali planinski lanac što jako otežava slijetanje na stazu 23 prilikom nepovoljnih vremenskih uvjeta. Zakrivljeni prilaz bi omogućio nesmetan rad staze 23 čak i pri jako lošim vremenskim uvjetima. Prednost zakrivljenog prilaza za aerodrom na Braču je što se u blizini nalazi staza za slijetanje na Hvaru te bi se izbjegla mogućnost nesreće ako više zrakoplova operira na tom području. [2] Proučavanjem zahtijeva i već postojećih procedura na drugim aerodromima napravljena je jedna od mogućih izvedbi zakrivljenog prilaza za stazu 23 na aerodromu Split što se vidi na slici 10.



Slika 10. Prikaz moguće izvedbe zakrivljenog prilaza za stazu 23

Jedan od zahtijeva za sigurno provođenje procedure zakrivljenog prilaza je da se osigura minimalno 0,6 NM između konstruirane crte zakrivljenog prilaza i prepreke. Za zakrivljeni prilaz na aerodrom Split ta prepreka je planina sa sjeverne strane te udaljenost između konstruirane crte zakrivljenog prilaza i planine je znatno veća od zahtijevanih 0,6 NM što se vidi na slici 11.



Slika 11. Prikaz udaljenosti između konstruirane crte zakrivljenog prilaza i planine

2. Sustav pozicioniranja

GBAS sustav pozicioniranja omogućava horizontalnu informaciju pozicije zrakoplova ili helikoptera u području operiranja GBAS sustava. Ovaj povlastica omogućava povećanje preciznosti pozicioniranja i smanjenje separacije između zrakoplova u terminalnom području. Također bitna prednost ove povlastice je što omogućuje točnu horizontalnu poziciju u uvjetima loše vidljivosti. To omogućuje da na heliodromu KBC Split, prilikom loših vremenskih uvjeta, helikopteri neometano obavljaju svoju zadaću. [2]

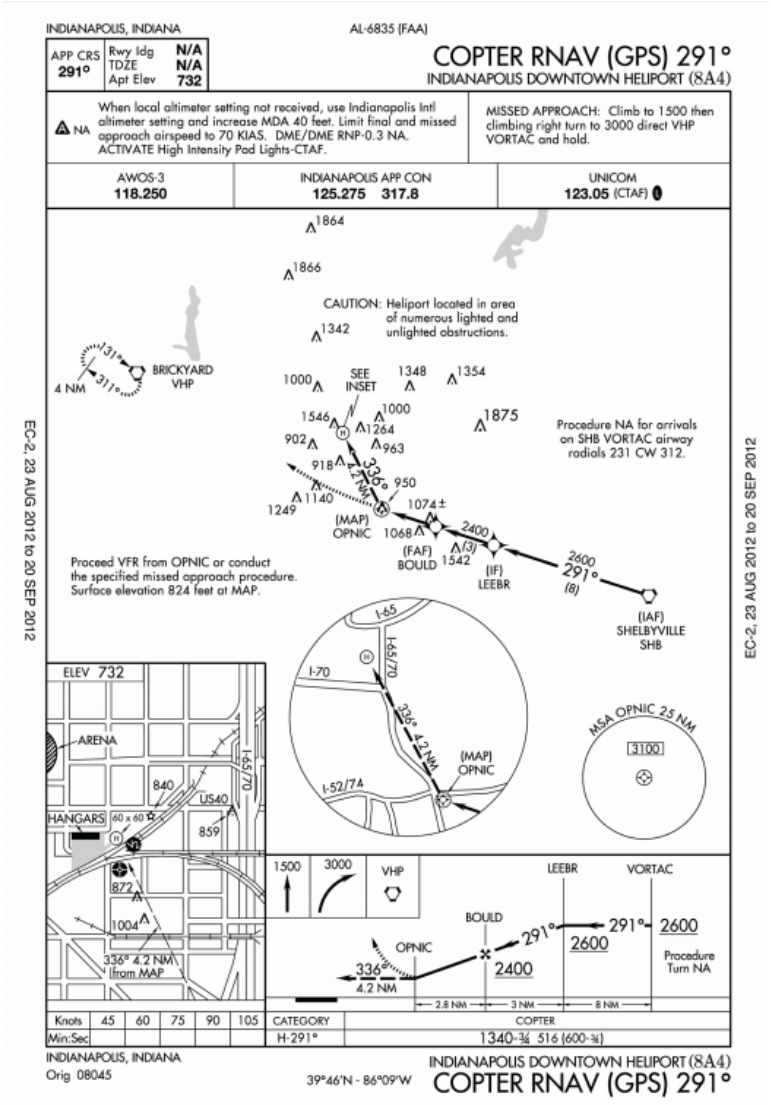
2.1. Uvjeti i prikaz mogućeg prilaza za heliodrom KBC Split

Kako bi prilaz za KBC Split bio moguć potrebno je zadovoljiti određene uvijete. Površina područja završnog prilaza i uzlijetanja FATO-a (područje završnog prilaženja i uzlijetanja) mora biti :

- Otporna na učinke vertikalnog strujanja ispod rotora;
- Bez nepravilnosti koje bi mogle imati negativan učinak na uzlijetanje ili slijetanje helikoptera;

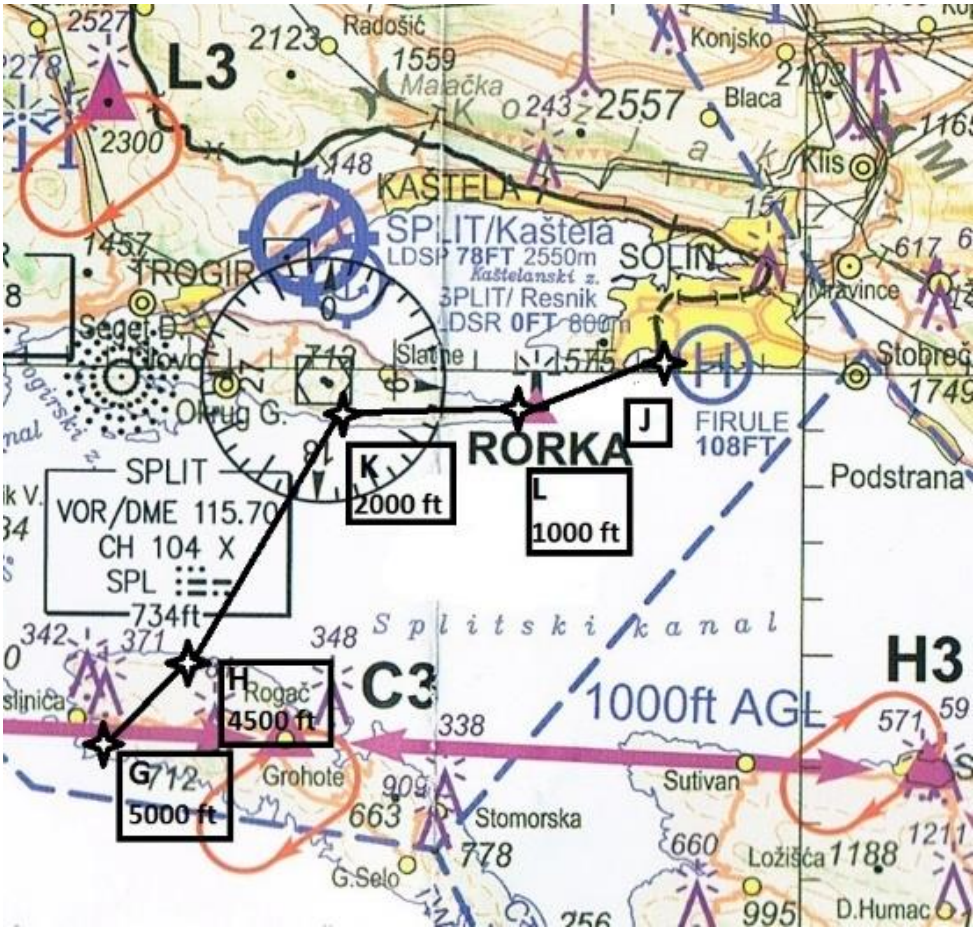
- S dinamičnom nosivošću, kako bi bez oštećenja podnijela opterećenja uzrokovana neuspjelim polijetanjem helikoptera performansi klase 1.

Dimenzije područja završnog prilaza i uzlijetanja (FATO) su za helikoptere performansi klase 1, najmanja širina FATO-a jednaka ili veća od najveće dimenzije (D) najvećeg helikoptera sa rotirajućim rotorom za kojeg je FATO projektiran. Također, najveći dopušteni prosječni nagib cijelog područja završnog prilaza i uzlijetanja FATO-a, u bilo kojem pravcu, iznosi 3%. Na slici 12. vidi se primjer prilaza za heliodrom u Indianapolisu. [10]



Slika 12. Prikaz prilaza na heliodrom u Indianapolisu, [11]

Usporedbom svih uvjeta za prilaznu proceduru te pregledom procedura za slijetanje na drugim heliodromima, dolazi se do jedne od mogućih izvedbi prilaza za heliodrom KBC Split što se može vidjeti na slici 13. Procedura bi se odvijala tako da dolazak na točku G je na 5000 ft te se postupno kroz točke H i K snižava visina. Na točci L helikopter bi bio na visini od 1000 ft te bi nastavio sa prilazom do točke J na kojoj u slučaju da ne postoji vizualni kontakt sa heliodromom išao u proceduru neuspjelog prilaza.



Slika 13. Prikaz mogućeg prilaza za heliodrom KBC Split

3. Pružanje usluga na više staza za slijetanje

GBAS sustav je u mogućnosti davati informacije za maksimalno 48 prilaza sa potpuno drugačijom konfiguracijom. Svaki od 48 prilaza su postavljeni na drugačije parametre. Za svaki FAS podatci, koji su emitirani i parametri kao što su kut poniranja i profil poniranja mogu se postaviti drugačije. Mogućnost emitiranja različitog kuta poniranja za istu stazu omogućuje postavljanje najboljeg prilaza za svaku vrstu zrakoplova koja operira na aerodromu. [2]

4. Navođenje neuspjelog prilaza i pokrivenost više aerodroma

Navođenje prilikom neuspjelog prilaza je korisno u slučaju loših vremenskih uvjeta na aerodromima okruženim s preprekama. Na splitskom aerodromu koristilo bi prilikom neuspjelog prilaza za stazu 05 zbog malog planinskog lanca koji se nalazi sa sjeverne strane aerodroma te prilikom loše vidljivosti pilot je u nemogućnosti vidjeti ga. Na aerodromu Brač također prilikom neuspjelog slijetanja za stazu 22 nalazi se planina koja se u uvjetima smanjene vidljivosti ne može vidjeti. GBAS sustav omogućuje pružanje svojih usluga na više aerodroma u isto vrijeme unutar pokrivenosti VDB emitiranog signala što iznosi 20 NM te omogućuje neometan rad aerodroma Split i Brač te heliodroma KBC Split. [2]

7. Zaključak

GPS je danas najsofisticiraniji sustav pozicioniranja. Koristi se u razne svrhe, od pozicioniranja na samoj zemlji do pozicioniranja zrakoplova koji leti na svojoj zadanoj ruti. GPS se sastoji od tri glavna segmenta: svemirski, upravljači i korisnički. Svemirski segment je najkompleksniji jer se sastoji od cijele konstelacije satelita koji se nalaze u svojim orbitama. GPS sustav iako donosi mnoge prednosti također sa sobom nosi pogreške koje mogu značajno utjecati na određivanje pozicije zrakoplova u kritičnoj fazi leta kao što je slijetanje.

Sustav pozicioniranja GPS zbog pogrešaka, kojih ima mnogo, ne može se koristiti u zrakoplovstvu. Kako bi se osiguralo sigurnije korištenje GPS sustava, uvedena su poboljšanja ABAS, GBAS i SBAS. ABAS sustav je zasnovan na algoritmu koji ispravlja i isključuje neispravni satelit iz proračuna te takav sustav ne omogućuje precizno navođenje zrakoplova prilikom prilaženja za slijetanje. SBAS sustav pokriva najšire područje rada od sva tri poboljšanja te omogućuje precizno pozicioniranje zrakoplova iznad velikog područja. GBAS sustav omogućuje precizno pozicioniranje zrakoplova u okolici aerodroma. Ovaj sustav poboljšanja osigurava precizno pozicioniranje zrakoplova dok je u prilazu za slijetanje.

Implementacija GBAS sustava na aerodrom sadržava mnogo zahtijeva koji se moraju ispuniti. Obradom svih zahtijeva koje GBAS sustav donosi kako bi mogao optimalno raditi došlo se do zaključka da bi se sustav GBAS mogao instalirati na aerodrom Split odnosno na otok Brač. Kako bi sustav najoptimalnije radio, potrebno je VDB antenu instalirati na otok Brač. Tako instalirana antena omogućuje korištenje GBAS sustav ne samo aerodromu Split, već i heliodromu KBC Split. Aerodrom Brač zbog tehničkih nedostataka nije u mogućnosti koristiti GBAS sustav. Pokrivajući aerodroma i heliodrom GBAS sustav donosi mnoge povlastice koje su od velikog značaja za to područje zbog specifičnosti konfiguracije terena te čestih nepovoljnih vremenskih uvjeta.

Literatura

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

[2] ICAO: Guide for ground based augmentation system implementation, svibanj, 2013.

[3] ICAO: Ground Based Augmentation Systems (GBAS) Introduction, Technical and Operational Overview, ožujak, 2010.

[4] ICAO: Global Navigation Satellite System (GNSS) Manual, First Edition, 2005.

[5] http://www.navipedia.net/index.php/GNSS_Augmentation (svibanj 2016.)

[6] http://html.rincondelvago.com/0007229418.png (svibanj 2016.)

[7] https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/general/pictures/EVS300_Verify_your_GBAS_signals_03.jpg (svibanj 2016.)

[8] http://www.faa.gov/documentLibrary/media/Order/8400.13.pdf (lipanj 2016.)

[9] http://www.crocontrol.hr/UserDocsImages/AIS%20produkti/eAIP/2016-05-26-AIRAC/html/index-en-HR.html (lipanj 2016.)

[10] http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2011_02_24_499.html (lipanj 2016.)

[11]https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/instrument_proceproce_handbook/media/Chapter_7.pdf (lipanj 2016.)

[12] http://www.propilotmag.com/archives/2013/Dec%2013/A2_RNP_p1.html (lipanj 2016.)

[13]http://www51.honeywell.com/aero/common/documents/Go_Direct_Documents/RNP_SAASA_White_Paper.pdf (lipanj 2016.)

Popis slika

Slika 1. Prikaz pokazivanja greške satelita s anomalijom, [6] 12

Slika 2. Prikaz rada SBAS sustava, [3] 14

Slika 3. Prikaz koncepta izvedbe GBAS sustava poboljšanja, [7] 15

Slika 4. Konstrukcija poruke se VDB odašiljača, [2] 17

Slika 5. Type 1 korekcijska poruka pseudoudajenosti, [2] 18

Slika 7. Minimalna pokrivenost GBAS sustava, [3] 20

Slika 8. Prikaz položaja VDB antene 27

Slika 9. Prikaz zakrivljenog prilaza na aerodromu Palm Springs, [12] 28

Slika 10. Prikaz moguće izvedbe zakrivljenog prilaza za stazu 23 30

Slika 11. Prikaz udaljenosti između konstruirane crte zakrivljenog prilaza i planine 31

Slika 12. Prikaz prilaza na heliodrom u Indianapolisu, [11] 32

Slika 13. Prikaz mogućeg prilaza za heliodrom KBC Split 33

Popis tablica

Tablica 1. Vrijednost pojedinih izvora pogrešaka 7

Tablica 2. GNSS ograničenje upozorenja integriteta za zračne prostore.....9

Tablica 3. Zahtijevane performanse GBAS sustava 21

Tablica 4. Prikaz konstrukcijskih zahtjeva 26

METAPODACI

Naslov rada: **Analiza mogućnosti implementacije GLS-a na zračnoj luci Split**

Student: **Luka Hrga**

Mentor: **dr.sc. Tomislav Radišić**

Naslov na drugom jeziku (engleski): **Analysis of the possibilitiy of implementation of GLS to airport Split**

Povjerenstvo za obranu:

- Prof. dr. sc. Doris Novak _____ predsjednik
- dr.sc. Tomislav Radišić _____ mentor
- Prof. dr. sc. Tino Bucak _____ član
- Doc. dr. sc. Biljana Juričić _____ zamjena

Ustanova koja je dodijelila akademski stupanj: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

Zavod: **za aeronautiku**

Vrsta studija: Preddiplomski

Studij: **Aeronautika** **(**npr. Promet, ITS i logistika, Aeronautika)

Datum obrane završnog rada: **05.07.2016.**

Napomena: pod datum obrane završnog rada navodi se prvi definirani datum roka obrane.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih
znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

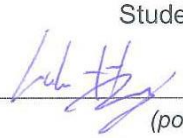
Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog rada pod naslovom **Analiza mogućnosti implementacije GLS-a na zračnoj luci Split**

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

U Zagrebu, 22.06.2016

Student/ica:



(potpis)