# Komparacija postojećih i modernih sustava lociranja

**Zečić, Marko**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split, Faculty of Maritime Studies / Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:164:743429

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

*Repository / Repozitorij:*

Repository - Faculty of Maritime Studies - Split - Repository - Faculty of Maritime Studies Split for permanent storage and preservation of digital resources of the institution

zir.nsk.hr

UNIVERSITY OF SPLIT

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

**MARKO ZEČIĆ**

# KOMPARACIJA POSTOJEĆIH I MODERNIH SUSTAVA LOCIRANJA

**ZAVRŠNI RAD**

**SPLIT, 2019.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

**STUDIJ: POMORSKA NAUTIKA**

# KOMPARACIJA POSTOJEĆIH I MODERNIH SUSTAVA LOCIRANJA

**ZAVRŠNI RAD**

**MENTOR:** **STUDENT:**

**Dean Sumić** **Marko Zečić**

**(MB:0171262821)**

**SPLIT, 2019.**

# SAŽETAK

Ovaj rad bavi se komparacijom postojećih i modernih sustava lociranja. U radu su obrađeni sustavi koji su prethodili današnjim satelitskim sustavima kao i moderni sustavi koji se danas koriste i dalje razvijaju. Cilj ovog rada bio je analizirati i komparirati tehnologije i sustave satelitske navigacije, te usporediti GEO, LEO i MEO orbite. Svaka od ovih orbita ima svoje prednosti i nedostatke za određene funkcije koje obavljaju, kao što su prijenos podataka, telekomunikacija i sustavi lociranja. U radu će se objasnit zašto svi moderni sustavi lociranja koriste MEO. Zaključno prikazat će se primjene GNSS tehnologija u navigaciji.



Ključne riječi: Hiperbolična i satelitska navigacija, GEO, LEO, MEO.



# ABSTRACT

This paper deals with the comparison of existing and modern location systems, and thoroughly covers systems that preceded today's satellite systems as well as modern systems that are being used today and continue to evolve. The goal of this paper was to analyze and compare technologies and systems of satellite navigation and to compare GEO, LEO and MEO orbits. Each of these have their advantages and disadvantages for certain functions that they perform, such as data transmission, telecommunications and location systems.
The paper will explain why all modern location systems use MEO. Concluding with the implementations of GNSS technology in navigation.



Keywords: Hyperbolic and Satellite Navigation, GEO, LEO, MEO.

# SADRŽAJ


1. UVOD ..... 1
2. HIPERBOLIČNA NAVIGACIJA ..... 2
   2.1. GEE ..... 3
   2.2. LORAN ..... 3
   2.3. DECCA ..... 4
   2.4. OMEGA ..... 4
3. SATELITSKA NAVIGACIJA ..... 5
   3.1. POVIJEST SATELITA ..... 5
   3.2. GEOSTACIONARNA ZEMLJINA ORBITA ..... 8
   3.3. NISKA ZEMLJINA ORBITA ..... 10
   3.4. SREDNJA ZEMLJINA ORBITA ..... 13
   3.5. VISOKO ELIPTIČNA ORBITA ..... 14
   3.6. POLARNA ORBITA ..... 15
3. GLOBALNI NAVIGACIJSKI SATELITSKI SUSTAVI ..... 16
   4.1. GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS) ..... 16
   4.2. GALILEO ..... 18
   4.3. GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM (GLONASS) ..... 19
5. PRIMJENE GNSS TEHNOLOGIJA U NAVIGACIJI ..... 21
   5.1. AIS ..... 22
   5.2 ECDIS ..... 23
6. ZAKLJUČAK ..... 25
POPIS LITERATURE ..... 27
POPIS SLIKA ..... 29

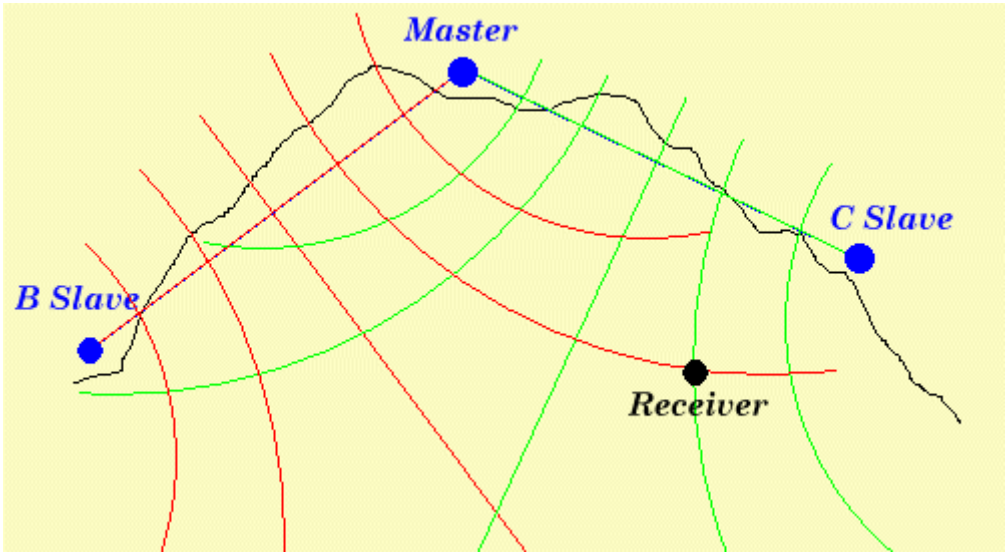
# 1. UVOD

Ljudi imaju sposobnost opažanja prostora. Iako je ovo istinito za sva bića, ova sposobnost je ograničena za niže životinje, koje mogu prepoznati prostor u jednoj ili dvije dimenzije. Više životinje uključujući i primate imaju sposobnost opažanja trodimenzionalnih objekata i prostora. Ljudi nemaju izvanredna osjetila kao ostale životinje, ali su zapravo jedina bića sa sposobnošću opažanja trodimenzionalnog prostora x, y i z pravaca i četvrte dimenzije vremena. Ovo je temelj lociranja, odnosno određivanja mjesta ili lokacije. Ljudi su razvili razne sustave lociranja još od primitivnog doba, koje su koristili kao jedne od glavnih mjera za preživljavanje i natjecanje sa ostalim životinjama. Na primjer, da u gustoj šumi nisu bili sposobni precizno odrediti mjesto svog plijena i vlastitu poziciju, ne bi mogli uhvatiti plijen i kasnije naći put kući. Zato je ljudima bila potrebna sve preciznija sposobnost lociranja kako su išli dalje od svojih domova, a napreci u sustavima lociranja proširili su njihov radijus djelovanja. Kasnije, kad su počeli ploviti oceanima, sustavi lociranja napredovali su još dalje. Točnost lociranja bila je ključna za navigaciju.

Međutim, situacija na oceanu je drugačija od one na kopnu i nema točaka i objekata za određivanje koordinata. U počecima obalne navigacije, ljudi su promatrali terestričke objekte za određivanje lokacija. Pomoću kompasa udaljavali su se sve više od kopna, i neizbježno su morali početi promatrati nebeske objekte. Ovo je dovelo do izuma sekstanta, alata koji se zajedno sa kronometrom koristi za lociranje, te je u uporabi i danas. Iako je sekstant precizan, ima značajne greške, ovisno o iskustvu i sposobnosti promatrača, bilo ga je nemoguće koristiti pri određenim vremenskim uvjetima. Zato je postojala potreba za preciznijim i točnijim sustavom lociranja koji bi radio u svim uvjetima te su se počeli primjenjivati radio valovi u metodi lociranja. To je rezultiralo radio sustavima lociranja, kao što su Decca, Omega i Loran koji su korišteni do nedavno. Prvi radiosustavi koristili su elektromagnetske valove u dugom i srednje kratkom rasponu valova te su nastajale obalne i noćne greške zbog prekida. Kasnije sa naprecima u elektroničkoj i svemirskoj tehnologiji, razvijeni su navigacijski satelitski sustavi. Sada imamo skoro savršen sustav lociranja i možemo koristiti ručni uređaj kako bi dobili precizne podatke o lokaciji bilo gdje na planeti u svim vremenskim uvjetima uz relativno zadovoljavajuću točnost.

# 2. HIPERBOLIČNA NAVIGACIJA

Ako pretpostavimo da je brzina širenja signala relativna konstanta kroz neki prostor, možemo uzeti izmjereno vrijeme između slanja signala i primanja signala, da odredimo udaljenost između odašiljača i prijemnika. Dok se ovo vrijeme u teoriji može koristiti za odrediti poziciju mjerenjem dva ili više radio signala, potrebno je da prijemnik "zna" točni trenutak u kojem je signal poslan. Da bi ovo uspjelo, potrebni su jako precizni satovi, i na odašiljaču i na prijemniku, koji moraju biti točno sinkronizirani. Tehnološka ograničenja i visoka cijena čine ovu metodu nepraktičnom. Kao posljedica, razvijena je radio navigacija koja koristi diferencijalnu fazu te ove sustave nazivamo sustavima Hiperbolične navigacije.




Slika 1. Princip rada hiperbolične navigacije [17]

U sustavu diferencijalne faze, nema potrebe da prijemnik bude usklađen sa odašiljačima. Samo signali iz odašiljača stanice, moraju biti sinkronizirani. Ovo može biti izvedeno korištenjem "nadređeni-podređeni sustav" ili sinkroniziranim satovima na lokacijama odašiljača kako je prikazano na slici 1. Prijemnik ne mora "znati" vrijeme odašiljanja signala, samo da su signali dviju stanica poslani u isto vrijeme. Mjerenjem razlike između vremena primanja dvaju signala, možemo odrediti da je pozicija prijemnika negdje na "LOP" (*engl. Line of Position*). To jest, jedno mjerenje otkriva niz mogućih lokacija, ne jednu određenu poziciju. Mjerenjem razlike vremena između signala drugog odašiljača, dobivamo drugi LOP  i gdje se dvije linije presijecaju to označava lokaciju prijemnika.

## 2.1. GEE

Prvi hiperbolični sustav bio je britanski Gee. U početku korišten eksperimentalno na RAF (*engl. Royal Air Force*) Bomber Commandu u 1941. Gee je bio korišten i za bombardiranje Njemačke i za navigaciju u UK-u, posebno za slijetanje po noći. Promatralo ga se kao temelj za svjetski standard za navigaciju, ali je VHF višesmjerni sustav bio odabran umjesto njega. Zadnji lanac Gee-a bio je zatvoren 1970. Gee signali iz određenog lanca su svi odašiljani na jednoj frekvenciji. Gee lanci su imali jedan glavni i obično tri sekundarna. Signali iz glavnog i jednog od dva sekundarna bili bi aktivni u bilo koje vrijeme, s trećom stanicom i stanicom koja promatra lanac i osigurava mjerenje kvalitete i signala.

## 2.2. LORAN

Novi koncept oslanjao se na korištenje prostornih valova za slanje signala preko velikih udaljenosti. Ovo je značilo mnogo složenije i kompleksnije prijemne signale koje je bilo teže objašnjavati nego Gee-ov sustav koji je slao signale u polju vidljivog horizonta. Sa tom iznimkom, iako su dva sustava bila slična u prvobitnoj zamisli, jako su se razlikovala u selekciji frekvencija i detaljima signala. Robert J. Dippy, izumitelj Gee-a, preselio se u Ameriku sredinom 1942. kako bi pomogao sa detaljima stanica na Zemlji. Tokom ovog vremena zahtijevao je da se napravi zračna verzija prijemnika, i da trebaju biti sukladni sa Gee-om. Finalni sustav nazvao se LORAN (*engl. Long Range Navigation*). U usporedbi sa Gee-ovih 720km kroz zrak, Loran je imao oko 2400km preko vode, i 970km preko kopna (Jerry Proc, 2018). Generalno je radio slično kao Gee. Sustavi Gee i LORAN-A postali su mogući zbog razvitka osciloskopa. LORAN-C postao je moguć zbog razvitka jeftinog PLL-a (*engl. Phase-locked loop*) u 1950. PLL proizvodi stabilan izlazni signal iste frekvencije i faze kao ulazni signal, čak i kad je taj signal periodičan i slabo primljen. U ovom slučaju važna funkcija PLL-a je da omogućava obnavljanje ili rekonstrukciju stalnog i neprekinutog signala iz niza kratkih pulseva. Sustav koji koristi PLL mogao je primiti signal od jednog pulsa, kao Gee, i onda ga obnoviti u neprekinuti ton za fazno mjerenje, kao u sustavu Decca.

## 2.3. DECCA

Decca sustav navigacije je razvijen u SAD-u, ali je kasnije izdan od strane Decca radio kompanije u UK-u i općenito se smatra britanskim sustavom. Prvo je bio razvijen za kraljevsku mornaricu kao precizan dodatak pomorskim verzijama Gee. Decca je prvo korištena 1944., za navođenje čistaća mina u pripremi za dan D. Sustav je razvijen poslije rata i natjecao se sa Gee-om i ostalim sustavima za civilnu upotrebu. Zbog osobito lakog korištenja, ostao je u širokoj upotrebi sve do 1990-ih.

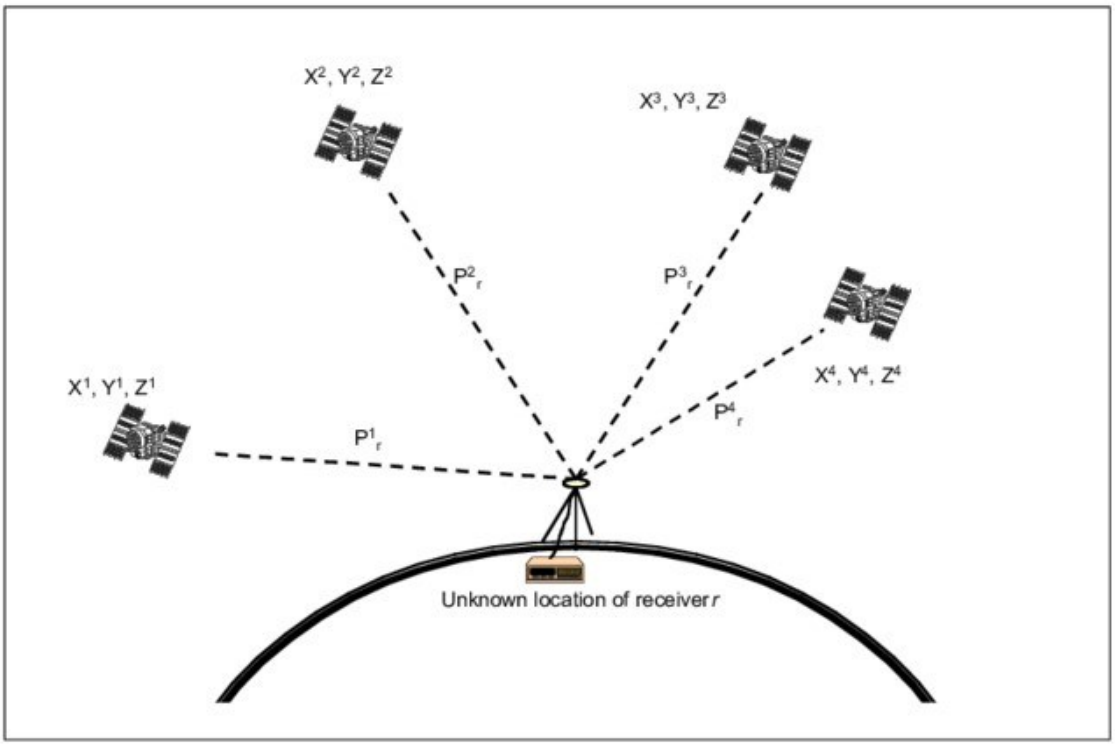
Decca se temelji na usporedbi faza neprekidnih signala umjesto mjerenja vremena između njihova dva pulsa. Ovo je bilo preciznije i točnije, faza dva signala se može izmjeriti do nekoliko stupnjeva, četiri u slučaju Decca. Ova jako poboljšana točnost omogućila je Decci da koristi puno veće dužine valova nego Gee i LORAN uz zadržavanje istog stupnja točnosti. Korištenje većih dužina valova omogućilo je bolje prenošenje i od Gee-a i od LORAN-a. Decca je imala nedostatak da bi signal mogao varirati samo 360°, i to bi stvaralo uzorak koji bi se ponavljao u krug preko stanica. To je značilo da postoji mnogo lokacija gdje je mogla biti bilo koja faza izmjerena, problem poznat kao neodređenost faze (*engl. phase ambiguity*). Gdje se Gee fiksirao na jednu od dvije lokacije, Decca se fiksira na jednu od stotina. Decca je riješila ovaj problem kroz upotrebu "decometra", čija je upotreba bila mnogo jednostavnija od Gee-a i LORAN-a. Bilo ga je jednostavnije koristiti, toliko da je Decca kasnije dodala i kartografsko snimanje i napravila elektroničku kartu.

## 2.4. OMEGA

Jedan od zadnjih sustava hiperbolične navigacije koji je došao na tržište, bio je među prvima u razvoju. Povijest Omega-e ima svoje tragove u radovima John A. Piercea 1940-ih, koji je radio na istoj ideji kao i Decca sustav uspoređivanja fazi. Zamislio je sustav isključivo za globalnu navigaciju, i zato se odlučio za jako nisku frekvenciju od 10kHz kao bazu za signal. Međutim, problem sa neodređenosti faze, kao u slučaju Decca, je značilo da sustav nije bio praktičan za to vrijeme. Gdje je PLL omogućio LORAN-C, za Omegu je to bio INS (*engl. Inertial Navigation System*). Omega stanice odašilju neprekidni val signala u određenom vremenu. Da bi se održala precizna vremena svih stanica oko svijeta, stanice su bile opremljene atomskim satovima. Ovi satovi također osiguravaju da su signali poslani u točnoj frekvenciji i fazi. Za razliku od prijašnjih sistema Omegi nije bio potreban glavni/sekundarni sustav, jer su satovi bili dovoljno precizni da pokrenu signal bez vanjskog usklađivanja.

# 3. SATELITSKA NAVIGACIJA

Uz pomoć vremena odaslanih signala i elektroničkih prijemnika, satelitska navigacija može odrediti specifičnu lokaciju sa velikom preciznošću. Za dobiti točnu lokaciju potrebno je minimalno 4 satelita, kako je prikazano na Slici 2. Prijemnici razlažu i traže detaljno vrijeme i udaljenosti od svakog satelita do korisnikove antene. Četvrti satelit u navigaciji pomaže odstraniti neodređenosti mjesta-lokacije. Satelitski navigacijski sustavi su mnogo precizniji od ostalih sustava lociranja. Kako su ovi sustavi za odašiljanje temeljni na radio signalima, neograničen broj korisnika ih može koristiti neograničen broj puta, neovisno o lokaciji.




Slika 2. Određivanje lokacije pomoću satelita [6]

## 3.1. POVIJEST SATELITA

Prvi satelit u niskoj orbiti bio je Sputnik 1, od SSSR-a 1957. Prije toga u 1948., SAD je odaslao radarski signal do Mjeseca koji su se odbili od njega i vratili se nazad do Zemlje. Dokazali su da je moguće odaslati mikrovalove relativno niske snage u svemir i vratiti ih nazad na Zemlju. 1954., mornarica SAD-a odaslala je glasovnu poruku do Mjeseca i vratila

je nazad na Zemlju. 1958. SAD je lansirao svoj prvi satelit, Explorer 1, koji je pružao prve informacije o okolini i uvjetima u svemiru, izvan Zemljine atmosfere, a završilo je velikim postignućem, otkrićem Van Allenovog pojasa. Orbitirao je više od 58000 puta oko Zemlje prije ponovnog ulaska u Zemljinu atmosferu iznad južnog Pacifika 1970 (Footprints by Dish Size, 2001). Iste godine, SAD je osnovao NASA-u za razvoj svemirske tehnologije i lansirali SCORE (*engl. Signal Communications by Orbiting Relay Equipment*) prvi svjetski komunikacijski satelit, lansiran u nisku orbitu. SCORE je primao poruke, snimao ih, i onda ponovno slao nazad na Zemlju.

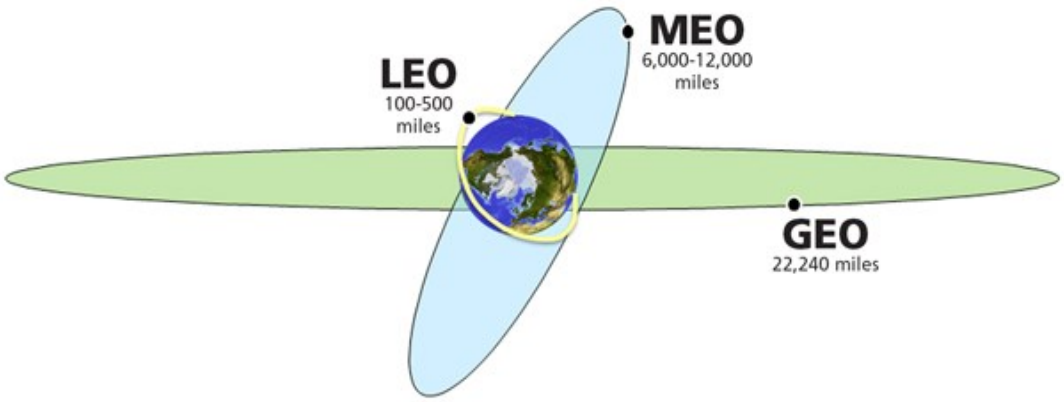
Važan test za potencijal satelita kao sredstva za komunikaciju bio je lansiranje Echo 1 - pasivnog satelita od mikro tankog Mylar-a koji je funkcionirao kao reflektor, a ne kao primopredajnik. Nakon što je postavljen u nisku Zemljinu orbitu , vraćao je signale koji su se reflektirali na njegovoj površini nazad na Zemlju. Korišten je za preusmjeravanje transkontinentalnih i interkontinentalnih telefonskih , radio i televizijskih signala

Vrlo važan za praktičan razvoj u povijesti satelitskih komunikacija bio je NASA-ino lansiranje Tiros-a 1, prvog meteorološkog satelita, lansiranog 1960. Slike koje je poslao na Zemlju dokazale su da će "svemirska utrka" imat velikog utjecaja na svakodnevne živote prosječnih ljudi.

Telstar 1, izrađen od ATT (*engl. American Telephone and Telegraph Company*), bio je prvi satelit napravljen da otkriva mikrovalove poslane sa Zemlje, pojača ih, i onda ponovno pošalje nazad na Zemlju. Prvi eksperimentalni geosinkronizirani komunikacijski satelit bio je lansiran 1963., Telstar 2 i Syncom 2. 1965., Sovjeti su lansirali svoj prvi Molnya "dvanaestosatna orbita", pametni inženjerski podvig za pružanje komunikacija sjevernim širinama koje GEO sateliti nisu mogli dohvatiti. Godine 1965. prvi internacionalni GEO satelit, Intelsat 1 zvan "Early Bird", bio je prva istinski komercijalna satelitska usluga. Formacija Intelsat (koja je aktivna i danas) sa državama članicama, bila je osnovana s ciljem da se brzo razvije i raspodjeli trošak razvoja globalnih GEO komunikacijskih usluga i zauzvrat pruže GEO satelitske usluge za i između država članica. Proizvod je zahtijevao velika novčana sredstva koji jedna država ne bi mogla izvesti sama.

Godine 1969. Intelsat je završio prvu globalnu GEO mrežu, veliki uspjeh u samo dvanaest godina nakon lansiranja Sputnika. Sa Intelsat 3 serijom, koja je bila spremna i puštena u rad samo par dana prije prvog slijetanja na Mjesec, misije Apollo 11, 1969. godine. U početku sve satelitske komunikacije bile su koordinirane između država preko državno autoriziranih tijela i agencija te su bili zamišljeni i namijenjeni za međunarodnu upotrebu.

Ovo se promijenilo 1972. kad je Telesat (iako državni monopol, Kanada) počeo sa radom prvog domaćeg komunikacijskog satelita, Anik 1 (Lansiran od NASA-e), kako bi pružio velikom kontinentalnom dijelu Kanade glasovne podatke. Širinom svog područja djelovanja također je bio prvi satelit koji je pokrivao i pružao svoje usluge američkom tržištu. Prvi SAD domaći komunikacijski satelit, i prvi na svijetu od privatne kompanije, bio je satelit tvrtke Western Union - WESTAR 1, lansiran 1974. godine. Ovi prvi sateliti su prvenstveno bili oblikovani za glasovnu i podatkovnu upotrebu, ali je jako brzo televizija postala većinski korisnik i komercijalna podrška. Do kraja 1976. godine, bilo je 120 transpondera u Americi, svaki sposoban za 1500 telefonskih kanala ili jedan TV kanal (Footprints by Dish Size, 2001). Kanada je imala vlastiti GEO sustav. Indonezija je postala treća država sa vlastitim satelitom-Palapa. Comsat je lansirao svoj prvi satelit za mobilnu komunikaciju, Marisat, u 1976., da pruži mobilne usluge SAD mornarici i drugim pomorskim korisnicima. Kroz kasne 70-te, satelitske upotrebe nastavile su rasti, od NOAA-inih (*engl. National Oceanic and Atmospheric Administration*) meteoroloških satelita i zemaljskih opservacija do INMARSAT-a, slično kao i INTELSAT-a za metodu pružanja međunarodnih telefonskih usluga i praćenje prometa brodova na moru. Početkom 80-ih, počela je znanstvena i komercijalna uporaba satelitske tehnologije koja se nalazi u različitim orbitama kako je prikazano Slikom 3.




Slika 3. Visine satelitskih orbita [16]

## 3.2. GEOSTACIONARNA ZEMLJINA ORBITA

Geostacionarna zemljina orbita GEO (*engl. Geostationary Earth Orbit*) je kružna putanja na zemljopisnoj širini ekvatora. U GEO sateliti su prividno stacionarni, u fiksiranoj poziciji za promatrača sa Zemlje. GEO orbitalni period je isti Zemljinom; ovo je postignuto sa orbitalnom visinom od 35786 km. GEO satelit će prividno biti fiksiran, u praksi, orbita ima male vrijednosti za inklinaciju i ekscentricitet. Područje djelovanja jednog GEO satelita pokriva skoro 1/3 Zemljine površine, od 75°N do 75°S, tako da skoro globalna pokrivenost može biti omogućena sa tri satelita u orbiti (Footprints by Dish Size, 2001).

Zemaljske stanice prenose signal do satelita u orbiti, ovaj smjer signala naziva se uzlazna veza (*engl. Uplink*). GEO sateliti primaju uzlazni signal, pojačavaju ga, prebace na nižu frekvenciju i zatim spoje odlazni signal na satelitske antene, gdje se signal fokusira u uski snop i šalje natrag na Zemlju. Smjer slanja signala nazad na Zemlju zove se silazna veza (*engl. Downlink*). Uzlazni i silazni signali su na različitim frekvencijama da se izbjegnu međusobna miješanja. Elektronička oprema na satelitu koja primi takav signal, pojača ga i promjeni frekvenciju bez da promjeni sadržaj signala, zove se transponder.

Svaki transponder je konfiguriran za prihvaćanje određene frekvencije (36MHz, 54MHz i 72MHz su uobičajeni). Raspon frekvencija odgovara 'kanalu'. Kada se pogleda izgled transpondera, tj. konfiguracija za satelit, kanali su raspoređeni s frekvencijskim pojasom  između svakog od njih, tipično 4MHz, a to je poznato kao 'zaštitna traka' i njegova svrha je osigurati izolaciju između svakog od tih kanala. Također se može primijetiti da postoje dva seta frekvencija po transponderu i da su u suprotnim polaritetima; ovo je poznato kao ponovna upotreba iste frekvencije (*engl. frequency reuse*) i tehnika je u kojoj dva transpondera dijele istu frekvenciju, ali sa signalima sa suprotnim polaritetima, tako da dva signala neće međusobno utjecati jedan na drugog.

Danas, u doba digitalne kompresije, ponovna upotreba frekvencije se dobiva digitalnim sažimanjem višestrukih kanala po transponderu. Na novijim satelitima, pojedini transponderi mogu se prilagoditi sa zemaljskih kontrolnih stanica da se povežu kako bi klijentu pružili veći propusni opseg ili se mogu podijeliti kako bi se smanjio propusni opseg prema specifikacijama korisnika (na primjer, 72MHz transponder se može razbiti na dvije jedinice od 36MHz).

Za prijam signala na Zemlji, antene na satelitu mogu se konfigurirati tako da se spuštaju u "globalni" snop (koji može pokriti oko četrdeset posto Zemljine površine), i

konfigurirati  tako da cilja regiju ili zemlju (ponekad se nazivaju zona ili "hemi"-hemisfera), i / ili biti konfiguriran tako da snop cilja samo malu površinu. Pojedinačni transponderi ili skupine transpondera mogu se konfigurirati tako da pokrivaju različite dijelove Zemlje iz istog satelita; transponderi koji se mogu konfigurirati sa zemaljskih kontrolnih stanica kako bi promijenili pokrivenost nazivaju se "upravljivim snopovima". Satelitska pokrivenost na Havajima je tipična za snop koji pokriva malu površinu, satelitska pokrivenost kontinentalnog dijela SAD-a je tipični regionalni snop, a satelitska pokrivenost Intelsatovih međunarodnih konzorcijskih satelita su tipični globalni snop.

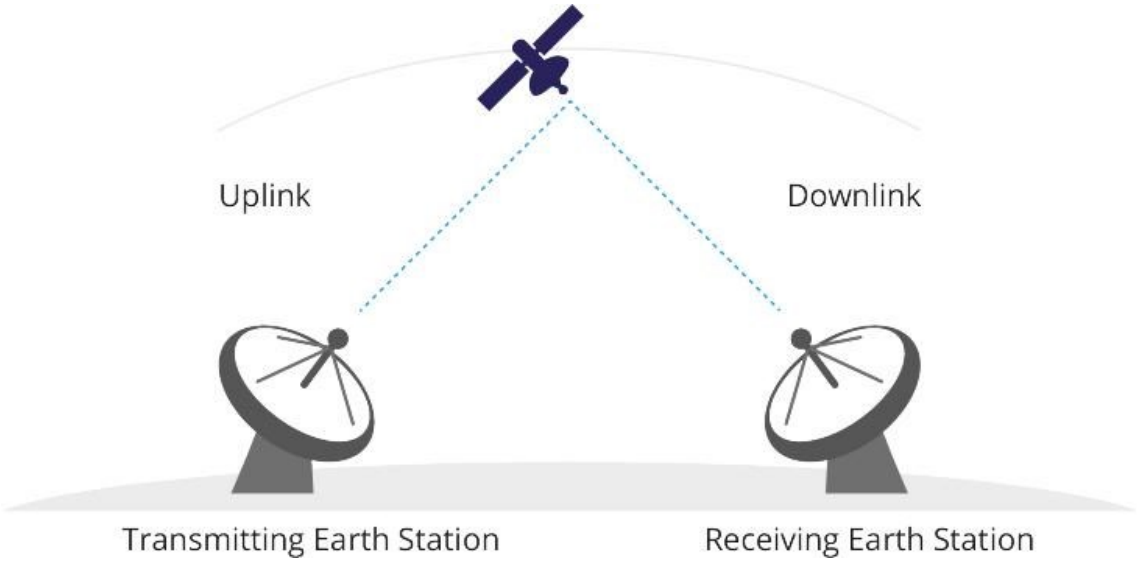
Glavni problemi korištenja geostacionarne orbite za navigaciju su loš omjer slabog signala i gustoće smetnji te loša geometrijska raspodjela i vidljivost satelita. GEO sateliti su najprikladniji za nošenje velikih količina komunikacijskog prometa. Gotovo svi današnji moderni financijski poslovi odvijaju se velikom brzinom putem GEO satelita. Npr. transakcije kreditnih kartica, korporativni inventari, praćenje pošiljki, zapisi novina koji se snimaju i prenose do tiskara putem satelita. GEO sateliti brzo i učinkovito povezuju udaljena područja Zemlje s telefonskim, televizijskim i podatkovnim informacijama te osiguravaju prijenos s jedne lokacije uzlaznog signala na regionalnu distribuciju silaznog signala - to se često naziva distribucija u više točaka. Sateliti koriste signale za prijenos/primanje u mikrovalnom frekvencijskom području. Zemljina atmosfera ih ne odbija jer su niže frekvencije.

Prije razvoja GEO-satelitske tehnologije, prijenos mikrovalova ostvaren je nizom mikrovalnih tornjeva i podmorskih kabela. Očito ograničenje mikrovalnih tornjeva je da je riječ o tehnologiji koja je ograničena na liniju mjesta u odnosu na njihovo postavljanje - potreban je toranj svakih dvadeset pet milja.  Prvi komercijalni GEO sateliti izumljeni su za povećanje mikrovalnih tornjeva za telefonski prijenos i to tako da budu iste frekvencije kao i mikrovalni tornjevi koji su u C-pojasu. Kada su sateliti primijenjeni za raspoređivanje televizijskih programa, prva komercijalna satelitska TV oprema bila je C-pojas.

GEO sateliti se koriste i za potrebe promatranja Zemlje. Prije pojave GEO satelitske tehnologije, sve meteorološke prognoze su bile temeljene na informacijama sa Zemaljskih stanica, izvješća pilota i brodova. Danas satelitske slike šalju obavijesti o svim vremenskim frontama, a bilo tko sa relativno jeftinim hardwareom može pristupiti ovim informacijama. Osim za vrijeme, GEO sateliti koriste se za promatranje okoliša, promatranje temperatura oceana, količine kiše, širenje pustinja, nestajanje šuma, kvalitete zraka itd.

Satelitski sustav Inmarsat je primjer globalne mreže za pružanje komunikacijskih usluga korisnicima. Trenutno je jedini pružatelj umreženih globalnih i osobnih

komunikacijskih usluga s GEO. Njegova potpuna pokrivenost Zemlje, osim polova, postiže se pomoću četiri GEO satelita. Iako je nedostatak geostacionarnog satelita u sustavu glasovne komunikacije kašnjenje (*engl. latency*) od oko 250 milisekundi od Zemlje do satelita i natrag do Zemlje (Footprints by Dish Size, 2001). Inmarsat sustav je prvi osobni komunikacijski sustav i njegova tehnologija prethodila je razvoju LEO tehnologije. Prvobitno je 1979. godine ovlašten za pružanje usluga praćenja prometa pomorskim korisnicima na moru; sada dodatno, ovisno o vrsti korištenog terminala, omogućuje izravni glas, telefaks, dupleks prijenos podataka, teleks, elektroničku poštu, visokokvalitetan zvuk, komprimirane videozapise, telefoto, videokonferencije i telemedicinu za sve globalne korisnike, uključujući usluge za zrakoplove (od kojih su neke još uvijek u razvoju) i usluge pozicioniranja, praćenja i uz to praćenja za zemaljske mobilne sustave.




Slika 4. Prijenos podataka između dviju Zemaljskih stanica preko satelita [15]

### 3.3. NISKA ZEMLJINA ORBITA

Sateliti smješteni u niskoj zemljinoj orbiti LEO (*engl. Low Earth Orbit*) su u kružnoj orbiti na visini manjoj od 2000 km iznad površine Zemlje. Period orbite na ovim visinama mijenja se između devedeset minuta i dva sata (Brierley-Green, 2017). Područje pokrivanja komunikacijskog satelita (*engl. footprint*) u LEO-u razlikuje se od 3000 do 4000 km. Maksimalno vrijeme tijekom kojeg je satelit u orbiti iznad lokalnog horizonta za promatrača na Zemlji iznosi do 20 minuta. Većina malih LEO sustava koristi polarne ili skoro polarne orbite. Pristupačnost se, naravno, može poboljšati uvođenjem više od jednog satelita i korištenjem više orbitalnih putanja. Kompletan sustav globalne pokrivenosti koji koristi LEO

zahtijeva veliki broj satelita, u višestrukim orbitalnim ravninama, u različito nagnutim orbitama.

Na primjer, sadašnji operativni sustav Iridium (Motorola) koristi 66 satelita (plus šest rezervnih u orbiti) u šest orbitalnih putanja nagnutih pri 86,4° na visini orbite od 780 km s orbitalnim periodom od 100 minuta. Globalna pokrivenost ovim jedinstvenim sustavom je zapanjujućih 9,49 milijuna četvornih kilometara (Footprints by Dish Size, 2001). Topologija komunikacijskih mreža temeljenih na LEO-u je dinamična; mreža se mora neprekidno prilagođavati promjenjivim uvjetima kako bi se postigle optimalne (najmanja kašnjenja) veze između terminala. Kada se satelit koji služi određenom korisniku pomakne ispod lokalnog horizonta, on mora biti u mogućnosti predati uslugu sljedećem satelitu u istoj ili susjednoj orbiti. Ovisno o oblikovanju sustava, pojedinačni sateliti se mogu međusobno povezati da bi poslali signal tehnikom brzog izmjenjivanja paketa (kao u Iridiumu) ili mogu vratiti signal zemaljskom terminalu za preusmjeravanje. Iz karte pokrivenosti Iridiumom na slici 5. može se vidjeti golemost i složenost globalnog zadatka LEO komunikacije.

Neovisno koriste li se sheme usmjeravanja za satelit-satelit ili satelit-zemaljski terminal-satelit, poruke se obično obrađuju unutar dupleks LEO mreže kao paketi kratkih i fiksnih duljina. Svaki paket sadrži zaglavlje koje sadrži adresu odredišta i podatke o sekvenci, odjeljak za kontrolu grešaka koji se koristi za provjeru cjelovitosti zaglavlja i odjeljak koji sadrži digitalno kodirane korisničke podatke (glas, video, podatke itd.), te prilagodljivi algoritam usmjeravanja paketa za postizanje niskog kašnjenja i niske promjenjivosti kašnjenja u mreži. Svaki čvor (satelitski ili zemaljski terminal) automatski i neovisno odabire rutu s najmanjim kašnjenjem do ciljnog odredišta. Paketi iste korisničke serije mogu slijediti različite putove kroz mrežu.



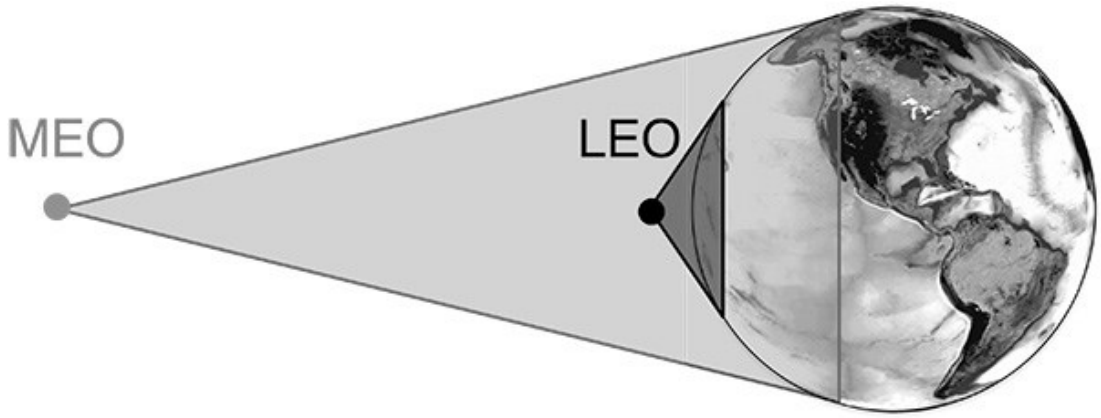
slika 5. Karta pokrivenosti Iridiuma[18]

Zbog relativno velikog kretanja satelita u LEO-u u odnosu na promatrača na Zemlji, satelitski sustavi koji koriste ovu vrstu putanje moraju biti u stanju nositi se s velikim Dopplerovim pomacima. Sateliti u LEO-u također su pogođeni atmosferskim otporom koji uzrokuje postupno propadanje orbite, a tipičan vijek LEO satelita je oko 5 godina (Footprints by Dish Size, 2001). Međutim, lansiranje u nisku Zemljinu orbitu mnogo je jeftinije od GEO, a zbog njihovog mnogo lakšeg tereta, više se LEO satelita može lansirati odjednom.

Pogodnost LEO komunikacijskog sustava je što pruža izravnu satelitsku vezu za dolazne i odlazne prijenose informacija u udaljenim područjima, slabo pokrivenim regijama i lokacijama izvan zemaljskih mreža. To omogućuje korisniku roaming preko više bežičnih i nacionalnih telefonskih sustava, koristeći jedan telefonski broj za koji prima jedan telefonski račun za pozive.

Međutim, nisu svi programi LEO za osobnu komunikaciju usmjereni na globalnu pokrivenost. Neki se postavljaju samo na specifične zemljopisne širine gdje se nalaze možebitni tržišni centri visoke gustoće. Rani regionalni, neglobalni LEO sustavi osmišljeni su da omoguće daljinski nadzor i prijenos podataka nacionalnim prijevoznim tvrtkama i mobilnim jedinicama. Pomoću vozila ili stolno ugrađenog primopredajnika s kratkom, fleksibilnom antenom, sustav je sposoban slati i primati dvosmjerne alfanumeričke podatkovne pakete, slične dvosmjernim stranicama ili e-pošti. Ovi sustavi su prošireni na ručne uređaje za osobne poruke za pojedinačne korisnike. Pošiljateljeva poruka ide na najbliži satelit gdje je povezana terminalom zemaljske stanice radi provjere valjanosti i učinkovitog usmjeravanja do primateljeve primopredajne jedinice. Ako je potrebno, pristupne zemaljske stanice prenose poruke između satelita radi brže isporuke.

Iako se LEO ne koristi za sustave lociranja, prednosti navigacije pomoću LEO su teoretski istražene i analizirane. Rezultati pokazuju da su vidljivost satelita i preciznosti položaja znatno poboljšani. S obzirom na visoku točnost pozicioniranja, velika udaljenost od Zemlje rezultira relativnim usporenim kretanjem satelita na nebu i sporim geometrijskim promjenama u odnosu na zemaljske postaje. Stoga je potrebno jako dugo da bi se nejasnoće pouzdano sažele u ispravne cjelobrojne vrijednosti (normalno više od 30 min). Korištenjem satelita u LEO kao navigacijskim satelitima, ovi nedostaci mogu se poboljšati.




Slika 6. Razlika područje djelovanja MEO i LEO satelita [14]

### 3.4. SREDNJA ZEMLJINA ORBITA

Srednja zemljina orbita MEO (*engl. Medium Earth Orbit*) je na nadmorskoj visini od oko 10.000 km. Orbitalni period na ovoj visini traje oko 6 sati. Za promatrača na Zemlji, maksimalno vrijeme tijekom kojeg je satelit u putanji iznad lokalnog horizonta je nekoliko sati. Globalni komunikacijski sustav koji koristi ovu vrstu orbite zahtijeva skroman broj satelita u 2 do 3 orbitalne ravnine kako bi se postigla globalna pokrivenost (Brierley-Green, 2017). Američki GPS (*engl. Global Positioning System*) je glavni primjer MEO sustava. Omogućuje korisnicima na kopnu, moru i zraku da odrede svoj položaj, brzinu i vrijeme, 24 sata dnevno, u svim vremenskim uvjetima, bilo gdje u svijetu.

Svaki satelit Block IIf serije teži 1630 kilograma i ima životni vijek od 12 godina, sa solarnim pločama koje daju 1952W na kraju svog vijeka. Sadrže atomske satove, te nikal-kadmijeve baterije koje osiguravaju energiju za vrijeme kada nisu izloženi sunčevom zračenju. Sateliti djeluju u šest orbitalnih ravnina s četiri satelita po ravnini i imaju orbitalni period od 12 sati, tako da završavaju 2 orbitalne revolucije unutar 24 sata (Footprints by Dish Size, 2001). Kao što je tipično za sve MEO sustave, to ima za posljedicu trasu satelitske orbite na Zemljinoj površini koja će se redovito ponavljati, u ovom slučaju ponavljanje je svakodnevno. Dakle, pozicije satelita na nebu na bilo kojem mjestu mogu se utvrditi za bilo koje određeno vremensko razdoblje.

MEO sateliti smatraju se sredinom između LEO i GEO satelita. LEO sateliti obično kruže putanjom oko ekvatora i približno dvadeset satelita je potrebno za neprekinutu

pokrivenost. MEO sateliti kruže oko Zemlje na većim nadmorskim visinama i stoga pružaju veće područje pokrivenosti do te mjere, da tvrtka sa 24 satelita ima četiri koja pokrivaju bilo koju točku na Zemlji u bilo koje vrijeme tijekom dana. To je važno jer davatelji usluga koriste više satelita kako bi uklonili prekide u prijenosu podataka uzrokovane lošim vremenskim uvjetima ili zaprekama. Glavna prednost LEO satelita je u tome što oni mogu pružiti mnogo jasnije slike nadzora i zahtijevati mnogo manje energije za prijenos podataka na zemlju. GEO sateliti, s druge strane, djeluju na znatno većim visinama koje osiguravaju široka područja pokrivenosti na Zemlji. U principu, tri satelita, udaljena 120 stupnjeva, mogu izvršiti zadatak koji zahtijeva neprekinutu pokrivenost Zemlje. Dovođenje satelita u GEO putanju, od 35800km, zahtjeva velike rakete i značajne količine goriva.

Zbog toga su sateliti MEO kompromis između prednosti LEO i GEO satelita te njihovih troškova i nedostataka. Potreban je određeni položaj i broj satelita za neprekinutu pokrivenost, ali za MEO će biti potrebno manje satelita nego u LEO-u, ali više od GEO-a čime se nudi srednji put kada su u pitanju troškovi izgradnje i primjene. Osim toga, zbog toga što su niži od GEO satelita, latencija - vremenski razmak između slanja signala i primitka je manja. Daljnje prednosti MEO satelita uključuju da, na nižim visinama, mogu uhvatiti slabije signale nego u GEO. Njihova snaga odašiljača i veličina antene također predstavljaju kompromis između skromnih zahtjeva LEO-a i značajnih zahtjeva GEO-a. Navigacijski sustavi i dalje su najčešća uporaba MEO satelita.

### 3.5. VISOKO ELIPTIČNA ORBITA

Visoko eliptične orbite HEO (*engl. Highly Elliptical Orbit*) u početku je iskorištavala Ruska Federacija kako bi osigurala razmjenu podataka sa svojim sjevernim regijama, koje nisu pokrivene njihovim GEO-satelitskim mrežama. HEO tipično imaju perigej na oko 500 km iznad površine Zemlje i apogej visok do 50000 km. Putanje su nagnute na 63,4° kako bi pružile komunikacijske usluge mjestima na visokim sjevernim geografskim širinama. Orbitalni period varira od 8 do 24 sata (Footprints by Dish Size, 2001). Zahvaljujući visokoj ekscentričnosti orbite, satelit će provesti oko dvije trećine orbitalnog razdoblja u blizini apogeja, a za to vrijeme čini se da je gotovo nepomičan za promatrača na Zemlji.

Dobro osmišljen sustav HEO smješta svaki apogej u odgovarajuću zonu interesa, tako da pokriva glavno naseljeno područje, na primjer u satelitskom sustavu Molnya RF-e koji je namijenjen za pokrivanje Sibira. Nakon apogejnog razdoblja orbite, mora se dogoditi prijelaz na drugi satelit u istoj orbiti kako bi se izbjegao gubitak komunikacije s korisnikom.

Kašnjenja i gubitci u snazi signala FSPL (*engl. Free Space Path Loss*) za ovu vrstu orbite usporedivi su s onima geostacionarnih satelita. Međutim, zbog relativno velikog pomicanja satelita u HEO-u u odnosu na promatrača na Zemlji, satelitski sustavi koji koriste ovu vrstu putanje moraju biti u stanju nositi se s velikim Dopplerovim pomacima. Primjeri HEO sustava su ruski sustav Molnya, koji koristi 3 satelita u tri dvanaestosatne orbite, koje su odvojene za 120° oko Zemlje, s apogej udaljenosti na 39354 km i perigejem na 1000 km i ruski tundra sustav koji koristi dva satelita u dvije dvadesetčetverosatne orbite razdvojene za 180° oko Zemlje, s apogejnom udaljenosti na 53622 km i perigejem na 17951 km (Footprints by Dish Size, 2001).

Trenutno postoje samo planovi o dodavanju HEO satelita u sustav GNSS-ova, zbog bolje pokrivenosti viših zemljopisnih širina.

### 3.6. POLARNA ORBITA

Kao što ime govori, polarne orbite prolaze preko Zemljinih polarnih područja od sjevera prema jugu. Orbitalna putanja satelita ne mora točno prelaziti polove kako bi se orbita nazvala polarnom. Orbita koja prolazi unutar 20 do 30 stupnjeva polova još se klasificira kao polarna orbita. Ove se orbite uglavnom odvijaju na malim nadmorskim visinama između 200 i 1000 km. Sateliti u polarnoj orbiti mogu prelaziti preko sjevernog i južnog pola nekoliko puta dnevno. Postavljanjem satelita na nadmorskoj visini od oko 850 km može se postići polarno vrijeme orbite od oko 100 minuta (Types of Orbits, Space Transportation ESA, 2017).

.

Polarni sateliti koriste se za izviđanje i promatranje Zemlje te mogu nositi senzore osjetljive na svjetlo i infracrveno zračenje, vršiti mjerenja temperature i vlažnosti u Zemljinoj atmosferi, bilježiti površinske temperature tla i površine morske vode te pratiti oblake i granice vode/leda. Mogu imati mogućnost primanja, mjerenja, obrade i ponovnog slanja podataka iz balona, plutača i automatskih udaljenih stanica raspoređenih širom svijeta. Ovi sateliti također mogu nositi transponder za traganje i spašavanje kako bi pomogli locirati oborene zrakoplove ili brodove u nevolji.

# 4. GLOBALNI NAVIGACIJSKI SATELITSKI SUSTAVI

Satelitski navigacijski sustav s globalnom pokrivenošću naziva se globalnim navigacijskim satelitskim sustavom GNSS (*engl. Global Navigation Satellite System*). Od listopada 2018., to su SAD-ov sustav pozicioniranja GPS (*engl. Global Positioning System*) i GLONASS RF-e, a kineski navigacijski satelitski sustav BeiDou (BDS) i europski Galileo će biti u potpunosti djelovati kao GNSS-ovi do 2020. Indija, Francuska i Japan također su u postupku razvoja regionalnih sustava za navigaciju i nadogradnju. GNSS-1 je sustav prve generacije postojećih satelitskih navigacijskih sustava (GPS i GLONASS), sa satelitskim sustavima za nadogradnju SBAS (*engl. Satellite-based Augmentation Systems*) ili sustavima za nadogradnju na tlu GBAS (*engl. Ground-based Augmentation Systems*). Satelitski sustavi u SAD-u su WAAS (*engl. Wide Area Augmentation System*), u Europi EGNOS (*engl. The European Geostationary Navigation Overlay Service*), a u Japanu je MSAS (*engl. Multi-Functional Satellite Augmentation System*). Sustavi za nadogradnju temeljeni na tlu su sustavi kao što je LAAS (*engl. Local-Area Augmentation System*). GNSS-2 je druga generacija sustava koja samostalno osigurava potpuni civilni satelitski navigacijski sustav, primjerice europski sustav lociranja Galileo.

## 4.1. GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS)

Globalni sustav pozicioniranja GPS (*engl. Global Positioning System)*, izvorno Navstar GPS (*engl. Navigation Satellite Timing and Ranging – Global Positioning System*), je satelitski radionavigacijski sustav koji je u vlasništvu vlade SAD-a. To je globalni satelitski navigacijski sustav koji GPS prijemniku pruža podatke o geolokaciji i vremenu na bilo kojem mjestu na Zemlji gdje postoji nesmetana komunikacija do četiri GPS satelita. Prepreke kao što su planine i zgrade zaprječuju relativno slabe GPS signale. GPS ne zahtijeva od korisnika da prenosi bilo kakve podatke, te radi neovisno o bilo kojem telefonskom ili internetskom prijemu. GPS pruža mogućnosti lociranja vojnih, civilnih i komercijalnih korisnika širom svijeta. Vlada SAD-a stvorila je sustav, održava ga i čini ga slobodno dostupnim svakome tko ima GPS prijemnik. Projekt GPS je pokrenut od strane američkog Ministarstva obrane 1973. godine za upotrebu u vojsci SAD i počeo je u potpunosti djelovati 1995. Iako je bio vojno orijentiran, manje precizna verzija GPS-a je dozvoljena za civilnu uporabu 1980-ih.

Civilni GPS-prijemnici sadrže pogreške pri određivanju položaja koje su prvenstveno rezultat akumuliranja pogrešaka iz sljedećih izvora:

Ionosfersko i troposfersko kašnjenje - Satelitski signal usporava kad prolazi kroz

atmosferu. Sustav koristi ugrađeni software koji računa prosječno, ali ne točno vrijeme kašnjenja.

Višestruki put signala - To se događa kad se GPS-signal odbija od objekata, kao što su zgrade ili površine velikih stijena prije nego što stigne do prijemnika. To povećava vrijeme putovanja signala tako uzrokujući pogrešku.

Pogreške sata prijemnika - Kako nije praktično imati atomski sat u GPS-prijemniku, ugrađeni sat može imati male pogreške u vremenu.

Orbitalne pogreške - Također poznate kao "pogreške efemerida", netočnosti su u izvještaju o položaju satelita.

Broj vidljivih satelita - Zgrade, konfiguracija terena, elektronička interferencija (miješanje signala) ili npr. gusto lišće mogu zapriječiti prijem signala, uzrokujući pogreške u položaju, ili pak sasvim onemogućiti određivanje položaja. Što je bolja vidljivost, to je bolji prijem. GPS-prijemnici neće uvijek primati signal unutar zgrada, ispod vode ili zemlje.

Geometrija satelita/zasjenjivanje – Odnosi se na relativan položaj satelita u nekom trenutku. Idealna geometrija satelita postoji kad su sateliti smješteni pod velikim kutom relativno jedan u odnosu na drugi. Nepovoljna geometrija nastaje kad su sateliti smješteni na pravcu ili su tijesno grupirani.

Namjerna degradacija satelitskog signala – Vojska SAD-a koristila je namjernu degradaciju signala poznatu kao "selektivna raspoloživost" SA (*engl. Selective Availability*) i namjera joj bila je spriječiti vojne protivnike u upotrebi visokotočnih GPS-signala. SA je bila odgovorna za većinu pogrešaka u određivanju položaja. SA je ugašena 2. svibnja 2000.

Točnost se može poboljšati korištenjem diferencijalnog GPS-a (*engl. Differential GPS*), s kojim se mogu smanjiti neke od gore navedenih pogrešaka. Diferencijalni GPS radi tako da se GPS prijemnik stavi na poznati položaj (naziva se referentnom stanicom). Budući da ta određena stanica zna svoj točni položaj, može odrediti pogreške u satelitskim signalima. Ona to radi mjerenjem udaljenosti do svakog satelita koristeći dolazne signale i uspoređujući te mjerene udaljenosti sa udaljenostima izračunanim iz poznatih položaja. Razlika između mjerene i izračunate udaljenosti za svaki vidljivi satelit postaje diferencijalni ispravak. Diferencijalni ispravak za svaki praćeni satelit se oblikuje u odgovarajuću korektivnu poruku i šalje je DGPS-prijemnicima. Ti se diferencijalni ispravci primjenjuju u računanjima GPS-prijemnika, uklanjajući mnoge od uobičajenih pogrešaka i povećavajući točnost. Razina postignute točnosti ovisi kakvoći, okolini i udaljenosti od stanice. Preostali izvori pogrešaka koji su neotklonjivi ovom metodom su šum prijamnika i pogreška zbog višestrukog puta signala. Što je prijamnik dalje od stanice, diferencijalna korekcija postaje netočnija. Za veća

područja pokrivenosti izgrađuju se mreže baznih stanica tako da prijamnik bira korekcije bliže stanice. Prijemnik referentne stanice određuje čimbenike pogreške i daje ispravke GPS-prijemniku u stvarnom vremenu.

Također, GLONASS se može dodati GPS uređajima, što omogućuje dostupnost više satelita i omogućuje brže i preciznije određivanje položaja, na udaljenosti do dva metra. Kada je selektivna dostupnost ukinuta 2000. godine, GPS je imao točnost od oko 5 metara. Najnovija faza poboljšanja točnosti koristi L5 pojas, koji omogućuje bržu obradu podataka od ranijih frekvencijskih pojaseva L1 i L2. GPS prijemnici izrađeni nakon 2018. koji koriste L5 pojas mogu imati mnogo veću točnost i precizno odrediti lokaciju unutar 30 centimetara (Brierley-Green, 2017). Rad GPS-a temelji se na sličnim zemaljskim radio-navigacijskim sustavima, kao što su LORAN i Decca, razvijeni početkom 1940-ih. Friedwardt Winterberg je predložio test opće relativnosti - otkrivanje usporavanja vremena u jakom gravitacijskom polju pomoću preciznih atomskih satova smještenih unutar umjetnih satelita. Posebna i opća relativnost predviđaju da će satovi na GPS satelitima promatrani sa Zemlje biti brži za 38 mikro sekunda dnevno od satova na Zemlji. Izračunati položaji s GPS-om brzo bi se pretvorili u pogrešku, akumulirajući se 10 kilometara dnevno. To je ispravljeno u softwareu GPS-a.

## 4.2. GALILEO

Galileo je globalni satelitski navigacijski sustav Europske unije (GNSS), ponekad zvan "europski GPS". Različiti zamisli triju glavnih sudionika ESA-e (*engl. European Space Agency*), 1999. godine za Galileo svedeni na jedan zajednički tim inženjera iz Njemačke, Francuske i Italije. Prvu fazu programa Galileo Europska unija i ESA službeno su dogovorili 26. svibnja 2003. Sustav je prvenstveno namijenjen civilnoj uporabi, za razliku od vojno usmjerenih sustava SAD-a (GPS), RF-e (GLONASS) i Kine (BeiDou). Europski sustav bit će dostupan u punoj preciznosti i civilnim i vojnim korisnicima.

Galileo je program pod civilnom kontrolom i njegovi podaci mogu se koristiti za širok raspon primjena. On je autonoman i interoperabilan, odnosno može raditi sam, ali ima sposobnost rada s drugim postojećim satelitskim navigacijskim sustavima. Sustav Galilea trenutno se sastoji od 30 satelita. Jedan od ciljeva Galilea je osigurati neovisni visoko precizni sustav pozicioniranja kako se europske zemlje ne bi morale oslanjati na ruski GLONASS, kineske BeiDou ili američke GPS sustave, koje bi njihovi operateri mogli u bilo kojem trenutku onesposobiti ili degradirati.

Korištenje osnovnih (manje preciznih) usluga Galilea bit će besplatne i otvorene za

sve. Mogućnosti veće preciznosti bit će dostupne komercijalnim korisnicima uz naplatu. Galileo je namijenjen za mjerenje pozicije u preciznosti od 1 metra i bolje pozicioniranje na višim geografskim širinama od ostalih sustava za pozicioniranje. Galileo će također pružiti novi globalni potprogram traženja i spašavanja (*engl. Search and Rescue*) kao dio sustava MEOSAR. Prvi ispitni satelit Galileo, GIOVE-A, pokrenut je 28. prosinca 2005., a prvi satelit koji je dio operativnog sustava pokrenut je 21. listopada 2011. Od srpnja 2018., 26 od planiranih 30 satelita je u orbiti. Galileo je 15. prosinca 2016. počeo nuditi ranu djelatnu sposobnost, pružajući početne usluge sa slabim signalom i očekuje se da će ostvariti punu djelatnu sposobnost do kraja 2019., a do 2020. godine očekuje se cjeloviti 30-satelitski Galileo sustav (24 operativna i 6 rezervnih dijelova).

### 4.3. GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM (GLONASS)

GLONASS je globalni satelitski navigacijski sustav koji omogućuje određivanje položaja i brzine u stvarnom vremenu za vojne i civilne korisnike. Sateliti su smješteni u srednjoj kružnoj orbiti na 19.100 km visine s orbitalnom inklinacijom od 64.8° i orbitalnim periodom od 11 sati i 15 minuta (Afanasyev, Vorontsov, 2010). GLONASS-ova orbita čini je posebno prikladnom za uporabu u visokim geografskim širinama (sjever ili jug), gdje dobivanje GPS signala može biti problematično.

Glonass pruža alternativu GPS-u i drugi je navigacijski sustav koji radi s globalnom pokrivenošću i usporedivom preciznošću. Proizvođači GPS navigacijskih uređaja kažu da je dodavanje GLONASS-a učinilo više satelita dostupnim, što znači da se pozicije mogu odrediti brže i preciznije, osobito u izgrađenim područjima gdje je pogled na neke GPS satelite možda zaklonjen zgradama. GLONASS-ovi sateliti prošli su nekoliko nadogradnji, a s najnovijom verzijom GLONASS-K2, trebala bi biti lansirana do 2022. Do 2040. najavljena je skupina komunikacijskih i navigacijskih satelita, ujedno i isporuka niza svemirskih letjelica za orbitalna istraživanja te uspostavu globalnog komunikacijskog sustava i sustava pozicioniranja na Mjesec.

Sateliti djeluju u tri orbitalne ravnine, s osam ravnomjerno raspoređenih satelita na svakoj. Potpuno operativna konstelacija sa globalnom pokrivenošću sastoji se od 24 satelita, dok je 18 satelita neophodno za pokrivanje teritorija Rusije. Da bi se dobila precizna pozicija, prijemnik mora biti u rasponu od najmanje četiri satelita. Kod najveće učinkovitosti, preciznost signala nudi vodoravnu točnost pozicioniranja unutar 5-10 metara, okomito

pozicioniranje unutar 15 metara, vektor brzine koji se mjeri unutar 10 centimetara u sekundi, i vrijeme unutar 200 ns , temeljeno na mjerenjima od četiri satelita (Miller, 2000).

# 5. PRIMJENE GNSS TEHNOLOGIJA U NAVIGACIJI

Od lansiranja prvog GPS satelita prije 25 godina, tehnologije i primjene satelitskog pozicioniranja brzo su se razvile. Nema naznaka da ovaj trend opada, te se očekuje rast novih tržišta za GPS i povezanu tehnologiju određivanja položaja. GPS je globalni navigacijski satelitski sustav prve generacije. Do kraja desetljeća GPS će izgubiti svoj povlašteni položaj i bit će samo jedna komponenta GNSS-a.

GPS korisnička oprema doživjela je dramatičnu promjenu od vrlo teške, skupe, analogne elektronike do sićušnih digitalnih uređaja koji se mogu ugraditi u mobilne telefone. Dok su primjene GPS-a u profesionalne svrhe (geodezija, mjerenja, kartografija, navigacija) i dalje imale koristi od globalne dostupnosti GPS-a, očekuje se da će se GNSS sve više koristiti za podršku potrošačkim primjenama za osobno i automobilsko pozicioniranje.

Početni cilj prvih GNSS sustava bio je vojni. No, uz slobodnu dostupnost GNSS signala i dostupnost jeftinih GNSS prijemnika, GNSS tehnologija ima široku primjenu u civilnim, industrijskim, znanstvenim i vojnim područjima. Europsko natjecanje u satelitskoj navigaciji prepoznaje najbolje ideje u području daljnjih primjena temeljenih na satelitskoj navigaciji. Usluge temeljene na LBS (*engl. Location Based Services*) uključuju primjene koje ovise o lokaciji korisnika za pružanje usluga/informacija koje su bitne za korisnika na tom mjestu. LBS koristi mobilne uređaje s mogućnošću pozicioniranja za pružanje takvih usluga.

Iako je glavni cilj GNSS sustava pozicioniranje, on ima na raspolaganju druge informacije ili se iz mjerenja prikupljenih od GNSS prijemnika, one mogu izvesti. To je dovelo do uporabe tehnologije u područjima primjene koja nisu bila prvotno predviđena. GNSS sustavi osiguravaju precizno vrijeme uz položaj i brzinu korisnika. Ta se sposobnost koristi za precizno određivanje vremena u različitim područjima kao što su financijske transakcije i tržišta dionica. Još jedan primjer manje uobičajene uporabe GNSS tehnologije je mjerene interferencije atmosfere na GNSS signalima za obavljanje atmosferskog očitavanja. Osim gore navedenih aplikacija, postoji i nekoliko drugih primjena GNSS-a u području pomorstva, kao što su: promatranje promjena razine mora, operacije jaružanja, lociranje olupina, polaganje cjevovoda, traganje i spašavanje brodova, dinamičko pozicioniranje.

## 5.1. AIS

Sustav automatske identifikacije AIS (*engl. Automatic Identification System*) je usluga za brodski sustav emitiranja koji djeluje kao transponder u VHF pomorskom pojasu i prenosi podatke o plovilu u stvarnom vremenu. AIS se oslanja na GNSS kao primarni izvor pozicioniranja. Služba za promet plovila VTS (*engl. Vessel Traffic Service*) pruža aktivan nadzor i savjete za plovidbu plovila na posebno ograničenim i prometnim plovnim putovima.

AIS informacije su podijeljene u dvije klase - klase A i B - ovisno o AIS transponderu koji prenosi AIS informacije. Te su klase od velike važnosti za sposobnosti AIS-a, a među njima postoji velika razlika između ove dvije klase, u smislu opsega, složenosti i cijene. AIS informacije iz transpondera klase A uvijek će biti prvenstvene i prema tome biti prikazane drugim brodovima u tom području, dok AIS informacije iz transpondera klase B neće biti prikazane sve dok se ne oslobodi mjesto na kanalu. Kako bi se izbjeglo da svi AIS sustavi brodova govore u isto vrijeme, veliki brodovi koriste AIS sustav klase A, koji se zove SOTDMA (*engl. Self-Organized Time-Division Multiple Access)*, a mala plovila opremljena AIS-om, kao što su plovila za rekreaciju, mogu koristiti manje skupu stanicu AIS klase B koja prenosi rjeđe. Ovaj se sustav naziva CSTDMA (*engl. Carrier Sense TDMA*). Algoritam osigurava da AIS odašiljač broda najprije primijeti kako drugi brodovi prenose svoje poruke i nakon toga prilagođavaju vlastiti uzorak prijenosa onima drugih. U slučaju da ima više brodova opremljenih AIS-om klase A u području, sustav će automatski ograničiti područje pokrivenosti tako da se udaljeniji brodovi u tom području odbace. Stanica klase B će slušati nekoliko milisekundi kako bi čula prenosi li veliki brod prije slanja vlastite poruke.

## 5.2 ECDIS

ECDIS sustav (*engl. Electronic Charts Display and Information System*) je računalni navigacijski sustav koji je u skladu s IMO propisima i može se koristiti kao alternativa papirnim navigacijskim kartama. Integrirajući različite informacije u stvarnom vremenu, koji može neprekidno utvrđivati položaj plovila u odnosu na zemlju, ucrtane objekte, navigacijska pomagala i nevidljive opasnosti.

ECDIS koristi sustav globalnog pozicioniranja (GPS) kako bi uspješno odredio navigacijske točke. Također treba napomenuti da se ECDIS pridržava odredbi Međunarodne pomorske organizacije, te tako pridonosi pouzdanosti elektroničkog sustava. ECDIS je u osnovi navigacijski informacijski sustav, povezan s drugim navigacijskim uređajima kao što su GPS, žiroskop, RADAR, ARPA, dubinomjer, brzinomjer, AIS itd.

ECDIS također uključuje i prikazuje informacije sadržane u drugim nautičkim publikacijama kao što su tablice plima i upute za jedrenje i uključuje dodatne pomorske informacije kao što su informacije o radaru, vremenske prilike, ledeni uvjeti i automatska identifikacija plovila.

Rasterska karta (RNC): RNC-ovi su izravna kopija ili skenirane papirnate karte. Izgleda identično papirnatoj karti jer su svi prikazani podaci izravno ispisani. Karta postaje sve veći ili manji prema zumiranju i kada se rotira, sve se okreće.

Vektorska karta (ENC): ENC-ovi su računalno generirane karte. Pojedinosti o ENC-u mogu se uključiti i isključiti ovisno o zahtjevu korisnika. Objekti na ENC-u mogu se kliknuti za više pojedinosti o istom. Dubine se također mogu pratiti kako bi se dobilo upozorenje s obzirom na uzemljenje. Prilikom zumiranja, značajke postaju veće ili manje, ali tekst ostaje isti.

Zbog svojih prednosti, u uporabi su većinom vektorske karte, dok se rasterske samo iznimno koriste.

ECDIS je zapravo preglednik elektroničkih karata i informacijski sustav koji čini osnovni standard kod korištenja pomorskih karata. Ovaj sustav podržava iste principe rada kao i na papirnatim kartama, samo što je on mnogo prilagodljiviji. Na papirnatim kartama, ruta se planira pomoću olovke, nakon što se izbrišu sve prethodne rute, dok kod ECDIS-a postoji mogućnost pohrane starih ruta, a da se pritom unese i koristi samo ona ruta koja nam trenutno treba. Na monitoru sistema prikazana je elektronička karta zajedno s pozicijom broda, kao i druge informacije poput smjera plovidbe, brzine, destinacije i sl.

Izraz informacijski sustav navigacije podrazumijeva više mogućih kombinacija koje se ostvaruju povezivanjem navigacijske opreme i programskih paketa rađenih za usklađivanje svih potrebnih navigacijskih parametara. Informacijski sustav navigacije povezuje sva raspoloživa navigacijska sredstva na određenom brodu u jednu cjelinu.

Glavne prednosti ECDIS elektroničkih karata su sljedeće: dostupne su informacije o svim objektima u pisanoj, grafičkoj ili video formi, detaljan pregled karata u svim rezolucijama, ažuriranje podataka na jednostavan i brz način, pregled raznih detalja u mjerilu prilagođenom potrebama navigatora, dostupni su podaci o obalnim objektima te mogućnost radarskog prikaza na zaslonu.




Slika 7. Prikaz zaslona ECDIS-a [13]

# 6. ZAKLJUČAK

Prvi instrumenti za lociranje poput sekstanta imali su isti nedostatak, nisu se mogli koristiti pri lošoj vidljivosti, stoga je bio potreban sustav koji radi u svim uvjetima, danju i noću.

Prvi takvi sustavi bili su hiperbolički sustavi: Gee, Loran, Decca i Omega, a rade na principu radio valova.

Veliki napredak ostvaren je lansiranjem prvih navigacijskih satelita u svemir. Satelitska navigacija radi na sličnom principu radio valova, ali zemaljske stanice limitiranih dometa zamijenjene su satelitima koji imaju puno veću pokrivenost.

U različitim orbitalnim visinama satelitski sustavi imaju različite prednosti i mane. Postoji pet orbita koje su u uporabi, GEO, LEO, MEO, HEO i Polarne orbite.

GEO je orbita s najvećom visinom. Sateliti u ovoj orbiti imaju najveće područje djelovanja, te je potreban najmanji broj satelita za globalnu pokrivenost. Kašnjenja i loša kvaliteta signala, te skupa cijena tehničke provedbe dovela su do razvitka LEO.

LEO je orbita s najnižom visinom. Signal ima neznatna kašnjenja, dobre je snage i kvalitete te omogućuje korištenje mnogo manjih i slabijih prijemnika. Iako je provedba jeftinija od GEO, potreban je veliki broj satelita za globalnu pokrivenost.

Svi moderni sustavi lociranja današnjice, koriste MEO. Sateliti u ovoj orbiti imaju veće područje pokrivenosti, te je potrebno mnogo manje satelita nego u LEO za globalnu pokrivenost, dok zadržavaju mnogo bolju kvalitetu signala i manja kašnjenja u odnosu na GEO. Sve navedeno čini ovu orbitu optimalnom za satelitske navigacijske sustave.

Povijesni razvitak GNSS-a započeo je početkom GPS navigacijskog sustava 60-ih godina u SAD-u a nastavio se GLONASS-om RF-e te europskim Galileom. Svi sustavi su se paralelno proširivali i razvijali.

U početku ovi sustavi su bili mnogo manje točni i precizni nego u današnje vrijeme. Proširivanjem broja dostupnih satelita te razvijanjem opreme i dodataka sustavima, poput DGPS-a za GPS, uvelike se povećala preciznost, a razne primjene GNSS tehnologija, poput AIS-a i ECDIS-a olakšale su navigaciju i učinile ju znatno sigurnijom.

GNSS tehnologija je temelj za inovacije i napredak u plovidbi i mnogim drugim morskim aktivnostima kao što su ribolov, oceanografija i eksploatacija nafte i plina. Svaka nova primjena iskoristit će nove značajke koje nudi GNSS napredak: veća točnost i cjelovitost

i visoka dostupnost. GNSS se koristi u svim fazama pomorske plovidbe: oceanskoj, obalnoj, na pristupima lukama i za manevriranje, u svim vremenskim uvjetima.

Među satelitskim sustavima današnjice, ne može se reći da postoji najbolji koji bi preuzeo sve funkcije, kao što su prijenos podataka, telekomunikacija i sustavi lociranja. Kada je riječ o navigaciji i lociranju, MEO tehnologija se pokazala kao optimalna sredina između GEO i LEO sustava i temelj je svih današnjih satelitskih sustava za pozicioniranje.

## POPIS LITERATURE


[1] Europian Commission: Galileo (URL) http://ec.europa.eu/growth/sectors/space/galileo/ (pristupljeno 11.11.2018)

[2] Fejes I. (2002): Consortium for Central European GPS Geodynamic Reference Network (CEGRN Consortium). Concept, Objectives and Organization. in: Proc. 27th General Assembly of the European Geophysical Society, Symposium G10, Reports on Geodesy 1(61) (in press)

[3] Sledzinski J. (2001): Satellite Navigation Systems in geodetic and geodynamic programmes initiated and co-ordinated by the CEI (Central European Initiative). Results and achievements of the long-term international co-operation of 17 countries. 2nd UN/USA Regional Workshop on the Use of Global Navigation Satellite Systems, Vienna, Austria, 26-30 November 2001

[4] By David Lawrence, H. Stewart Cobb, Greg Gutt, Michael O'Connor, Tyler G.R. Reid, Todd Walter and David Whelan, Current Capability and Future Promise (URL) https://www.gpsworld.com/innovation-navigation-from-leo/ (pristupljeno 12.11.2018)

[5] History of Positioning Systems, National Maritime PNT Office (URL) http://www.nmpnt.go.kr/html/en/dgpsys/dgpsys_0201.html (pristupljeno 06.11.2018)

[6] Rizos, Chris. (2018). Trends in GPS Technology & Applications, Research Gate: (URL) https://www.researchgate.net/publication/267254924_Trends_in_GPS_Technology_Applications (pristupljeno 08.11.2018)

[7] Jerry Proc. (2018). Hyperbolic Radionavigation Systems (URL) http://jproc.ca/hyperbolic/ (pristupljeno 11.11.2018)

[8] European Court of Auditors. (2003). The Galileo Project - Galileo Design consolidation, European Commission (URL) https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR09_07/SR09_07_EN.PDF (pristupljeno 08.11.2018)

[9] Andrew Brierley-Green, Maxim Integrated Inc. (2017). IEEE Long Island Section, Global Navigation Satellite System Fundamentals and Recent Advances in Receiver Design (URL) https://www.ieee.li/pdf/viewgraphs/gnss_fundamentals.pdf (pristupljeno 08.11.2018)

[10] Footprints by Dish Size – Definition of Geostationary (Geosynchronous), Polar, LEO, HEO, MEO, Sun Synchronous Orbits. Web.archive (URL) https://web.archive.org/web/20150815111443/http://geo-orbit.org/sizepgs/geodef.html (pristupljeno 06.11.2018)

[11] Reshetnev Company. (2007). Information Satellite Systems. (URL) https://web.archive.org/web/20110713063606/http://www.iss-reshetnev.com/images/File/magazin/2007/m2-screen_en.pdf (pristupljeno 08.11.2018)

[12] Kee, Changdon and B. W. Parkinson. "Wide area differential GPS (WADGPS): future navigation system." IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems 32 (1996): 795-808.

[13] ECDIS (Electronic Chart Display and Information System): https://www.maritime-executive.com/corporate/stm-project-delivers-navigational-warnings-directly-in-ecdis (pristupljeno 16.11.2018)

[14] Reid, Tyler & Neish, Andrew & Walter, Todd & K Enge, Per. (2016). Leveraging Commercial Broadband LEO Constellations for Navigation. Doi 10.33012/2016.14729, (URL ) https://www.researchgate.net/figure/Comparison-of-satellite-footprints-in-LEO-and- MEO_fig11_308795972 (pristupljeno 16.11.2018)

[15] Emea Satellite Operators Association. Operating in Space. (URL) https://esoa.net/technology/operating-in-space.asp (pristupljeno 16.11.2018)

[16] LEO Vantage 2 Satellite, Spaceflight 101. (URL) http://spaceflight101.com/meteor-m-2-1/leo-vantage-2/ (pristupljeno 16.11.2018)

[17] Asad Ansari. (2016). Hyperbolic Navigation. (URL) http://asadahmedansari6395.blogspot.com/2016/04/hyperbolic-navigation-refers-to-class.html (pristupljeno 16.11.2018)

[18] Iridium PTT Coverage Map (URL): http://www.groundcontrol.com/Iridium_Extreme_PTT_Coverage_Map.htm (pristupljeno 15.11.2018)

[19] Types of Orbits, Space Transportation ESA. (URL) http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Transportation/Types_of_orbits (pristupljeno 15.11.2018)

# POPIS SLIKA

Slika 1. Princip rada hiperbolične navigacije [17] ..... 2
Slika 2. Određivanje lokacije pomoću satelita [6] ..... 5
Slika 3. Visine satelitskih orbita [16] ..... 7
Slika 4. Prijenos podataka između dviju Zemljaskih stanica preko satelita [15] ..... 10
slika 5. Karta pokrvenosti Iridiuma[18] ..... 11
Slika 6. Razlika otiska MEO i LEO satelita [14] ..... 13
Slika 7. Prikaz zaslona ECDIS-a [13] ..... 24