

Korištenje GNSS sustava u pomorskoj navigaciji

Bajlo, Šime

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zadar / Sveučilište u Zadru**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:162:216749>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-30**



Sveučilište u Zadru
Universitas Studiorum
Jadertina | 1396 | 2002 |

Repository / Repozitorij:

[University of Zadar Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Sveučilište u Zadru
Pomorski odjel - Nautički odsjek



Zadar, 2023.

Sveučilište u Zadru

Pomorski odjel - Nautički odsjek

Prijediplomski sveučilišni studij nautike i tehnologije pomorskog prometa

(jednopedmetni - izvanredni)

Završni rad iz predmeta: Elektronička navigacija

Korištenje GNSS sustava u pomorskoj navigaciji

Student:

Šime Bajlo

Broj indeksa: 0269154043

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Mate Barić

Komentor:

doc. dr. sc. Ivan Toman

Zadar, 2023.



Izjava o akademskoj čestitosti

Ja, **Šime Bajlo**, ovime izjavljujem da je moj **završni rad** pod naslovom **Korištenje GNSS sustava u pomorskoj navigaciji** rezultat mojega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio mojega rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem da ni jedan dio ovoga rada nije iskorišten u kojem drugom radu pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj, obrazovnoj ili inoj ustanovi.

Sadržaj mojega rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

Zadar, 29. studenog. 2023

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. STRUKTURA AKTUALNIH GNSS SUSTAVA.....	2
2.1. GPS.....	3
2.2. GLONASS	6
2.3. GALILEO.....	7
2.4. BEIDOU	9
2.4. DIFERENCIJALNI SUSTAVI ZA POBOLJŠANJE TOČNOSTI GNSS-a	9
2.4.1. DGNSS.....	9
2.4.2. SBAS.....	12
3. UPOTREBA GNSS U POMORSKOJ NAVIGACIJI	14
3.1. NAVIGACIJA.....	14
3.2. POGREŠKE U ODREĐIVANJU POLOŽAJA POMOĆU GNSS-a.....	17
3.3. ODREĐIVANJE BRZINE BRODA GNSS-om	20
4. PRAVNI ASPEKTI GNSS-a	22
4.1. PRAVNA REGULATIVA GNSS-A	23
4.2. GNSS KAO DIO SVJETSKOG RADIONAVIGACIJSKOG SUSTAVA	24
4.3. UPORABA GALILEA U OPERACIJAMA TRAGANJA I SPAŠAVANJA.....	26
4.4. INTEGRITET GNSS-a U POMORSKOJ NAVIGACIJI.....	29
5. ZAKLJUČAK.....	31
LITERATURA	32
POPIS SLIKA.....	37
POPIS TABLICA.....	38

1. UVOD

Jedan od najvažnijih aspekata pomorske navigacije zasigurno je poznavanje položaja vlastitog broda, kao i drugih brodova u blizini. U današnje doba, Globalni navigacijski satelitski sustav GNSS (engl. *Global Navigation Satellite System*) pruža te informacije na ranije nikad mogućoj razini pouzdanosti i točnosti.

Ovaj završni rad obrađuje temu upotrebe GNSS-a u pomorskoj navigaciji. S obzirom da je precizno vođenje navigacije iznimno važno za sigurnost i ekonomičnost pomorskog prometa, zbog toga je u pomorstvu korištenje GNSS ključno u postizanju tih aspekata pomorske plovidbe.

GNSS uključuje četiri sustava, a to su GPS (engl. *Global Positioning System*), GLONASS (rus. *Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*), Galileo i Beidou, uz niz podsustava za poboljšanje točnosti. GNSS je revolucionarizirao način na koji brodovi provode navigaciju, prate svoj položaj te izbjegavaju nesreće ili pogreške u plovidbi.

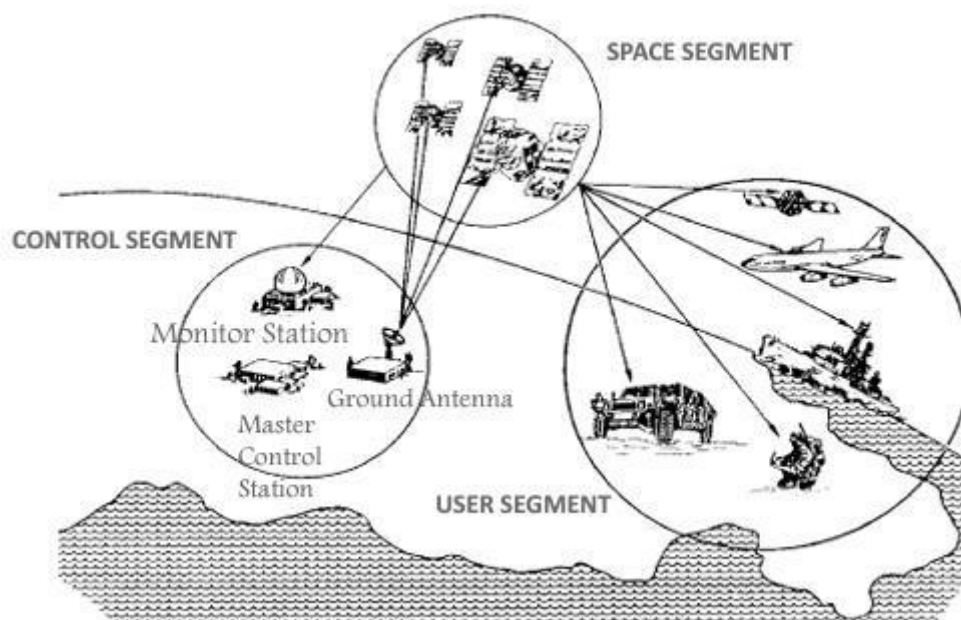
Navedeni satelitski sustavi pružaju povećanje sigurnosti prometa, ali i praktičnost prilikom određivanja položaja, s obzirom da je dostupan u svakom trenutku i ne zahtjeva toliko vremena za izračunavanje poput metoda terestričke ili astronomske navigacije. Nekorištenje GNSS sustava u pomorskoj navigaciji danas je gotovo nezamislivo, zbog samog značaja koje sustav pridonosi tj. sigurnom i preciznom upravljanju brodovima tijekom plovidbe.

Rad se sastoji od uvoda, drugog poglavlja u kojem se obrađuje GNSS i njegovi podsustavi. Treće poglavlje posvećuje se GNSS-u isključivo u kontekstu pomorske navigacije. Četvrto poglavlje razmatra GNSS s pravnog aspekta i navodi koje zahtjeve pred njega stavlja Svjetska pomorska organizacija. Rad završava zaključkom.

2. STRUKTURA AKTUALNIH GNSS SUSTAVA

GNSS obuhvaća skup satelita koji emitiraju signale iz svemira, prenoseći podatke o položaju i vremenu GNSS prijamnicima. Ti prijamnici zatim koriste primljene podatke kako bi odredili svoj položaj. GNSS pruža globalnu pokrivenost, a među primjerima GNSS-a nalaze se europski *Galileo*, američki *NAVSTAR GPS*, ruski *GLONASS* te kineski *BeiDou Navigation Satellite System* [1]. indijski *NavIC* (engl. *Navigation with Indian Constellation*) i japanski *QZSS* (engl. *Quasy-Zenith Satellite System*) regionalnog su karaktera.

GNSS uključuje skupine satelita (svemirski segment) u orbiti oko Zemlje koji emitiraju informacije o svojim pozicijama u svemiru i vremenu, mreže kontrolnih stanica na tlu (kontrolni segment) te prijamnike koji putem trilateracije izračunavaju pozicije na tlu (korisnički segment). Sva tri segmenta prikazuje slika 1.



Slika 1. Segmenti GNSS-a [2]

Svemirski segment se sastoji mreže satelita na srednjim Zemljinim orbitama (visine oko 20 000 km), a svaki je satelit opremljen atomskim satovima. Kontrolni segment čini mreža zemaljskih stanica i antena koje prate mrežu satelita, provjeravaju eventualne neispravnosti u radu te stvaraju nove orbite i predviđanja sata te grade i šalju ažuriranja. Korisnički segment sastoji se od GNSS prijamnika koji prate GNSS signale te temeljem njih dobivaju pozicije i brzine [2]. Primjena GNSS-a proteže se na sve vrste prijevoza, uključujući svemirske postaje, zrakoplovstvo, pomorstvo, željeznicu, cestovni promet te masovni prijevoz. Sustavi za pozicioniranje, navigaciju i vremensko označavanje (PNT - engl. *Positioning, Navigation and*

Timing) imaju ključnu ulogu u različitim sektorima kao što su telekomunikacije, geodetski radovi, provedba zakona, hitne intervencije, precizna poljoprivreda, rudarstvo, financije, znanstvena istraživanja i drugi. GNSS se koristi i za upravljanje računalnim mrežama, zračnim prometom, energetske mrežama i mnogim drugim područjima [3].

Evaluacija performansi GNSS-a temelji se na četiri ključna kriterija:

- Točnost - razlika između izmjerene i stvarne pozicije, brzine ili vremena prijavnika;
- Integritet - sposobnost sustava da pruži prag povjerenja i, u slučaju odstupanja u podacima o pozicioniranju, upozorenje;
- Kontinuitet - sposobnost sustava da funkcionira bez prekida;
- Dostupnost - postotak vremena tijekom kojeg signal ispunjava navedene kriterije [1].

Performanse mu se mogu unaprijediti putem regionalnih sustava za proširenje na temelju satelita (SBAS, engl. *Satellite Based Augmentation System* - Satelitski sustav augmentacije (proširenja) na temelju satelita), poput Europske geostacionarne usluge za nadopunu navigacije (EGNOS, engl. *The European Geostationary Navigation Overlay Service*). EGNOS poboljšava preciznost i pouzdanost GPS informacija ispravljanjem grešaka u mjerenju signala te pružanjem informacija o integritetu svojih signala [1]. Kroz sljedeća poglavlja opisani su GPS, DGPS, GLONASS, Galileo, Beidou te diferencijalni sustavi za poboljšanje točnosti (DGNSS, djelomično spomenut kroz DGPS) i SBAS.

2.1. GPS

Globalni sustav pozicioniranja (engl. *Global Positioning System* - GPS) konceptualiziran je 1960. pod okriljem Američkog ratnog zrakoplovstva, ali 1974. su se pridružile i ostale grane američkog vojnog sustava. Lansiranje prvih satelita u svemir dogodilo se 1978. godine, a sustav je službeno postao potpuno operativan u travnju 1995. GPS se sastoji od najmanje 24 satelita koji orbitiraju oko Zemlje, a svakih 12 sati učine krug oko Zemlje, pružajući informacije o položaju, vremenu i brzini [4]. Omogućuje precizno određivanje položaja na Zemlji putem mjerenja udaljenosti od satelita. Primarno je zamišljen za vojne svrhe, a tek od 1980-ih postao je dostupan i za civilnu uporabu [5]. GPS se sastoji od tri segmenta (kao i GNSS):

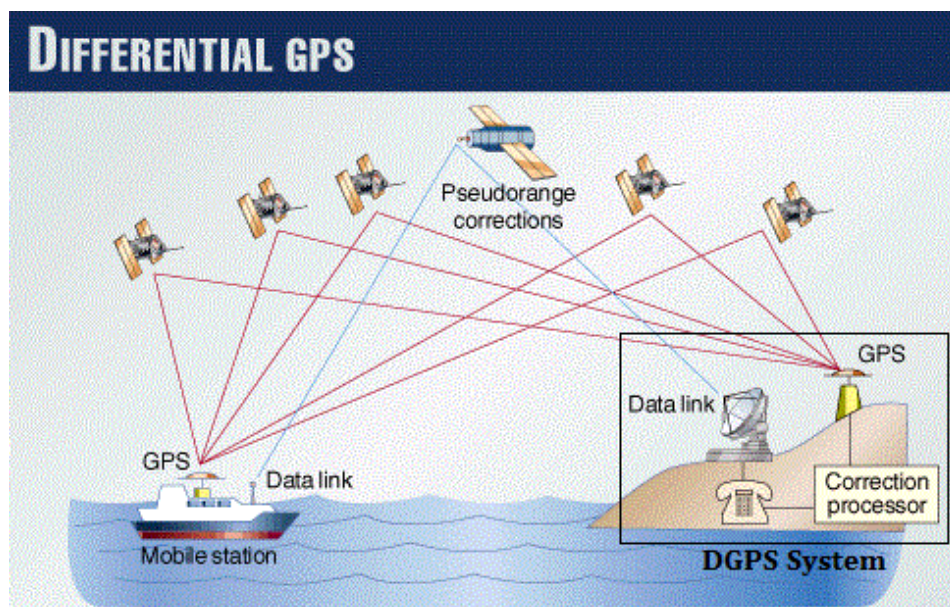
- svemirski segment
- kontrolni segment
- korisnički segment [5].

Svemirski segment čine 24 satelita pozicionirana oko Zemlje na visini koja im omogućava dostatnu pokrivenost. Raspored im je takav da zemaljski GPS prijamnik u svakom trenutku prima signal od minimalno četiri satelita. [6]. Svaki od satelita šalje radijske signale od kojih svaki ima vlastiti jedinstveni kod na različitim frekvencijama, tako da GPS može identificirati signal [7]. Glavna svrha tih kodiranih signala je omogućiti izračun vremena putovanja od satelita do GPS prijamnika. Vrijeme putovanja pomnoženo brzinom svjetlosti jednako je udaljenosti od satelita do GPS prijamnika. Budući da su to signali niske snage i ne prolaze kroz čvrste objekte, važno je imati slobodan pogled prema nebu [5].

Kontrolni segment prati satelite i pruža im ispravne orbitalne i vremenske informacije. Sastoji se od četiri kontrolna centra i jednog glavnog kontrolnog centra. Četiri kontrolna centra primaju podatke od satelita i zatim te informacije šalju glavnom kontrolnom centru gdje se ispravljaju i ponovno šalju satelitima GPS-a [8].

Korisnički segment sastoji se od korisnika i njihovih GPS prijamnika. Broj istovremenih korisnika je neograničen.

DGPS (engl. *Differential Global Positioning System*) koristi se na brodovima kako bi se dobile preciznije informacije o poziciji. U nekim prijamnicima, GPS i DGPS prijamnik integrirani su u istoj jedinici. Također postoje prijamnici s kombiniranom GPS i DGPS antenom [9]. Slika 2 prikazuje princip rada brodskog DGPS-a.



Slika 2. Princip rada DGPS-a [10]

Korisnička oprema mora biti pravilno uzemljena kako bi se smanjila osjetljivost na šum. Geodetski datum koji koristi GPS je Svjetski geodetski sustav 1984 (WGS-84). WGS-84 također je datum koji se koristi za izračun DGPS korekcija. Svaka DGPS stanica ima dvije referentne stanice s jedinstvenim ID brojevima. Jedna referentna stanica je aktivna i povezana s radio odašiljačem, dok je druga referentna stanica rezerva [10]. Brzina prijenosa podataka iznosi 200 bit/s [9].

Značajke DGPS-a su sljedeće:

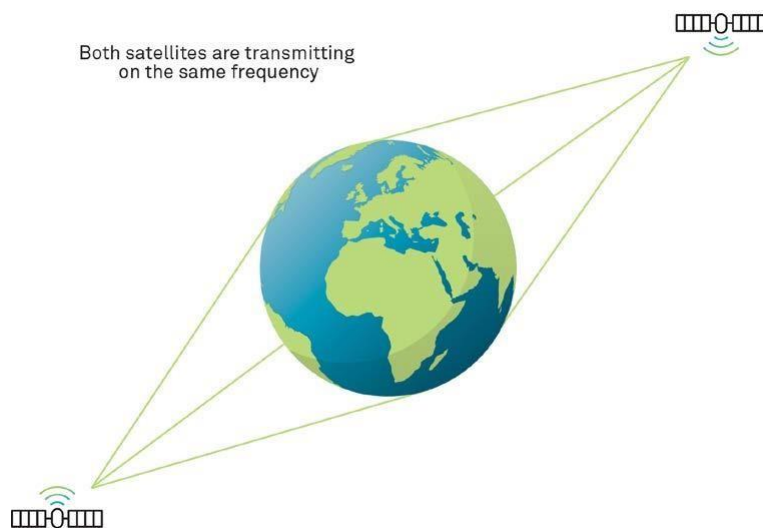
- prevladavanje nedostataka preciznosti,
- sustavi su potpuno automatski,
- poboljšavaju preciznost GPS pozicije samo na područjima gdje sustav djeluje, obično oko 200 nautičkih milja od stanice,
- potrebno je instalirati dodatnu opremu,
- ažuriranja položaja svakih 0.5 sekundi prijavljuju točnost određivanja položaja od otprilike 1 do 3 metra RMS,
- svejedno dalje ovise o dobavljaču GPS signala [11].

Diferencijalna korekcija tehnika je koja značajno povećava točnost prikupljenih podataka DGPS-a. Uključuje uporabu prijavnika poznatog položaja, tzv. "bazne stanice", te usporedbu tih podataka s DGPS položajima prikupljenim s nepoznatih položaja pomoću "prijenosnih prijavnika".

U pogledu isključivo upotrebe pri pomorskoj navigaciji, riječ je o pomorskom navigacijskom sustavu koji radi na frekvencijama od 283,5 do 325 kHz, a trenutno je glavna metoda za lociranje plovila u priobalnoj plovidbi, kao i u hidrografiji i kartografskim sustavima diljem svijeta. Njegova preciznost pozicioniranja određuje se pseudodometnom pogreškom prema satelitima GPS-a, starosti ispravaka pseudodomena i vrijednosti horizontalog "razrijeđivanja" (dilucije) preciznosti (HDOP), koja je ključna za točnost pozicioniranja putem GPS satelita. Godine 2020. Međunarodna hidrografska organizacija (IHO) uvela je novi (najviši) red hidrografskih istraživanja, tj. ekskluzivni red, koji zahtijeva da sustav pozicioniranja pruži točnost od 1 m [12]

2.2. GLONASS

Projekt GLONASS je iniciran od strane Sovjetskog Saveza 1976. godine. Sustav koristi 24 satelita kojima pruža globalne usluge pozicioniranja, pružajući visokoprecizne informacije o trodimenzionalnom (3D) prostoru i brzini, kao i pravodobne usluge. Za razliku od GPS sustava, GLONASS sustav koristi strategiju pristupa s višestrukim pristupom prema frekvenciji [13]. Sustav *Cicada*, s četiri satelita, stupio je u funkciju 1979. godine. Navigacijski sateliti smješteni su u kružne orbite visine 1.000 km s nagibom od 83° i ravnomjernom raspodjelom orbitalnih ravnina prema ekvatoru. Ovaj sustav omogućio je korisnicima praćenje jednog od satelita svakih sat i pol do dva sata te određivanje položaja unutar 5-6 minuta navigacijske sesije. Cicada je koristio jednosmjerna mjerenja raspona od korisnika prema satelitu. Uz poboljšanja u satelitskim sustavima i navigacijskoj opremi, naglasak je bio na poboljšanju točnosti određivanja i predviđanja parametara orbite navigacijskih satelita. Uspješno korištenje niskih orbitalnih satelitskih navigacijskih sustava u pomorskoj navigaciji privuklo je širu pozornost prema satelitskoj navigaciji. Bilo je potrebno razviti navigacijski sustav opće namjene koji bi zadovoljio zahtjeve većine budućih korisnika. Nakon temeljitog istraživanja, odlučeno je usvojiti orbitalnu konstelaciju koja se sastoji od 24 satelita jednako raspoređenih u tri orbitalne ravnine s nagibom od $64,8^\circ$ prema ekvatoru. GLONASS sateliti nalaze se u približno kružnim orbitama s nominalnom visinom orbite od 19 100 km i orbitalnim periodom od 11 sati, 15 minuta i 44 sekunde. Zbog ove vrijednosti perioda, stvorena je održiva orbitalna konstelacija koja, za razliku od GPS-a, ne zahtijeva podršku ispravljanja impulsa tijekom svog aktivnog vijeka [14]. Slika 3 prikazuje dva antipodalna GLONASS satelita.



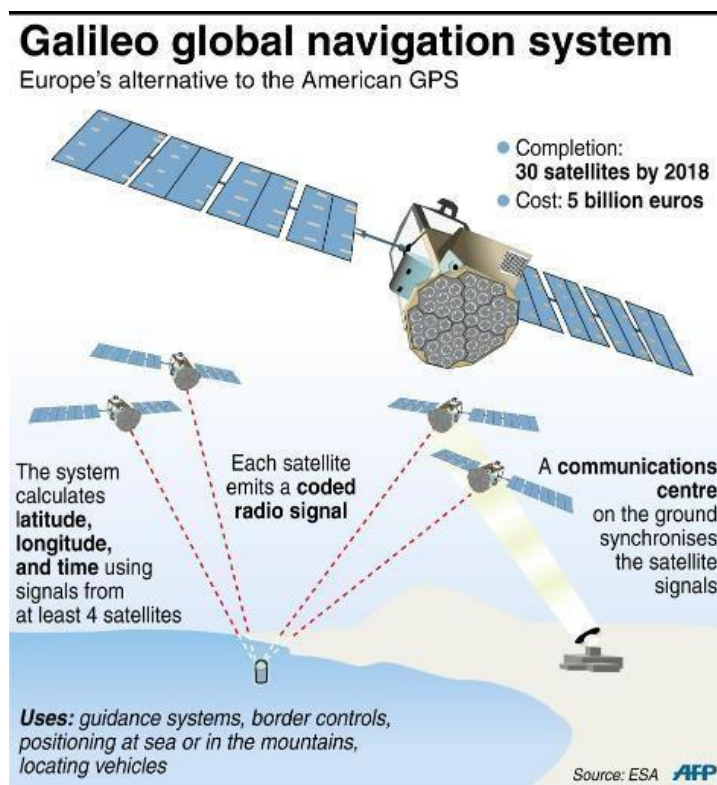
Slika 3. GLONASS antipodalni sateliti [15]

Sam sustav je baziran na 24 satelita koja koriste 14 frekvencija. Sateliti mogu dijeliti frekvencije na način da se koriste antipodalni (nasuprotni) sateliti koji emitiraju na istoj frekvenciji. Ti antipodalni sateliti su na istoj orbitalnoj plohi no udaljeni su 180° . Mogu emitirati na istoj frekvenciji zbog toga što se nikad ne pojavljuju istovremeno pred prijammnikom na Zemljinoj površini [15].

2.3. GALILEO

Galileo je globalni navigacijski satelitski sustav stvoren od strane Europske Unije (EU) i Europske svemirske agencije (ESA – *European Space Agency*). Ime je dobio po Galileu Galileiju. Ideja se začela 1999. godine, a do 2002. projekt je bio gotovo mrtav zbog financijskih problema i pritiska SAD-a. U ožujku 2002. EU i ESA-e financiraju projekt i 2005. dolazi do lansiranja satelita GIOVE-A i 2008. satelita GIOVE-B. Galileo se sastoji od 28 satelita plus rezervni u srednjoj Zemljinoj orbiti (MEO) na visini od 23 222 kilometra. Osam aktivnih satelita su raspoređeni u svakom od tri orbitalna plana pod kutom od 56° u odnosu na ekvator. Sateliti ravnomjerno zauzimaju prostor oko svakog plana i treba im otprilike 14 sati da obiđu Zemlju. Dva dodatna satelita u svakom planu su rezervna, spremna za uporabu u slučaju kvara operativnog satelita [16]. Pružaju dobru pokrivenost čak i na geografskim širinama do 75° N, što odgovara sjevernom rtu Norveške - najsjevernijem dijelu Europe - i izvan toga. Velik broj satelita zajedno s pažljivo optimiziranim dizajnom konstelacije, uz planiranu dostupnost tri aktivna rezervna satelita po orbitalnoj ravnini, tu su da osiguraju neprekinut rad u slučaju gubitka jednog satelita tako da nema primjetnog utjecaja na korisnika [17]. Postoji vrlo visoka

vjerojatnost (više od 90%) da će bilo tko bilo gdje u svijetu uvijek imati pogled na barem četiri satelita te će moći odrediti svoj položaj putem signala mjerenja udaljenosti koje sateliti emitiraju. Nagib orbite odabran je kako bi se osigurala dobra pokrivenost polarnih širina, koje su slabije pokrivenene američkim GPS sustavom. S većine položaja, vidljivo je šest do osam satelita, omogućujući vrlo precizno određivanje položaja - unutar nekoliko centimetara [16]. Slika 4 prikazuje Galileov princip rada.



Slika 4. Galileov princip rada [18]

Svaki satelit emitira kodirani radio sustav koje zemaljski komunikacijski centar sinkronizira. Sustav izračunava zemljopisnu širinu, dužinu i vrijeme koristeći se signalima od minimalno četiri satelita [18].

Na europskom tlu, implementirane su dvije kontrolne stanice Galileo sustava (GCC - *Galileo Control Station*), koje omogućuju praćenje satelita i upravljanje navigacijskim misijama. Podaci prikupljeni putem globalne mreže senzorskih stanica Galilea (GSS - *Galileo Sensor Station*) šalju se Galileo kontrolnim stanicama putem redundantne komunikacijske mreže. GCC koristi te podatke za izračun integriteta i sinkronizaciju vremenskog signala svih satelita s vremenom tla. Razmjena podataka između kontrolnih centara i satelita odvija se putem up-link stanica. Kao dodatna značajka, Galileo pruža globalnu funkciju potrage i spašavanja (SAR -

Search and Rescue), temeljenu na operativnom sustavu Cospas-Sarsat. Sateliti su stoga opremljeni transponderima koji prenose signale ugroze s korisničkih odašiljača regionalnim centrima za koordinaciju spašavanja, koji potom pokreću operaciju spašavanja. Istovremeno, sustav šalje odgovarajući signal korisniku, obavještavajući ga da je njegova situacija prepoznata i da je pomoć na putu. Ova posljednja značajka predstavlja novitet i smatra se značajnim poboljšanjem u odnosu na postojeći sustav, koji ne pruža povratnu informaciju korisnicima [17].

2.4. BEIDOU

BeiDou je satelitski navigacijski sustav samostalno razvijen i upravljani od strane Kine. Riječ je vremensko-prostornoj infrastrukturi koja se koristi u sektorima poput prijevoza, poljoprivrede, šumarstva, ribarstva, komunikacija i javne sigurnosti. Kina se ponosno pridržava načela kako je BeiDou "razvijen od strane Kine, posvećen svijetu, a teži biti najbolji". Kina dijeli rezultate izgradnje i razvoja BeiDou-a s drugim zemljama, potičući globalni razvoj satelitske navigacije i na taj doprinoseći GNSS-u. Sam razvoj ovog sustava započeo je krajem 20. stoljeća kada je Kina krenula istraživati put kojim bi se satelitski navigacijski sustav za nacionalne potrebe mogao razvijati. Razvojna strategija bila je podijeljena u tri segmenta. Gradnja prvog segmenta započela je 2000. godine, drugi segment je završen 2012., a treći 2020. godine [19].

Svemirski segment se sastoji od konstelacije 45 satelita. BDS-2 satelita u konstelaciji je ukupno 12, a na visini su između 21 528 km (MEO) i 35 787 (GEO i IGSO). BDS-3 satelita u konstelaciji ima ukupno 32, a najviše je onih na visini od 21 528, odnosno MEO satelita. B2 rade na frekvenciji od 1207,140 MHz, a B3 1268,520 MHz [20].

2.4. DIFERENCIJALNI SUSTAVI ZA POBOLJŠANJE TOČNOSTI GNSS-a

Diferencijalni sustavi za poboljšanje točnosti GNSS-a predstavljaju sustav koji omogućuju korisnicima izvođenje diferencijalnog pozicioniranja i dobivanja pouzdanog položaja visoke točnosti u stvarnom vremenu na prostranim područjima.

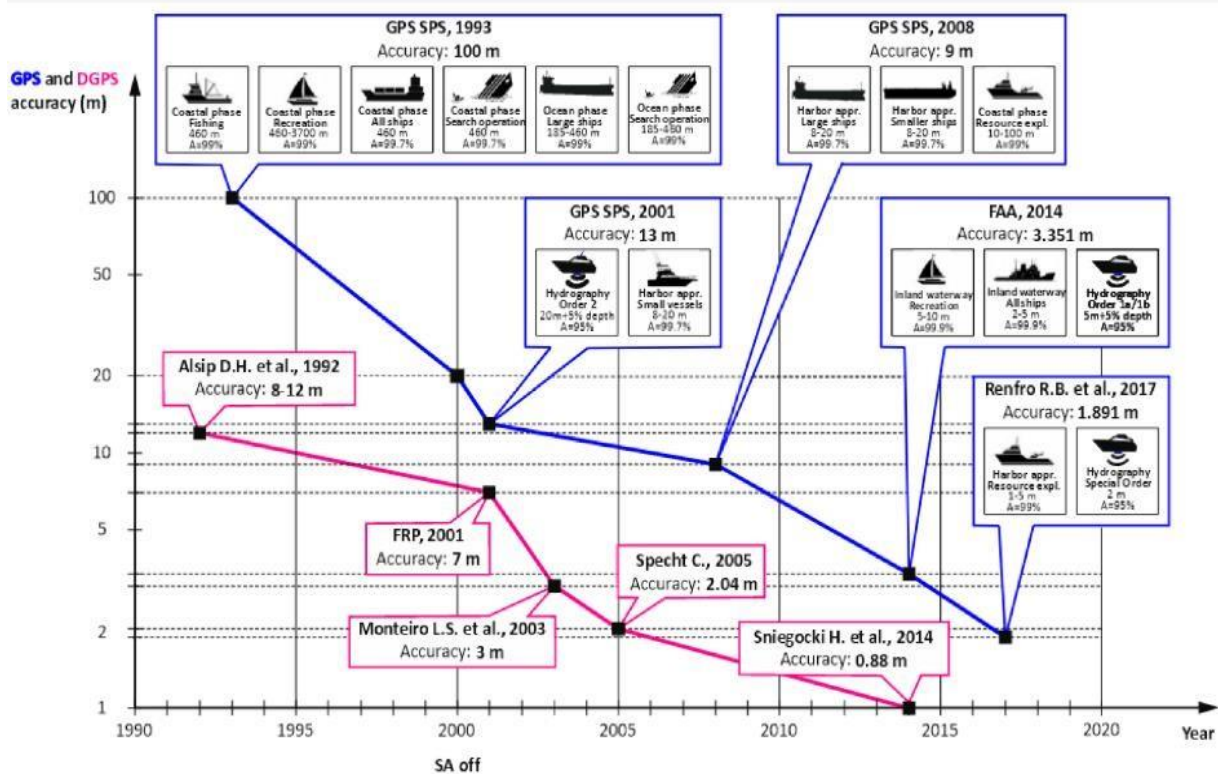
2.4.1. DGNSS

DGNSS (diferencijalni GNSS sustav) je sustav u kojem se razlike između promatranih i izračunatih koordinata (poznate kao diferencijalne korekcije) na određenoj poznatoj točki šalju korisnicima (GNSS prijammici na drugim točkama) radi poboljšanja točnosti položaja

korisničkih prijamnika [21]. (DGNSS) pruža uslugu prijenosa korekcijskih signala navigacijskoj opremi GNSS-a na brodovima. DGNSS usluga poboljšava točnost GNSS položaja i kvalitetu signala. Korisnici (brodovi) moraju biti opremljeni prijamnikom radio odašiljača DGNSS-a kako bi koristili korekcije iz DGNSS usluge. Najkorišteniji oblik DGNSS-a u pomorskoj navigaciji je DGPS koji se ističe većom preciznošću u odnosu na standardni GPS:

Prva ispitivanja preciznosti pozicioniranja DGPS-a provedena su tijekom 1990-ih, pokazujući sposobnost postizanja točnosti od 8 do 12 metara uz aktivno korištenje selektivne dostupnosti (engl. *Selective Availability - SA*) i operaciju u GPS SPS [22]. Nakon isključenja SA u GPS sustavu 2001. godine, primjetan je značajan napredak u preciznosti DGPS-a. Relevantan dokument za globalnu navigaciju [23] ukazuje da je točnost DGPS sustava iznosila 7 metara 2001. godine. Johnson i suradnici [24] naglašavaju da je točnost postignuta putem mreže od 85 američkih DGPS postaja bila 10 metara. Godine 2003., Monteiro i suradnici proveli su ispitivanje na moru u lukama i priobalnim područjima na brodu Hidrografskog ureda Portugala, postižući točnost veću od 3 metra [25].

Istraživanje točnosti pozicioniranja pomoću GPS-a i DGPS-a, provedeno tijekom godina od strane brojnih istraživača, omogućilo je općenite zaključke. Slika 5 prikazuje uspoređivanje točnosti GPS-a i DGPS sustava tijekom posljednjih 30 godina.



Slika 5. Usporedba točnosti GPS-a i DGPS-a kroz godine [12]

Vidljiva je snažna povezanost između povećanja preciznosti pomorskog DGPS sustava i poboljšanja točnosti glavnog sustava, odnosno GPS-a. Slika također naglašava pomorske navigacijske primjene oba sustava, omogućene zahvaljujući poboljšanoj preciznosti [21].

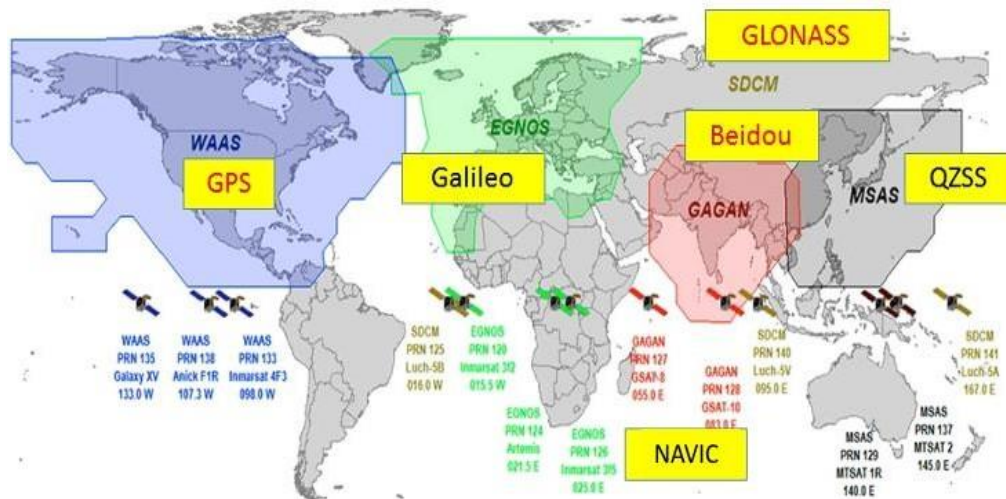
Značajke DGPS koje točnost njegovog položaja povećavaju u odnosu na položaj GPS-a su sljedeće:

- DGPS s nominalnih 15 metara točnosti GPS-a točnost "dovodi" na otprilike 10 centimetara u slučaju najboljih implementacija,
- DGPS koristi mrežu fiksnih referentnih postaja na tlu kako bi emitirao razliku između pozicija naznačenih od strane GPS satelitskih sustava i poznatih fiksnih pozicija,
- Prethodno navedene postaje emitiraju razliku između izmjerene pseudoudaljenosti satelita i stvarnih (interni izračun) pseudoudaljenosti te prijemni uređaji mogu ispraviti svoje pseudoudaljenosti za isti iznos,
- Digitalni ispravljački signal obično se emitira lokalno preko zemaljskih odašiljača kraćeg dometa [21].

Sustav se sastoji od glavne kontrolne stanice, niza lokalnih ili globalnih nadzornih stanica te pripadajućih komunikacijskih veza. Nadzorne stanice prikupljaju podatke s GNSS satelita i prosljeđuju ih glavnoj kontrolnoj stanici. Potonja procjenjuje parametre ionosfere, troposfere, efemeride satelita te pogreške u vremenu, a sve korekcije prenose se korisnicima putem interneta, bežičnih komunikacija ili satelitskih veza. Točnost prijemnika varira ovisno o raspodjeli referentnih nadzornih stanica, preciznosti modeliranja pogrešaka i komunikacijskim sposobnostima, te se može kretati u rasponu od 1 do 3 metra. Već su razvijeni programi koji korisnicima šalju ispravke GNSS-a kako bi postigli veću preciznost. Kao što je prethodno spomenuto, prijenos faza s modelima pogrešaka za rješavanje nejasnoća omogućuje postizanje centimetarske preciznosti za prijemnik. S obzirom na napredak bežičnih komunikacija i interneta, otvorene su nove mogućnosti primjene sustava za pozicioniranje u stvarnom vremenu s ciljem postizanja centimetarske točnosti korištenjem samo jednog prijemnika [26].

2.4.2. SBAS

Satelitsko-bazirani augmentacijski sustavi SBAS služe poboljšanju performansi GNSS-a. Primjer takvih je već navedeni Europski EGNOS. SBAS poboljšava točnost i pouzdanost GNSS informacija tako što ispravlja greške mjerenja i pruža informacije o točnosti, integritetu, kontinuiranosti te dostupnosti samih signala. Informacije se preuzimaju preko strateški postavljenih referentnih stanica širom kontinenta. Sve greške GNSS se potom šalju u središnji računalni centar gdje se računaju diferencijalni ispravci te poruke integriteta. Europski EGNOS pokriva većinu područja Europske unije. SAD ima WAAS (engl. *Wide Area Augmentation System*), Japan MSAS (engl. *Michibiki Satellite Augmentation System*), Kina BDSBAS (kin. *BeiDou*), Rusija SDCM (engl. *Differential Corrections and Monitoring*), Afrika ANGA (engl. *Augmented Navigation for Africa*) [27]. Slika 6 prikazuje neke globalne augmentacijske sustave.



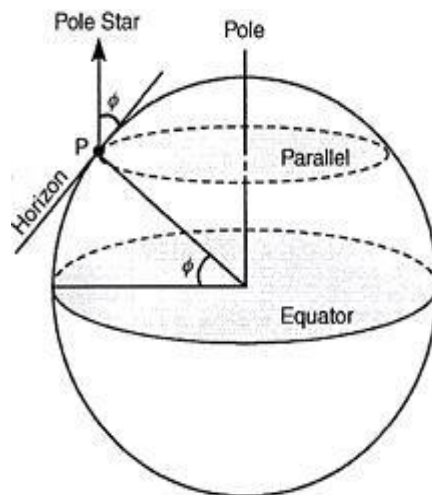
Slika 6. Globalni augmentacijski sustavi [2]

3. UPOTREBA GNSS U POMORSKOJ NAVIGACIJI

3.1. NAVIGACIJA

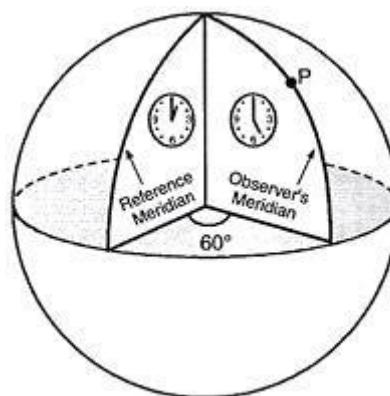
Navigacija je proces određivanja pozicije i smjera, a može se podijeliti na relativnu i apsolutnu navigaciju. Relativna navigacija dijeli se na zbrojenu navigaciju (engl. *dead reckoning*) i azimute kopnenih objekata [2]. Zbrojena ili računata navigacija predstavlja navigacijski sustav u kojem se položaj broda (zbrojeni položaj) određuje temeljem kursova preko dna, prevaljenog puta preko dna ili vremena plovidbe te brzine preko dna u određenom kursu, počevši od prethodne opažene (stvarne) pozicije. Ova metoda je osnova za sve navigacijske sustave, s posebnim značajem prilikom plovidbe na otvorenom moru i u uvjetima smanjene vidljivosti. Giropilot, zbirni stol, moderni inercijalni navigacijski uređaj i Dopplerov navigacijski uređaj pridonose posebnoj preciznosti ovog sustava [28]. Navigacija pomoću kopnenih objekata vrši se navigacijskim instrumentima pomoću kojih se osmatranjem određuju azimuti, pramčani kutovi, horizontalni ili vertikalni kutovi i sl. Pozicija broda se dobije tako što se odrede najmanje dvije stajnice čije sjecište daje točnu poziciju broda. Može biti osmatranje objekata u isto vrijeme (engl. *fix*) ili u razmaku vremena (engl. *running fix*) [29].

Apsolutna se pak navigacija temelji na zemljopisnog dužini i širini, odnosno preciznim geoprostornim koordinatama. Pozicija prijarnika određuje se točno prema GNSS satelitima uz korištenje samo jednog GNSS prijarnika. Problem su greške i izvori grešaka prilikom mjerenja, no oni se mogu ispraviti naknadno [30]. Jedna od metoda je i astronomska metoda kod koje se za zemljopisnu širinu mjeri visina Polare iznad horizonta pomoću sekstanta ili astrolaba. Slika 7 prikazuje astronomsku metodu mjerenja.



Slika 7. Astronomska metoda mjerenja zemljopisne širine [2]

Zemljopisna dužina se (astronomski) računa korištenjem vrlo točnog sata ili nebeskog instrumenta (sekstanta za mjerenje visine nebeskih tijela iznad horizonta, preciznog sata za određivanje vremena promatranja, almanaha za pronalaženje predviđene pozicije tijela, magnetskog kompasa za određivanje azimuta i održavanje kontinuiteta kursa između nebeskih promatranja) [2]. Slika 8 prikazuje mjerenje zemljopisne dužine astronomskom metodom.

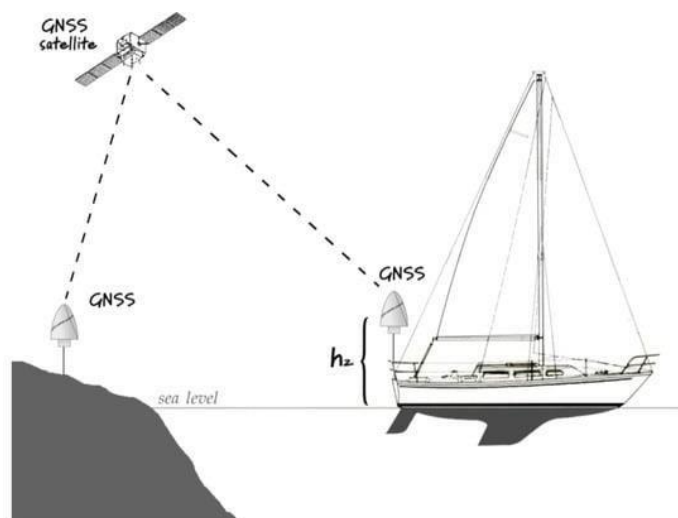


Slika 8. Mjerenje zemljopisne dužine [2]

3.2. PRINCIP RADA GNSS-A

Kada se GNSS prijammnik aktivira, prvo preuzima informacije o orbitama svih satelita. Taj postupak, prilikom prvog uključivanja, može potrajati do 12,5 minuta, ali nakon što se informacije preuzmu, pohranjuju se u memoriju prijammnika za buduću upotrebu. Iako GNSS prijammnik zna precizan položaj satelita u svemiru, još uvijek mora odrediti udaljenost od svakog satelita od kojeg prima signal. Tu udaljenost prijammnik izračunava množeći brzinu prenesenog

signala vremenom koje mu je potrebno da stigne do prijammnika. Slika 9 prikazuje princip rada GNSS-a.



Slika 9. Princip rada (D)GNSS-a [9]

Prijamnik već ima informaciju o brzini, koja je brzina radijskih valova ili 300 000 kilometara u sekundi (brzina svjetlosti). Da bi odredio vremenski dio formule, prijamnik uspoređuje kod koji satelit prenosi s vlastitim kodom i, uspoređujući ih, utvrđuje koliko mora odgoditi svoj kod kako bi odgovarao kodu satelita. Ovo odgođeno vrijeme pomnoženo brzinom svjetlosti daje udaljenost. Sat prijammnika GNSS-a manje je precizan od atomske sata u satelitu, pa se svako mjerenje udaljenosti mora ispraviti kako bi se uzelo u obzir unutarnje odstupanje sata GNSS prijammnika [5].

3.2. POGREŠKE U ODREĐIVANJU POLOŽAJA POMOĆU GNSS-a

Određivanje položaja koristeći GNSS uključuje i određene pogreške koje se javljaju. Kao što je već prethodno objašnjeno, prijamnik se zaključava na jedan satelit i putem tog satelita dobiva almanah svih ostalih satelita, čime odabire najprikladnije satelite za određivanje položaja. Položaj koji prijamnik dobiva temelji se na određivanju udaljenosti od prijamnika do svakog odabranog satelita. Slika 10 prikazuje klasični brodski GPS prijamnik.



Slika 10. Brodski GPS prijamnik [31]

Mjerenje udaljenosti postiže se mjerenjem vremena prijenosa od odabranog satelita do prijamnika. Nije moguće precizno usklađivanje satelitskog i prijamničkog sata, stoga se koriste tzv. pseudoudaljenosti. Pseudoudaljenost je važno definirati a temelji se na formuli koja glasi:

$$p_r^s = \rho_r^s + c(dt_r - dt^s) + T_r^s + I_r^s + e_r^s,$$

gdje je:

ρ_r^s – zemljopisna udaljenost prijamnika od satelita

dt_r – odstupanje sata u prijamniku

dt^s – odstupanje satelitskog sata

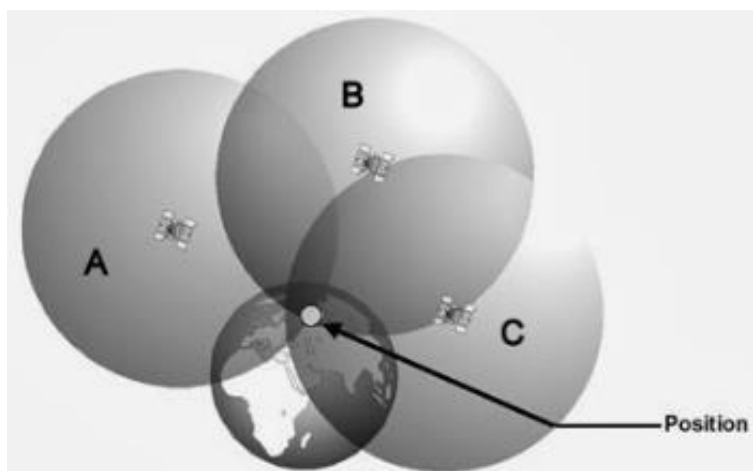
c – brzina svjetlosti

T_r^s – troposfersko kašnjenje signala

I_r^s – ionosfersko kašnjenje signala

e_r^s – ostali čimbenici pogrešaka kao što je šum prijamnika ili višestruki putovi [32]

Zbog toga se koriste dodatni sateliti kako bi se dobile stvarne udaljenosti [21]. Slika 11 prikazuje GPS određivanje pozicije broda.



Slika 11. GPS pozicija broda [21]

Svaki (brodski) GPS i DGPS ima svoje greške. Tablica sadrži izvore grešaka i uobičajen raspon greške.

Tablica 1. Izvori i uobičajen raspon grešaka [21]

Izvor greške	Uobičajeni raspon greške
SV Sat	1 m
SV Efemere ¹	1 m
Selektivna dostupnost	10 m
Troposfera	1 m
Ionosfera	10 m
Šum pseudoudaljenosti	1 m
Šum prijamnika	1 m
<i>Multipath</i>	0,5 m
RMS ² greška	15 m
Greška * PDOP ³ = 4	60

Slijedi objašnjenje pojedinih (dodatnih) grešaka. To su: atmosferska greška, greška sata korisnika, greška satelitskog sata, GDOP greška, greška višestrukog odraza (*multipath*) greška te orbitalna greška.

¹ Efemere pružaju informacije o relativnoj poziciji satelita u odnosu na Zemlju.

² *Root Mean Square Value* (korijen srednje kvadratne vrijednosti) – standardna devijacija predvidljivih grešaka.

³ *Position Dilution of Precision* (dosl. razrijeđena preciznost pozicije) – nesigurnost trodimenzionalnih pozicija.

Atmosferska pogreška

Atmosferska pogreška se sastoji od dvije komponente: greške donje i greške gornje atmosfere. Greška gornje atmosfere podrazumijeva električki nabijen sloj (ionosferu) čija gustoća električnog naboja varira, pa stoga signali na pojedinim dijelovima više kasne. Koristeći se modelima karakteristika ionosfere, GPS stanice za praćenje računaju i emitiraju ispravke satelitima. Greška donje atmosfere se odnosi na troposferu, tropopauzu i stratosferu. Također pridonose kašnjenju GPS signala, a najviše kasne signali onih satelita koji su bliže horizontu, budući da prolaze kroz najveći dio atmosfere [33].

Promjene atmosferskih uvjeta mijenjaju brzinu GPS signala dok prolaze kroz Zemljinu atmosferu, što utječe na mjerenje vremenske razlike, a položaj neće biti točan. Svaki satelit šalje svoju poruku na dvije frekvencije, stoga dvostruki frekvencijski prijamnik prima obje frekvencije, a ispravak se izračunava i kompenzira unutar prijamnika, povećavajući time točnost pozicije [34]. Učinak je minimiziran kada je satelit izravno iznad, a postaje veći za satelite bliže horizontu. Prijamnik je dizajniran da ne koristi satelitske signale s elevacijom manjom od 9,5 stupnjeva [21].

Greška sata korisnika

Ako korisnički sat nije savršeno sinkroniziran sa satelitskim satom, mjerenje udaljenosti neće biti točno. Pseudoudaljenost je pretpostavljena udaljenost između satelita i prijamnika, ali ne odgovara zemljopisnoj udaljenosti, ponajprije zbog grešaka sinkroniziranosti između sata prijamnika i satelitskog sata [35]. Ova se pogreška može eliminirati unutar prijamnika dobivanjem pseudoudaljenosti od tri satelita, a automatski se obavlja unutar prijamnika [21].

Greška satelitskog sata

Ova se pogreška javlja zbog pogreške u satelitskom satu u odnosu na GPS vrijeme. To nadzire zemaljski segment i svaka pogreška u satelitskom satu dio je navigacijske poruke od 30 sekundi [21].

GDOP pogreška

GDOP (engl. *Geometric Dilution of Precision* - dosl. zemljopisno „razrijeđivanje“ (dilucija) preciznosti) satelita predstavlja grešku određivanja položaja kao posljedice geometrije satelita. Što je veći kutni razmak između satelita, to je bolja točnost pozicije. Drugim riječima, što je

niža vrijednost GDOP-a, to je veća točnost pozicije [21]. Može se izraziti kao niz posebnih mjerenja.

DOP se može izraziti kao niz odvojenih mjerenja:

- HDOP – horizontalna dilucija preciznosti,
- VDOP – vertikalna dilucija preciznosti,
- PDOP – dilucija preciznosti položaja (3D),
- TDOP – dilucija preciznosti vremena.

Ove vrijednosti matematički proizlaze iz pozicija upotrebljivih satelita. Prijemnici signala omogućuju prikaz tih pozicija (nebeska karta) kao i vrijednosti DOP.

Ovaj se termin može primijeniti i na druge sustave određivanja položaja koji koriste nekoliko prostorno razdvojenih geografskih mjesta. Može se pojaviti u sustavima elektroničkog ometanja (elektroničko ratovanje) prilikom računanja položaja neprijateljskih odašiljača (radarskih ometača i uređaja za radio komunikacije). Korištenje takve tehnike interferometrije može pružiti određeni geometrijski raspored gdje postoje stupnjevi slobode koje nije moguće uzeti u obzir zbog nedostatnih konfiguracija [21].

Pogreška višestrukog odraza

Ova pogreška uzrokovana je time što satelitski signali dolaze do antene broda izravno od satelita i onih koji se odbijaju od nekih objekata kao što je u slučaju pomorske navigacije, brodsko nadgrađe [36]. Dakle, primaju se dva signala istovremeno što uzrokuje iskrivljenje signala iz kojeg se dobiva mjerenje udaljenosti. Postavljanje antene na odgovarajuće mjesto može minimizirati ovu pogrešku [21].

Orbitalna pogreška

Sateliti se nadziru, a njihove se staze predviđaju pomoću zemaljskog segmenta. Između dva uzastopna praćenja istog satelita moguća su manja odstupanja od njihovih predviđenih staza što rezultira malom netočnošću pozicije.

3.3. ODREĐIVANJE BRZINE BRODA GNSS-om

Nakon primanja signala s najmanje četiri različita GPS satelita, brodski prijemnik može izračunati svoj položaj u sva tri smjera (na temelju vremenskih kašnjenja između signala). Kada prijemnik zna točan položaj u bilo kojem trenutku, unutarnja elektronika prati taj položaj u vremenu i izračunava brzinu broda [37]. Preciznije:

Za određivanje brzine korisnika mjeri se Dopplerov pomak, tj. promjene u frekvenciji radio valova primljenih kada se udaljenost između satelita i korisnika (broda) mijenja zbog relativnog kretanja između njih. Položaj i brzina satelita, kao i položaj korisnika, poznati su brodskom prijemniku.

Vektor brzine satelita može se rastaviti na dva načina:

- u smjeru prema brodu,
- u smjeru koji je okomito na brod.

Druga se komponenta ne smatra brzinom jer brzina u tom smjeru neće uzrokovati Dopplerov pomak. Prijemnik izračunava vektor brzine satelita u smjeru prema korisniku.

Ako relativna pristupna brzina između satelita i brzine korisnika (temeljene na mjerenju Dopplerovog pomaka) nije jednaka vektoru brzine satelita prema korisniku; razlika može proizaći samo zbog brzine korisnika prema ili od satelita.

Slično, uz pomoć druga dva satelita, prijemnik može izračunati još dva dodatna vektora brzine, a ovi vektori brzine bit će prema ili od njihovih odgovarajućih satelita. Ovi vektori brzine rastavljaju se na tri druga vektora, tj. x, y i z koordinate, i s ta tri vektora izračunava se smjer i brzina korisnika [21].

4. PRAVNI ASPEKTI GNSS-a

Bez pozicije broda on je doslovno izgubljen na moru. Određivanje pozicije broda od njenih samih početaka sa pa do danas omogućilo je čovječanstvu istraživanje novih zemalja, sigurnu navigaciju, pronalaženje sigurnih pomorskih puteva, pronalaženje puteva do destinacija i još mnogo drugih stvari. Navigacija i precizno određivanje pozicije broda prešlo je dug put od samih amaterskih početaka, preko instrumentalnih pomagala za navigaciju poput sekstanta, kompasa, kronometra, karata do automatskog određivanja pozicije pomoću satelita stacioniranog u svemiru to jest elektroničke navigacije [38]. Prva uporaba satelitske navigacije primijenjena je 1960 od strane ratne mornarice SAD – a i koristila se isključivo u vojnom pomorstvu do 1983. godine kada je predsjednik SAD - a Ronald Reagan odobrio je korištenje NAVSTARA ili GPS u civilne komercijalne svrhe, a samim time se počela primjenjivati i u trgovačkoj pomorskoj navigaciji. Također i ruski sustav GLONASS prelazi u civilnu uporabu 80-ih godina. GNSS tehnologija nastavila se poboljšavati tijekom 1980-ih i 1990-ih. Danas se koristi kombinacija svih navedenih satelitskih sistema radi bolje točnosti, preciznosti i pouzdanosti u pomorskoj navigaciji, te zbog mogućnosti broda da istovremeno prati veći broj satelita [39].



Slika 12. Navigacijska pomagala kroz povijest [40]

GNSS nadilazi geografska ograničenja pokrivajući čak i najudaljenija i još neistražena područja. Za razliku od svjetionika (referenca na povijest, ali i sadašnjost) ograničenih njihovim fizičkim smještajem i dometom, GNSS omogućuje brodovima sigurnu navigaciju. GNSS radi 24/7 pružajući neupitno vođenje bez obzira na vremenske uvjete. To oštro kontrira svjetionicima koji se mogu zasjeniti tijekom nepovoljnih vremenskih uvjeta, potencijalno ugrožavajući sigurnu navigaciju. Preciznost je ključna u modernoj navigaciji, a GNSS upravo to pruža. S pogodnom preciznošću, GNSS uređaji pomorcima daju podatke visoke točnosti o njihovom trenutnom položaju. Svjetionici nude fiksne referentne točke koje zahtijevaju periodičke vizualne provjere. Pruža ažuriranja u stvarnom vremenu te na taj omogućava brodovima provjeren i točan ostanak na kursu. Uz to, GNSS uređaji zahtijevaju minimalno održavanje, čineći ih ekonomičnim i učinkovitim navigacijskim rješenjem [41].

4.1. PRAVNA REGULATIVA GNSS-A

Međunarodna pomorska organizacija IMO (engl. *International Maritime Organization*) rezolucijama regulira uvjete koje GNSS mora udovoljavati.

Međunarodna konvencija o zaštiti ljudskih života na moru (SOLAS - engl. *Safety of Life at Sea*) zahtijeva da svaki trgovački brod ima prijemnik za GNSS ili kopneni radionavigacijski sustav, ili druga sredstva koja su prikladna za uporabu tijekom cijelog namijenjenog putovanja kako bi se automatskim sredstvima utvrdila i ažurirala pozicija broda. Međutim, također moraju imati kompas, uređaj za smjiranje i rezervne uređaje za ECDIS (engl. *Electronic Chart and Display System* - elektroničke karte). IMO ne upravlja izravno GNSS sustavima, ali ima važnu ulogu u prihvaćanju i prepoznavanju svjetskih radionavigacijskih sustava koji se mogu koristiti u međunarodnoj plovidbi [42].

Kada je SOLAS iz 1960. godine usvojen od strane IMO-a, kopneni radionavigacijski sustavi, uključujući Decca Navigator i Loran A, već su bili u uporabi. U tim sustavima, radio-prijamnik broda mjerio bi prijenose skupina radio odašiljača koji šalju signale istodobno ili kontroliranim slijedom. Mjerenjem fazne razlike između jednog para prijenosa mogla bi se utvrditi linija položaja. Drugo mjerenje, od drugog para stanica, daje drugu liniju, a presjek dviju linija daje položaj broda. Slika 13 prikazuje DECCA uređaj [42].



Slika 13. DECCA Navigator Mk 21 [43]

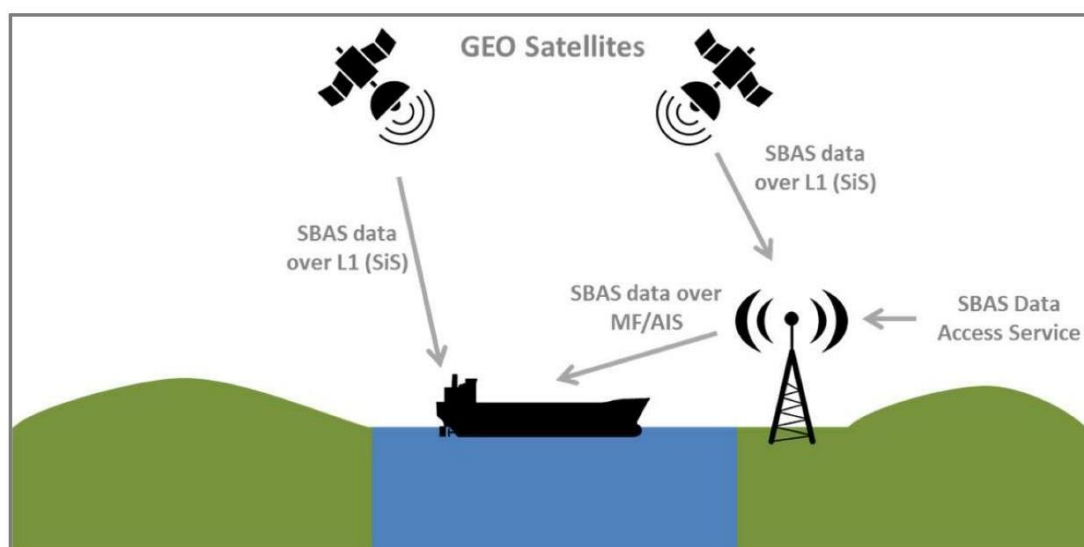
Prema SOLAS-u, svi brodovi od 1600 BT i veći na međunarodnim putovanjima moraju biti opremljeni uređajem za radijsko odašiljanje. IMO je također primijetio potencijal za precizno određivanje položaja koje bi sateliti mogli pružiti. Standardi izvedbe za brodske GPS prijemnike usvojeni su i 1995. godine, a za GLONASS prijamnike 1996. godine. GPS je postao potpuno operativan 1995. godine, a GLONASS 1996. godine. Oba su sustava priznata od strane IMO-a kao komponente svjetskog radionavigacijskog sustava 1996. godine. U lipnju 2015., Pomorski odbor usvojio je standarde izvedbe za više-sustavni brodski prijamnik radijske navigacije kako bi se osiguralo da brodovi budu opremljeni otpornom opremom za određivanje položaja prikladnom za korištenje s dostupnim sustavima radionavigacije tijekom cijelog njihova putovanja [44].

4.2. GNSS KAO DIO SVJETSKOG RADIONAVIGACIJSKOG SUSTAVA

IMO priznaje temeljne GNSS konstelacije kao dijelove Sustava svjetske radijske navigacije (WWRNS - *World Wide Radio Navigation System*). Galileo prijamnici s dvostrukom frekvencijom bit će usklađeni s razinama točnosti potrebnim za navigaciju na oceanima, obalnim vodama, ulazima u luke i prilazima lukama, s horizontalnom pogreškom sustava navigacije manjom od 10 metara i vjerojatnošću od 95%. GNSS signal također je podložan smetnjama, bilo da su prirodne, uzrokovane odrazima i kanjonima izazvanim infrastrukturom luka i drugim plovilima, ili pak namjernim ometanjem i iskrivljavanjem. To naglašava potrebu za uvođenjem dodatnih sustava navigacije kao rezervne opcije, primjerice e-Lorana. IMO

razvija standarde izvedbe više-sustavnih prijemnika za brodove te potrebu za integracijom različitih trenutnih i budućih satelitskih navigacijskih sustava, kao i kopnenih sustava (kao što je e-Loran) i sustava povećanja (kao što su već navedeni DGPS ili SBAS).

Integracija GNSS-a sa SBAS-om, omogućava precizno i pouzdano pozicioniranje, ne samo tijekom plovidbe oceanima, već i pri prilasku lukama, plovidbi unutarnjim vodama i kretanju u ograničenim vodama. Isti signal se koristi i na brodovima i od strane obalnih usluga za praćenje pomorskog prometa (VTS – engl. *Vessel Traffic Service*) kako bi podržao operacije luka, upravljanje prometom i izbjegavanje sudara. GNSS sa SBAS-om često se kombinira s preciznim kopnenim sustavima poput eLorana u prijenosnim pilotnim jedinicama (PPU - engl. *Portable Pilot Units*), omogućujući čak i najvećim tankerima i kontejnerskim brodovima sigurnu plovidbu od dubokih plovnih kanala na moru sve do luke. Slika 14 prikazuje „suradnju“ GNSS i SBAS pri određivanju pozicije broda.



Slika 14. GNSS i SBAS [45]

GNSS igra ključnu ulogu u pružanju informacija o položaju, zajedno s radio-navigacijskim sustavima poput *eLorana*, za transpondere Automatskog identifikacijskog sustava (AIS - engl. *Automatic Identification System*). AIS transponderi obavezni su na međunarodnoj plovidbi za brodove veće od 300 BT, sve teretne brodove veće od 500 BT, sve putničke brodove te ribarska plovila duža od 15 m, sukladno SOLAS-u. Infrastruktura AIS-a na kopnu također se koristi za prijenos SBAS korekcijskih signala, poput EGNOS-a, kao dodatnog izvora točnih informacija o položaju kako bi se riješili trenutni problemi dostupnosti signala na nekim unutarnjim

vodama. S obzirom na 37.000 km unutarnjih vodnih putova koji povezuju europske gradove i industrijske regije, potencijal za povećanu sigurnost i učinkovitost je značajan [46].

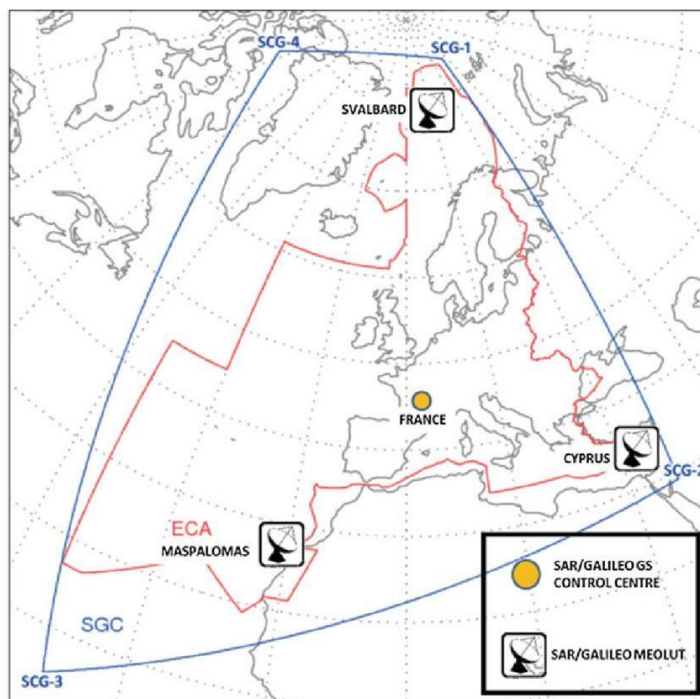
4.3. UPORABA GALILEA U OPERACIJAMA TRAGANJA I SPAŠAVANJA

Operacija traganja i spašavanja brzo locira i pruža pomoć osobama u nevolji. SAR/Galileo usluga, lansirana 15. prosinca 2016. kao dio *Početnih usluga sustava Galileo*, sudjeluje u operacijama spašavanja prenošenjem signala o ugrozi s radijskih odašiljača relevantnim ekipama za traganje i spašavanje putem posebnih tereta na satelitima Galileo, podržanih sa tri taktički raspoređene zemaljske stanice diljem Europe [47].

Dana 21. siječnja 2020., SAR/Galileo Return Link Service (RLS) postala je operativnom. Sada, osim što Galileo locira brodove u nevolji i obavještava nadležne vlasti o njihovom položaju, SAR/Galileo RLS automatski šalje poruku potvrde brodu, obavještavajući ih da je njihov zahtjev za pomoći zaprimljen. SAR/Galileo usluga najveći je doprinos COSPAS-SARSAT MEOSAR (engl. *Medium Earth Orbit Search and Rescue* – Traganje i spašavanje pomoću satelita na orbitama srednjih udaljenosti od Zemlje) programu u pogledu sredstava zemaljskog i svemirskog segmenta . Pruža sljedeće dvije usluge:

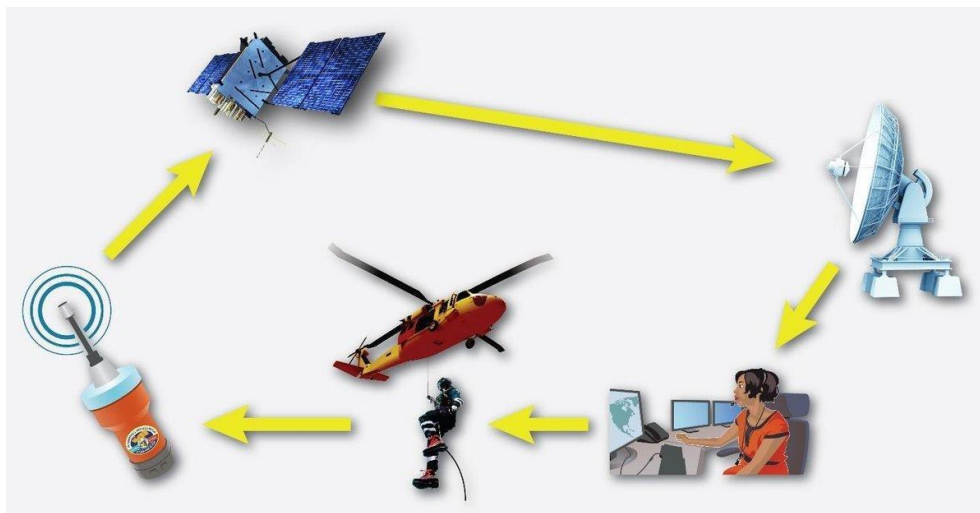
- SAR/Galileo *Forward Link*: prijenos signala o ugrozi Cospas-Sarsat u frekvencijskom pojasu od 406 MHz prema zemlji;
- SAR/Galileo *Return Link*: jedinstveni povratni signal koji obavještava pošiljatelja da je njihov signal o ugrozi primljen [48].

Slika 15 prikazuje pokrivenost SAR/Galilea.



Slika 15. Pokrivenost SAR/Galileo-a [49]

Navedene SAR/Galileo usluge potpuno su integrirane u sustav COSPAS-SARSAT. SAR-transponder na satelitima Galileo detektira signale koje odašiljači ugroze emitiraju u frekvencijskom pojasu od 406 do 406,1 MHz, a zatim te informacije prenosi namjenskim zemaljskim stanicama (MEOLUTs – engl. *Medium Earth Orbit Local User Terminal* – terminal lokalnih korisnika na zemljanoj orbiti srednje udaljenosti) u L-frekvencijskom pojasu od 1544,1 MHz. MEOLUT-ovi koriste ove signale koje prenose tereti SAR na satelitima Galileo kako bi generirali neovisan položaj odašiljača, koja se zatim prenosi prvim odzivnicima putem posebnih središta za kontrolu misija sustava COSPAS-SARSAT. Slika 16 prikazuje princip rada SAR/Galileo usluge [3].



Slika 16. Galileo/SAR [48]

Jednom kada prijammnik emitira signal pogibelji, taj isti se procesira u najbližoj zemaljskoj postaji. Tako dobiveni podaci se kombiniraju s podacima ostalih satelita kako bi se izračunao točan položaj [48]. Slika 16 prikazuje EPIRB odašiljač (engl. *Emergency Position Indicating Radio Beacon* – radio plutača koja emitira poziciju u slučaju pogibelji).



Slika 17. EPIRB [50]

4.4. INTEGRITET GNSS-a U POMORSKOJ NAVIGACIJI

Integritet GNSS-a označava njegovu a upotrebljivost u svrhu navigacije, odnosno s kolikom se sigurnošću mogu koristiti podaci koje on pruža. Ukupni integritet čine tri parametra:

- prag vrijednosti (granica upozorenja) – AL (engl. *Alarm Limit*),
- vrijeme do upozorenja – TTA (engl. *Time to Alarm*),
- rizik integriteta – IR (engl. *Integrity Risk*).

Stavke koje moraju biti zadovoljene kada se GNSS razmatra kao pomagalo pomorskoj navigaciji odnose se na njegovu točnost, integritet, samostalno praćenje integriteta plovila i prijamnika, kontinuitet, dostupnost, kašnjenje te grešku tehničkih karakteristika broda. Svaka od navedenih stavki objašnjena je u nastavku:

- Točnost - stupanj podudarnosti između procijenjenog ili izmjerenog parametra plovila u određenom trenutku i njegovog stvarnog parametra u tom trenutku. Postoji i apsolutna točnost koja je već prethodno definirana kao točnost procjene položaja u odnosu na geografske ili geodetske koordinate Zemlje u WGS84 sustavu;
- Integritet - mogućnost pružanja upozorenja u određenom vremenskom intervalu kada se sustav ne smije koristiti za navigaciju;
- Samostalno praćenje integriteta plovila - tehnika kojom se različite informacije o navigacijskim sensorima dostupnim na plovilu autonomno procesiraju kako bi se pratio integritet navigacijskih signala;
- Samostalno praćenje integriteta prijamnika - tehnika kojom se redundantne informacije dostupne prijamniku GNSS-a autonomno procesiraju u svrhu praćenja integriteta navigacijskih signala;
- Kontinuitet - vjerojatnost da će brod moći odrediti položaj s određenom točnošću i moći pratiti integritet određenog položaja tijekom (kratkog) vremenskog intervala primjenjivog za određenu operaciju unutar ograničenog dijela područja pokrivenosti;
- Dostupnost - postotak vremena tijekom kojeg pomoć ili sustav pomoći obavlja potrebnu funkciju pod navedenim uvjetima, pri čemu je dostupnost sustava dostupnost korisniku, uključujući dostupnost signala i performanse korisničkog prijamnika;
- Kašnjenje - vremensko kašnjenje između navigacijskih osmatranja i predstavljenih navigacijskih rješenja;

- Greška tehničkih karakteristika plovila (broda): - razlika između naznačenog položaja plovila i naznačenog naredbenog ili željenog položaja. Riječ je o mjeri točnosti kojom se upravlja plovilom [51].

5. ZAKLJUČAK

U zaključku, može se reći kako je GNSS od iznimne važnosti za suvremenu pomorsku navigaciju. GNSS, sastavljen od različitih satelitskih sustava, poput GPS-a i GLONASS-a, pruža brodovima neophodne informacije za precizno određivanje položaja, brzine i vremena, bez obzira na njihov položaj na globalnoj razini.

GNSS pruža globalnu pokrivenost zahvaljujući satelitima koji orbitiraju oko Zemlje emitirajući informacije o položaju i vremenu. Postoje još i diferencijalni sustavi koji povećavaju točnost pozicije - DGNSS i SBAS. GPS omogućuje određivanje pozicije mjerenjem udaljenosti od satelita. DGPS se koristi na brodovima kako bi se dobila točnija pozicija. Galileo izračunava zemljopisnu širinu, dužinu i vrijeme koristeći se signalima od minimalno četiri satelita. Satelitsko-bazirani augmentacijski sustavi SBAS poboljšavaju performanse GNSS-a tako što ispravljaju greške mjerenja, pružajući uz to informacije o točnosti, kontinuiranost i dostupnosti signala. GNSS ima i svoje pogreške koje je prilikom određivanja pozicije potrebno uzeti u obzir, a primjer su atmosferska pogreška, višestruki odraz ili pseudoudaljenost. GNSS ostaje ključna tehnologija koja značajno unapređuje sigurnost, efikasnost i preciznost pomorske navigacije te će, s daljnjim razvojem, nastaviti igrati ključnu ulogu u povećanju sigurnosti i učinkovitosti pomorskog prometa.

LITERATURA

- [1] What is GNSS?, Euspa.europa.eu, 2023. <https://www.euspa.europa.eu/european-space/eu-space-programme/what-gnss>. (Pristupljeno: 11.11.2023).
- [2] B. Ashman, An Introduction to Global Navigation Satellite Systems, u *IEEE International Frequency Control Symposium*, Olympic Valley, CA, 2018.
- [3] Global Navigation Satellite Systems, United Nations Office for Outer Space Affairs, 2023. <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/psa/gnss/gnss.html>. (Pristupljeno: 11.11.2023).
- [4] F. O. Abulade, Global Positioning System and it's wide applications, *Continental Information Technology*, svez. 9, br. 1, pp. 22-32, 2015.
- [5] Introduction to Global Positioning System, NH.gov, 2019. <https://www.nh.gov/nhdfi/documents/introduction-to-global-positioning-system.pdf>. (Pristupljeno: 8.11.2023).
- [6] J. Šuvak, GPS (GNSS) kao dio geografsko informacijskih sustava, Puli: Sveučilište Jurja Dobrile, Fakultet informatike, 2019.
- [7] Ž. Dukovac, Globalni pozicijski sustav, Gospić: Veleučilište Nikola Tesla, 2015.
- [8] M. Šitin, Upotreba GPS-a u navigaciji, Split: Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet, 2018.
- [9] The Differential Global Positioning System, Kystverket, 2023. [https://www.kystverket.no/en/navigation-and-monitoring/dgps---radio-navigation/#:~:text=The%20Differential%20Global%20Positioning%20System%20\(DGPS\)%20service%20transmits%20correction%20signals,the%20quality%20of%20the%20signal..](https://www.kystverket.no/en/navigation-and-monitoring/dgps---radio-navigation/#:~:text=The%20Differential%20Global%20Positioning%20System%20(DGPS)%20service%20transmits%20correction%20signals,the%20quality%20of%20the%20signal..) (Pristupljeno: 7.11.2023).
- [10] Differential GPS, Marine Gyaan, 2019. <https://marinegyaan.com/what-is-dgps/>. (Pristupljeno: 9.11.2023).
- [11] What are features of DGPS (Differential Global Positioning System)?, Marine Gyaan, 2020. <https://marinegyaan.com/what-are-features-of-dgps-differential-global-positioning-system/>. (Pristupljeno: 8.11.2023).

- [12] C. Specht, Maritime DGPS System Positioning Accuracy as a Function of the HDOP in the Context of Hydrographic Survey Performance, Gdynia, Poljska: Gdynia Maritime University, 2022.
- [13] GLONASS, ScienceDirect, 2021. <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/glonass#:~:text=GLONASS%20is%20the%20acronym%20for,system%20of%20China%20%5B1%5D..> (Pristupljeno: 16.11.2023).
- [14] About GLONASS, Glonass-iac.ru, 2022. https://glonass-iac.ru/en/about_glonass/. (Pristupljeno: 18.11.2023).
- [15] GLONASS, Russia, Novatel, 2022. <https://novatel.com/an-introduction-to-gnss/gnss-constellations/glonass>. (Pristupljeno: 12.11.2023).
- [16] Galileo: a constellation of navigation satellites, The European Space Agency, 2022. https://www.esa.int/Applications/Navigation/Galileo/Galileo_a_constellation_of_navigation_satellites. (Pristupljeno: 17.11.2023).
- [17] What is Galileo?, The European Space Agency, 2022. https://www.esa.int/Applications/Navigation/Galileo/What_is_Galileo. (Pristupljeno: 16.11.2023).
- [18] Two Galileo satellites lose their way, Phys.org, 2014. <https://phys.org/news/2014-08-galileo-satellites.html>. (Pristupljeno: 14.11.2023).
- [19] BeiDou Navigation Satellite System, System, 2023. <http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/System/>. (Pristupljeno: 15.11.2023).
- [20] BeiDou Navigation Satellite System (China), NovaTel Hexagon, 2023. <https://novatel.com/an-introduction-to-gnss/gnss-constellations/beidou>. (Pristupljeno: 17.11.2023).
- [21] Oways Online, Global Positioning System (GPS) on Ships, 2019. <https://owaysonline.com/global-positioning-system-on-ships/>. (Pristupljeno: 14.11.2023).
- [22] D. H. Alsip, J. M. Butler i J. T. Radice, »The Coast Guard's Differential GPS Program,« *Navig J Inst Navig*, br. 39, pp. 345 - 361, 1992.
- [23] U.S. DoT, DHS, u *2001 Federal Radionavigation Plan*, Springfield, 2001.

- [24] G. Johnson, R. Hartness i P. Swaszek, »DGPS and WAAS Maritime Accuracy and Availability Studies,« u *In Proceedings of the 60th Annual Meeting of The Institute of Navigation*, Dayton, IH, USA, 2004.
- [25] L. S. Monteiro i P. Marreiro, »Analysis of Maritime DGPS Positioning Accuracy at Sea,« u *In Proceedings of the 16th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation*, Portland, OR, SAD, 2003.
- [26] Global Navigation Satellite System, Princeton.edu, 2019.
<https://www.princeton.edu/~alaink/Orf467F07/GNSS.pdf>. (Pristupljeno: 17.11.2023).
- [27] What is SBAS?, EUSPA, 2023. <https://www.euspa.europa.eu/european-space/eu-space-programme/what-sbas>. (Pristupljeno: 16.11.2023).
- [28] zbrojena ili računata navigacija, Leksikografski zavod Miroslav Krleža - Pomorski leksikon, 2019. <https://pomorski.lzmk.hr/clanak.aspx?id=13737>. (Pristupljeno: 7.11.2023).
- [29] Određivanje pozicije, Pomorski fakultet Rijeka, 2019.
https://www.pfri.uniri.hr/web/dokumenti/uploads_nastava/20221005_085525_kos_10._Terestricka_navigacija_Geometrijske_osnove_polozaja_broda.pptx. (Pristupljeno: 7.11.2023).
- [30] Absolute and relative positioning, Lantmateriet, 2022.
<https://www.lantmateriet.se/en/geodata/gps-geodesi-och-swepos/gps-and-satellite-positioning/methods-for-gnss-measurement/absolute-and-relative-positioning/>. (Pristupljeno: 19.11.2023).
- [31] Types of navigation equipment used on modern ships. An overview, GMDSS Test Equipment, 2019. <https://gmdsstesters.com/radio-survey/general/types-of-navigation-equipment-used-on-modern-ships-an-overview.html>. [Pokušaj pristupa 15 11 2023].
- [32] I. Toman, Utjecaj vulkanske aktivnosti na raspršenje položaja određenog satelitskim navigacijskim sustavima, Rijeka: Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, 2022.
- [33] GPS Error Sources,« E-Education, 2022. <https://www.e-education.psu.edu/geog160/node/1924>. (Pristupljeno: 23.11.2023).
- [34] GPS Error Sources, GEOG 160 - Mapping Our Changing World, 2023. <https://www.e-education.psu.edu/geog160/node/1924>. (Pristupljeno: 17.11.2023).

- [35] GNSS Basic Observables, EESA navipedia, 2020.
https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GNSS_Basic_Observables#:~:text=This%20measurement%20D%20%3D%20c%20%CE%94,between%20receiver%20and%20satellite%20clocks.. (Pristupljeno: 24.11.2023).
- [36] GPS Errors, SenecaV.uk, 2022. <https://www.senecav.uk/pbn-training/principles-of-gps/gps-errors/>. (Pristupljeno: 17.11.2023).
- [37] F. Marbas, »How do sea navigators measure their ships speed?,« PhysLink.com, 2020.
<https://www.physlink.com/education/askexperts/ae400.cfm#:~:text=After%20receiving%20signals%20from%20at,time%20and%20calculates%20ship's%20speed..>
 (Pristupljeno: 12.11.2023).
- [38] History of Navigation at Sea: From Stars to the Modern-Day GPS, Formula Boats, 2019. <https://www.formulaboats.com/blog/history-of-navigation-at-sea-from-stars-to-the-modern-day-gps/>. (Pristupljeno: 2.11.2023).
- [39] S. Nair, »History of Sea Navigation Before the GPS,« Teletrac Navman, 2022.
<https://www.teletracnavman.com/gps-fleet-tracking-education/history-of-sea-navigation-before-the-gps>. (Pristupljeno: 4.11.2023).
- [40] History of Navigation: Old Navigational Instruments and How They Were Used, Replogde Globes, 2018. <https://replogleglobes.com/blog/history-of-navigation-old-navigational-instruments-and-how-they-were-used/>. (Pristupljeno: 4.11.2023).
- [41] F. Aedo, How GNSS Technology Redefined Maritime Guidance, LinkedIn, 2023.
<https://www.linkedin.com/pulse/how-gnss-technology-redefined-maritime-guidance-fernanda-aedo>. (Pristupljeno: 4.11.2023).
- [42] I. Baumann, IMO and the GNSS, Inside GNSS, 2017. <https://insidegnss.com/imo-and-the-gnss/>. (Pristupljeno: 5.11.2023).
- [43] Decca Navigator Mk 21, Royal Museums Greenwich, 1969.
<https://www.rmg.co.uk/collections/objects/rmgc-object-256187>. (Pristupljeno: 7.11.2023).
- [44] Performance Standards for Global Positioning Satellite System(GPSS) Equipment, *Technical Circular*, br. 11, pp. 50-62, 2016.
- [45] M. L. Martinez, J. M. Alvarez, J. M. Lorenzo i C. G. Daroca, SBAS/EGNOS for Maritime, *J Mar Sci Eng*, svez. 8, br. 10, 2020.

- [46] Expanding Opportunities for Maritime use of GNSS, EUSPA, 2016.
<https://www.euspa.europa.eu/expanding-opportunities-maritime-use-gnss#:~:text=GNSS%20is%20one%20of%20the,vessel's%20position%2C%20course%20and%20speed..> (Pristupljeno: 8.11.2023).
- [47] Galileo Search and Rescue Service, EESA Navipedia , 2020.
https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_Search_and_Rescue_Service.
(Pristupljeno: 23.11.2023).
- [48] Search and Rescue Satellites, SARSAT.NOAA.GOV, 2022.
<https://www.sarsat.noaa.gov/search-and-rescue-satellites/>. (Pristupljeno: 15.11.2023).
- [49] J. P. Bartolome, X. Maufroid i I. F. Hernandez, Overview of Galileo System, 2014.
- [50] 406MHz Satellite Emergency Position Indicating Radio Beacon Tron 60AIS, Japan Radio Co. Ltd, 2023. <https://www.jrc.co.jp/en/product/tron60ais>. (Pristupljeno: 8.11.2023).
- [51] P. Zalewski, A. Bak i M. Bergmann, Evolution of Maritime GNSS and RNSS Performance Standards, Szczecin: Faculty of Navigation, Maritime University of Szczecin, 2022.
- [52] Cartesian coordinates, WhatIs.com, 2023.
<https://www.techtarget.com/whatis/definition/Cartesian-coordinates-rectangular-coordinates#:~:text=The%20Cartesian%20plane%20consists%20of,is%20called%20the%20y%20axis..> (Pristupljeno: 12.11.2023.)

POPIS SLIKA

2

4

7

8

11

13

15

15

16

17

18

22

24

25

27

28

28

POPIS TABLICA

18

SAŽETAK

GNSS sustav pruža neophodne informacije o položaju temeljem primitka satelitskih signala u korisničkom prijammiku, čime omogućuje precizno pozicioniranje i navigaciju na globalnoj razini, na kopnu, moru i u zraku. Istraživanje GNSS sustava u pomorskoj navigaciji otkriva ključnu ulogu globalnih satelitskih sustava pri određivanju položaja brodova na moru. Sustavi poput GPS-a, GLONASS-a i drugih pružaju informacije o vrlo točnom položaju, čime omogućuju sigurnu i učinkovitu navigaciju. Završni rad daje pregled osnovnih značajki pojedinih sustava koje uključuju strukturu satelita, orbite te funkcionalnost prijammika na plovilima. Primjene GNSS-a u pomorskoj navigaciji obuhvaćaju ne samo pozicioniranje na moru, već i automatiziranu navigaciju i poboljšanu sigurnost plovidbe kroz integraciju sa sustavima traganja i spašavanja, pridonoseći poboljšanju opće sigurnosti pomorskog prometa na različitim razinama. GNSS je suočen s brojnim izazovima, kao što je moguć gubitak signala ili umanjena točnost položaja uslijed različitih okolišnih učinaka, no njegovo kontinuirano unaprjeđivanje obećava daljnji napredak pomorske navigacije te doprinos razvoju buduće autonomne plovidbe.

Ključne riječi: *GNSS, satelitski sustav, navigacija, položaj, globalno pozicioniranje.*

SUMMARY

Use of GNSS in maritime navigation

GNSS provides essential position information by receiving satellite signals in the user receiver, enabling precise positioning and navigation globally, on land, sea, and in the air. Research on GNSS systems in maritime navigation reveals the crucial role of global satellite systems in determining the position of ships at sea. Systems like GPS, GLONASS, and others offer highly accurate positional information, ensuring safe and efficient navigation. The thesis provides an overview of the basic features of individual systems, including satellite structure, orbits, and the functionality of receivers on vessels. Applications of GNSS in maritime navigation encompass not only sea positioning but also automated navigation and enhanced navigation safety through integration with search and rescue systems, contributing to the overall safety of maritime traffic at various levels. GNSS is faced with numerous challenges, such as potential signal loss or reduced positional accuracy due to various environmental effects, but its

continuous improvement promises further advancements in maritime navigation and contributes to the development of future autonomous navigation.

Keywords: *GNSS, satellite system, navigation, position, global positioning.*