



samk

Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

JANETTE MUHONEN

# **Satelliittien sijaintivirheiden vaikutus turvallisuuteen merenkulussa**

Satelliittien toimintaperiaatteet ja sijaintivirheiden vaikutus turvalliseen navigointiin

MERIKAPTEENIN TUTKINTO-OHJELMA  
2024

## TIIVISTELMÄ

Muhonen, Janette: Satelliittien sijaintivirheiden vaikutus turvallisuuteen merenkulussa: Satelliittien toimintaperiaatteet ja sijaintivirheiden vaikutus turvalliseen navigointiin

Opinnäytetyö, AMK

Sea Captain

Lokakuu 2024

Sivumäärä: 30

Työssä tehtiin havaintoja satelliittien toimintatavoista, eroista niiden välillä, sekä sijaintivirheiden vaikutuksesta merenkulun turvallisuuteen. Mitä ongelmia sijaintivirheet aiheuttavat, mikä niitä voi saada aikaan, sekä mitkä laitteet käyttävät sijaintia.

Työssä käsiteltiin tarkemmin sitä, miten sijaintivirheet vaikuttavat teoriassa merenkulussa alusten ohjaukseen ja turvallisuuteen. Tavoitteena oli pohtia, kuinka merenkulusta voisi saada turvallisemman satelliittipaikannuksen näkökulmasta ja mitä mahdollisia ratkaisuja sen eteen on lähivuosina jo tehty tai tullaan tekemään. Tuloksena on informatiivinen paketti satelliittien toiminnasta sekä vaikutuksesta turvallisuuteen.

Aiheen valitsin merenkulun konferenssissa satelliittipaikannuksesta pidettyyn esitelmään liittyen. Esitys oli informatiivinen, mielenkiintoinen ja opetti paljon uutta eri satelliittijärjestelmästä, jotka vaikuttavat meidän jokapäiväiseen elämäämme monien elektronisten laitteiden kautta.

Mielestäni koulussa aihetta käsitellään hyvin pintapuoleisesti, ja syväluotavampi tutkimus aiheesta auttaisi ymmärtämään konkreettisesti satelliittien käyttöperiaatteita ja toimintatapoja.

Avainsanat: Global Navigation Satellite System, satelliittipaikannus, sijaintivirheet

## Abstract

Muhonen, Janette: The impact of satellite positioning errors on safety in shipping: Operating principles of satellites and the effect of position errors on safe navigation

Bachelor's thesis

Sea Captain

October 2024

Number of pages: 30

In this thesis observations were made about the operating methods of satellites, the differences between them, and the effect of location errors on maritime safety. What problems do positioning errors cause, what can cause the errors, and which devices use location.

The thesis also discussed in more detail how positional errors theoretically affect the steering and safety of ships in shipping. The goal was to consider how shipping could be made safer from the point of view of satellite positioning and what possible solutions have already been made or will be made for that in the next few years. The result is an informative package about the operation of satellites and the impact on safety.

I chose the topic in connection with a presentation on satellite positioning at a maritime conference. The presentation was informative, interesting and taught a lot about different satellite systems that affect our daily life through many electronic devices.

In my opinion, the topic is covered very superficially in school, and more in-depth research on the topic would help to concretely understand the operating principles and operating methods of satellites.

Keywords: Global Navigation Satellite System, satellite positioning, positioning errors

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	7
2 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA TUTKIMUSMENETELMÄ .....	8
2.1 Tutkimuskysymykset:.....	8
2.2 Työn kuvaus .....	9
2.3 Työn tarve .....	9
2.4 Työn rajaus.....	9
3 MITÄ SATELLIITIT OVAT JA KUINKA NE TOIMIVAT .....	10
3.1 Satelliittipaikannuksen kehitys .....	10
3.2 Satelliittijärjestelmät.....	11
3.3 Satelliittien kiertoradat .....	11
3.4 GEO.....	11
3.5 MEO.....	12
3.6 LEO.....	12
3.7 GPS.....	13
3.8 GLONASS .....	14
3.9 Galileo .....	15
3.10 BeiDou .....	15
3.11 Cospas-Sarsat .....	17
3.12 DGNSS .....	19
4 SATELLIITTIIEN ONGELMAKOHDAT JA NIIDEN VAIKUTUS TURVALLISUUTEEN .....	20
4.1 Paikannuksen tarkkuuteen vaikuttavat tekijät .....	20
4.2 Ratavirheet .....	20
4.3 Monitieheijastuminen .....	20
4.4 Satelliittigeometria .....	21
4.5 Luonnonilmiöiden vaikutukset .....	21
5 HÄIRINTÄ.....	22
5.1 GPS-häirintä .....	22
5.2 Jumittaminen .....	22
5.3 Harhauttaminen .....	23
MIKSI SATELLIITTIVIRHEITÄ TAPAHTUU JA MITEN NIITÄ VOISI EHKÄISTÄ?.....	23
5.4 Inhimilliset virheet.....	23
5.5 Satelliittivirheiden ennaltaehkäisy .....	24
6 YHTEENVETO.....	24

6.1 Päätelmät .....	24
6.2 Yhteenveto .....	25
6.3 Jatkotutkimukset .....	25
LÄHTEET .....	28

## TERMILUETTELO

### **GNSS**

Global Navigation Satellite System

### **GLONASS**

Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema

### **GPS**

Global Position System

### **BDS**

BeiDou Navigation Satellite System

### **AIS**

Automatic Identification System

### **DGNSS**

Differential Global Navigation Satellite System

### **EPIRB**

Emergency position-indicating radio beacon (Hätäpaikannuspoiju)

### **ELT**

Emergency Locator Transmitter

### **GEO**

Geostationary Orbit

### **MEO**

Medium-Altitude Earth Orbit

### **LEO**

Low Earth Orbit

## 1 JOHDANTO

Paikannusjärjestelmät ovat olennainen osa arkeamme ja käytämme niitä monissa eri tilanteissa. Oletko antanut luvan puhelimellesi käyttää sijaintitietojasi, tai jakanut sijaintiasi Snapchatissa ystävillesi? Käytätkö älykelloa, joka tallentaa paikannustietojasi? Jos vastasit kyllä, tämä aihe koskettaa myös sinua.

Puhekielessä tykkäämme puhua GPS:stä puhelimissa ja muissa elektroniikkalaitteissa. On yleinen harhaluulo, että maailmanlaajuisesti käytössä olisi yksi laaja satelliittiverkosto ja paikannusjärjestelmä. Todellisuudessa satelliittipaikannusjärjestelmiä on käytössä neljä, ja kaikista niistä on kerrottu laajemmin tässä opinnäytetyössä.

Satelliittipaikannusjärjestelmät tarjoavat tarkkoja sijaintitietoja aluksille maailmanlaajuisesti. Välillä näihin järjestelmiin voi tulla virheitä, jotka voivat vaikuttaa merkittävästi turvallisuuteen (Koskela, 2024). Tämä opinnäytetyö syventyy satelliittien sijaintivirheiden vaikutuksiin merenkulussa sekä turvallisuudessa. Opinnäytetyössä tarkastellaan virheiden seurauksia, niiden esiintymisen syitä sekä mahdollisia ratkaisuja, joilla voitaisiin parantaa merenkulun turvallisuutta.

Entistä useammat laitteet hyödyntävät satelliitteja paikannuksessaan, ja elektroniset kartat satelliittipaikannuksella oli mullistava apuväline merenkulkuun. Avaruudesta käsin toimivat satelliitit ovat täynnä hienoa teknologiaa, ja niiden toimintaan ja päivittämiseen satsataan merkittäviä resursseja (The Cost of Building and Launching a Satellite | Globalcom Satellite Phones). Merenkulussa tuhannet alukset luottavat päivittäin sijaintitietojensa kanssa satelliitteihin, minkä takia niiden virheetön toiminta on erittäin tärkeää törmäysten välttämiseksi ja turvallisen satamaanpääsyn varmistamiseksi.

Satelliittien virheellinen toiminta on kuitenkin osakseen aiheuttanut onnettomuuksia. Vaikka merenkulun ammattilaiset pyrkivät niitä viimeiseen asti välttämään, silti apulaitteisiin saatetaan luottaa välillä liian sokeasti. (GPS Interference and a Mysterious Maritime Collision – Spirent.) Opinnäytetyö on kattava tiivistelmä satelliiteista ja niiden käyttöjärjestelmistä, ja työstä hyötyy moni merenkulkija ja muut satelliittipaikannuksen käyttäjät.

## 2 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA TUTKIMUSMENETELMÄ

### 2.1 Tutkimuskysymykset:

- Mitkä ovat satelliittien ongelmakohdat ja miten ne vaikuttavat turvallisuuteen merenkulussa?
- Miksi satelliittivirheitä tapahtuu ja miten niitä voisi ehkäistä?

Tutkimusmenetelmä on narratiivinen kuvaileva kirjallisuuskatsaus. Kirjallisuuskatsaus on yleiskatsaus, laajojen aineistojen kera. Kun aiheesta ei voi tarjota uutta tutkimustietoa, voi siitä antaa kuitenkin kattavan tietopaketin mahdollisimman monen saataville (Salminen, 2011). Narratiivisessa kirjallisuuskatsauksessa tutkimuksen aiheesta luodaan laaja kokonaiskuva tai kuvaillaan aiheen kehityskulkua. Se menetelmällisesti pyrkii helppolukuiseen ja kertovaan lopputulokseen (Kirjallisuuskatsauksen ohjaus – perustana tutkimuskysymys ja ohjaushaastattelu - Kreodi).

Aineistoa tutkimukseen on kerätty internetistä, ja se on pääosin englanninkielistä. Tutkimusmateriaalia on vaikeampi löytää aiheesta suomeksi, ja virallisten tahojen nettisivuilla on hyvin rajoitetusti tietoa saatavilla. Pääsääntöisesti aineisto oli ikääntynyttä, 1990-luvulta, jolloin paikannuksen käyttö alkoi yleistymään mobiilipuhelimien myötä (Kärkkäinen, 2020) eikä tuoreeseen tutkimustietoon ole läheskään yhtä helppo päästä käsiksi.

Odotan opinnäytetyötä tehdessäni löytäväni selkeitä syyseuraussuhteita paikannusvirheiden aiheuttajista ja niiden vaikutuksesta turvalliseen paikannukseen. Toivon myös tekemästäni tutkimustyöstä olevan hyötyä muille merialalla työskenteleville tai opiskeleville, antaen entistä laajemman käsityksen satelliittien toimintaperiaatteista.

## 2.2 Työn kuvaus

Opinnäytetyössä tutkitaan satelliittivirheitä; miten ne syntyvät ja miten niitä voitaisiin ennakoida, minimoida tai välttää. Työ voi auttaa tunnistamaan riskejä kriittisten toimintojen turvallisuuteen liittyen, ja epäkohtien esiin nostaminen voi edesauttaa tarkastelemaan mahdollisia parannuksia järjestelmiin, muun muassa tarkkuuden sekä suorituskyvyn maksimoimiseksi.

## 2.3 Työn tarve

Työlle ei ole tilaajaa, koen kuitenkin aiheen tutkimisen tarpeelliseksi, koska vaikka paikannusjärjestelmien teknologiasta ja toiminnasta on paljon materiaalia, ei niiden paikannusvirheistä ole kovin paljon suomenkielistä tutkimustietoa. Merenkulussa satelliiteilla toimivia laitteita käytetään päivittäin. Perämiehet luottavat paljon tutkiin, niiden sekä oman ammattitaidon avulla he pyrkivät saamaan laivan turvallisesti satamasta toiseen. Täten olisi tärkeää tietää, mistä päivittäisessä käytössä olevat apuvälineet koostuvat, miten ne käytäytyvät ja miten saat mahdollisimman hyvän käyttökokemuksen. Työ voi olla myös hyödyllinen merenkulkualan kouluille ja opiskelijoille.

## 2.4 Työn rajaus

Työ on rajattu tutkimaan satelliittijärjestelmiä, sekä joitakin niihin liittyviä organisaatioita. Työssä tarkastellaan näiden järjestelmien toimintaperiaatteita sekä niiden vaikutusta merenkulkualan. Satelliittijärjestelmät ovat laaja kokonaisuus ja käytössä monella eri taholla, joten työssä sivutaan niiden toimintaa myös maalla ja ilmassa, mutta pääpaino on kuitenkin merenkulussa.

## 3 MITÄ SATELLIITIT OVAT JA KUINKA NE TOIMIVAT

### 3.1 Satelliittipaikannuksen kehitys

Ensimmäisen Sputnik 1-LEO satelliitin laukaisu vuonna 1957 saattoi olla alku paikannusjärjestelmien teknologialle. Tutkijat havaitsivat, että he voivat jäljittää satelliittia sen lähettämän radiosignaalin avulla. Tämä johti merkittävään oivalukseen: mikäli satelliitin sijainnin voi jäljittää, voi maan pinnalla oleva henkilö paikantaa itsensä myös sen avulla. Tämä havainto muutti kaiken, sillä se loi perustan satelliittipaikannukselle ja -navigoinnille. (Kumar & Moore, 2002, s.59.)

Toinen merkittävä ja käytännöllinen kehitys satelliittiviestinnän historiassa oli NASAn maailman ensimmäisen Tiros I -sääseurantasatelliitin laukaisu vuonna 1960. Atomikello mahdollisti satelliitista vastaanottimeen kuluvaan ajan mittamisen. (Kumar & Moore, 2002 s. 60; TIROS, the Nation's First Weather Satellite – NASA.)

TRANSIT oli sekä Yhdysvaltain asevoimien että maailman ensimmäinen satelliittipaikannusjärjestelmä, jota alettiin käyttämään vuonna 1964 Yhdysvaltojen ydinohjuksien kuljettavien sukellusveneiden operointia ja paikantamista varten. Vaikka TRANSIT järjestelmä oli suuri harppaus eteenpäin GPS-tekniologiassa, oli sen tarkkuus huono. Se vaati toimiakseen vain yhden satelliitin, mutta lukemat siitä saatiin vain 35–45 minuutin välein, sukellusveneiden ollessaan paikallaan. (Kumar & Moore, 2002 s. 60–61.)

### 3.2 Satelliittijärjestelmät

Satelliittijärjestelmiin kuuluu satelliittikonstellaation lisäksi myös maa-asemia sekä vastaanottimia. Satelliittikonstellaatio koostuu ryhmästä satelliitteja, joita käytetään yhtenä järjestelmänä. Konstellaatiolla voidaan saavuttaa maailmanlaajuinen peittoalue, kun joku satelliiteista on aina näkyvillä maan tasalta. (Langley ym., 2017.) Maa-asema seuraa satelliittien liikkeitä ja vastaanottaa niistä saatuja tietoja. Vastaanotin määrittää neljän erillisen satelliitin lähettämien signaaleista koordinaatit, nopeuden sekä tarkan ajan. (GPS ja muut paikannusjärjestelmät.)

### 3.3 Satelliittien kiertoradat

Nykyisin on käytössä monenlaisia satelliitteja, mutta yleisimpänä voidaan pitää matalan maan kiertävää (LEO), keskikorkeaa maata kiertävää (MEO) tai geostationaarisella kiertoradalla (GEO) olevia satelliitteja (kuva 1).

### 3.4 GEO

GEO:a eli geostationääristä kiertorataa kutsutaan joskus myös paikallaan pysyväksi tai synkroniseksi. Sen pyörimisjakso on täsmälleen yhtä pitkä, kun maan kiertorata oman akselinsa ympäri, jonka takia maan pinnalta katsottuna satelliitti pysyy paikallaan. Useat kommunikaatio- ja sääsatelliitit ovat tällä kiertoradalla, levitettynä ympäri maata, tarjotakseen maailmanlaajuisen kattavuuden telekommunikaatiosignaaleille. (SATELLITE COMMUNICATIONS, 2022.)

Pääosa kommunikaatiosatelliiteista välittää puheluita sekä televisio-ohjelmia alueellisesti tai valtamerien yli (ESA - Types of orbits). Geostationääriset satelliitit sijaitsevat noin 36 000 kilometrin korkeudessa (kuva 1). Geostationäärinen kiertorata on kaukana maanpinnasta, mikä voi aiheuttaa viivettä esimerkiksi internet- ja puhelinyhteyksissä. Näin korkealla sijaitseva satelliitti ei ole hyvä ratkaisu napa-alueille, koska se on nähtävissä maan pinnalle vain päiväntasaajan lähellä. (A systematic view of remote sensing, 2020.)

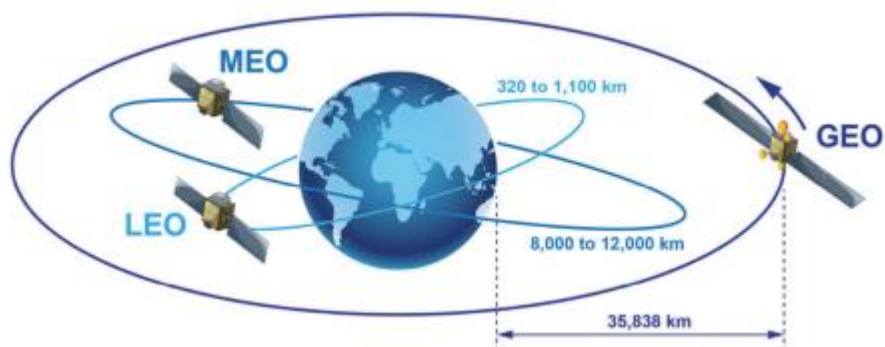
### 3.5 MEO

Medium Earth Orbit eli MEO-satelliitit sijaitsevat keskikorkealla kiertoradalla noin 8000–12000 kilometrin korkeudessa maanpinnan yläpuolella (kuva 1). Niillä on merkittävä rooli navigaatiojärjestelmissä, esimerkkinä mainittakoon GPS, jonka kaikki 24 satelliittia sijaitsevat tällä kiertoradalla. MEO-satelliitit pystyvät kattamaan laajempia alueita kuin LEO-satelliitit, mutta viiveet ovat pienempiä kuin GEO-satelliiteissa. (ESA - Types of orbits.) MEO-satelliittien sijaitessa matalammalla kuin GEO-satelliitit, ne eivät voi pysyä jatkuvasti yhden alueen yläpuolella, vaan niiden täytyy kiertää maapalloa, jonka takia useiden satelliittien konstellatio on tarpeellinen jatkuvan kattavuuden ylläpitämiseksi. (GPS.gov: Space Segment, 2022.)

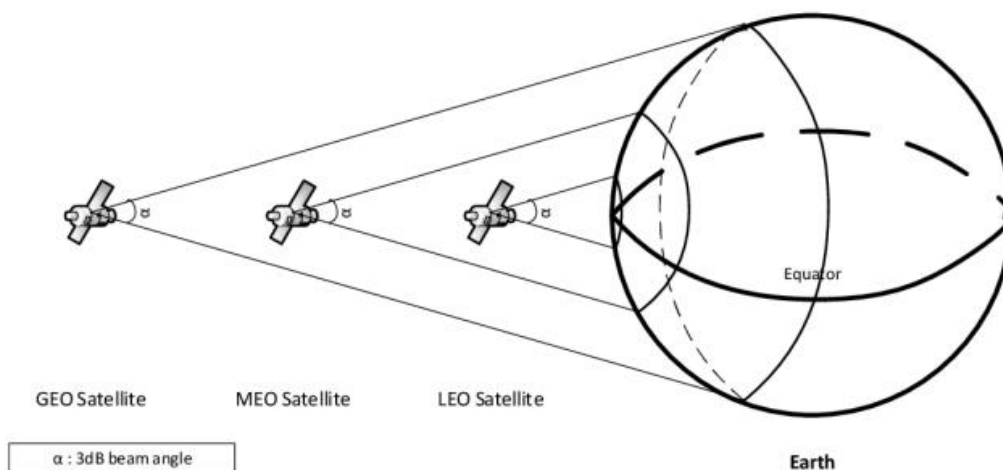
### 3.6 LEO

Low Earth Orbit eli LEO-satelliitit ovat yleensä joko elliptisillä tai pyöreillä kiertoradoilla, suurin piirtein 320–1100 kilometriä maan pinnan yläpuolella (kuva 1). Kiertojakso näillä vaihtelee karkeasti 90 minuutin ja 2 tunnin välillä. Kommunikaatioalueen laajuus LEO satelliitissa vaihtelee 3000–4000 kilometrin välillä, mikä mahdollistaa tehokkaan paikannuksen lyhyen viiveen ja tarkan paikannuksen vuoksi. (kuva 2). (Kumar & Moore, 2002, s. 59–60.) Lyhyen viiveen ansiosta ne soveltuvat reaaliaikaisiin tarpeisiin, kuten Iridium satelliittipuhelimiin sekä maailmanlaajuisen internetyhteyden tarjoavan Starlinkin käyttöön (Kumar & Moore, 2002; Starlink | Technology).

LEO-satelliittien matalan sijainnin vuoksi jatkuvan kattavuuden tarjotakseen tarvitaan suuri määrä satelliitteja. Alhainen korkeus myös kuluttaa satelliitteja nopeammin ilmakehän vetovoiman ja muiden tekijöiden vaikutuksesta, jonka takia satelliitteja pitää korvata useammin kuin muita. (Kumar & Moore, 2002.)



Kuva 1: (SATELLITE COMMUNICATIONS, 2022)



Kuva 2: (SATELLITE COMMUNICATIONS, 2022)

### 3.7 GPS

GPS eli Global Positioning System on Yhdysvaltojen kehittämä ja ylläpitämä paikannusjärjestelmä, joka mahdollistaa tarkan sijainnin määrittämisen missä tahansa maapallon pinnalla. Alun perin GPS oli suunniteltu vain Yhdysvaltojen armeijan käyttöön, mutta vuonna 1983 se avattiin siviilikäyttöön. Ensimmäinen GPS satelliitti "Block I Navstar" on laukaistu 22. helmikuuta vuonna 1978. (Langley ym., 2017, s. 15.)

Alkuun GPS oli 24 satelliitista koostuva satelliittiryhmä, mutta vuonna 2011 sitä laajennettiin kolmella, jolloin nykyisin käytössä on 27 satelliittia. Kuutta satelliittia siirrettiin, jotta nykyinen ryhmä saatiin toimimaan ja kattaa suurimman osan maailmasta. Laajennus paransi globaalin paikannuksen saatavuutta ja tarkkuutta. (GPS.gov: Space Segment.) Satelliitit kiertävät maapallon kahdesti vuorokaudessa kiertoajan ollessa 12 tuntia. Tällöin viidestä kahdeksaan satelliittia on näkyvissä missä tahansa maapallolta katsottuna milloin tahansa. Järjestelmän toiminta perustuu neljän satelliitin lähettämiin signaaleihin, joista kaikista tiedon saatuaan GPS-vastaanottimet voivat laskea tarkan sijainnin. (Kumar & Moore, 2002, s. 61.)

### 3.8 GLONASS

GLONASS-järjestelmän ensimmäinen satelliitti laukaistiin 1982. Se on Venäjän nykyinen siviilikäyttöön tarkoitettu satelliittinavigointijärjestelmä, joka on myös Venäjän avaruuspuolustusvoimien käytössä. (GPS ja muut paikannusjärjestelmät.) GLONASSilla on ollut täysi maailmalaajuinen kattavuus vuodesta 1996 ja käytössä on 24 aktiivista satelliittia. Kauaa satelliittikonstellaatio ei käytössä kestänyt, kun Venäjän ekonomiset vaikeudet yhdessä Neuvostoliiton hajoamisen kanssa vaikutti järjestelmään negatiivisesti. Vuonna 2002 konstellaatio oli kuihtunut vain seitsemään satelliittiin, joista vain kuusi oli saatavilla huoltotoimenpiteisiin. Täysi toimintakyky saavutettiin uudestaan joulukuussa 2011. (Langley ym., 2017, s. 16.)

Maa-asemia järjestelmällä on useita ympäri Venäjää, mutta koko järjestelmän ohjausasema sijaitsee Moskovassa. Satelliitit lähettävät kahta taajuutta, standarditarkkuuden omaava siviilikoodia sekä sotilaskäyttöön suunniteltu korkea-taajuisempaa koodia. (GPS ja muut paikannusjärjestelmät.)

### 3.9 Galileo

Galileo on Euroopan oma, globaali paikannusjärjestelmä. Euroopan unioni ja Euroopan avaruusjärjestö sopivat oman vaihtoehdon kehittämistä GPS:lle vuonna 2002. Kokeellinen satelliitti laukaistiin jo 2005, mutta toiminnalliseksi se tuli vasta 2016. Galileolla on 28 aktiivista satelliittia vuonna 2023, ja järjestelmän peruspalveluiden on tarkoitus olla täysin valmiit vuonna 2024, ja muut erityispalvelut vuoden 2026 aikana. (Satelliittipaikannus | Kyberturvallisuuskeskus.)

Aktiivisista satelliiteista kaikki muut paitsi kaksi on sijoitettu keskikorkealle kiertoradalle. Nämä kaksi muuta laukaistiin väärälle kiertoradalle laukaisualustan virheen takia. Ne eivät toimi kokoonpanon operatiivisina jäseninä, mutta ovat kuitenkin etsintä- ja pelastuskäytössä Cospas-Sarsat järjestelmässä. (ESA - What is Galileo?)

Galileo eroaa muista paikannusjärjestelmistä siten, että sen kehittämisessä on ollut osallisena 27 erillistä valtiota, kun taas muut järjestelmät ovat yksittäisten kansakuntien, kuten Yhdysvaltojen, Venäjän tai Kiinan alaisuudessa. Teknisesti tai käyttäjäperspektiivistä tämä asia tuskin on ongelma, mutta se aiheuttaa paljon haasteita järjestelmälle, yhtenä mainittakoon monen eri valtioiden näkemysten yhteensovittaminen. Tätä nykyä Euroopan Unioni on Galileon pääsponsorin ja omistajan. (Bartolomé ym., 2015, s. 10.) Bartolomé'n mukaan The European Space Agency ESA on johtavassa roolissa ohjelman teknisissä toiminnoissa, kuten kehittämisessä, käyttöönotossa, integroinnissa ja toiminnallisessa validoinnissa.

### 3.10 BeiDou

BeiDou on Kiinan itse rakentama sekä China National Space Administrationin operoima satelliittipaikannusjärjestelmä. Ensimmäisen BeiDou Navigation Satellite System (BDS) rakennus aloitettiin 1994 ja saatiin käyttöön vuonna 2000.

(BeiDou Navigation Satellite System Open Service Performance Standard China Satellite Navigation Office, 2021.) BeiDou-1 piti sisällään kolme satelliittia, sekä yhden varasatelliitin. Se toimi pääsääntöisesti Kiinassa vuodesta 2000 tarjoten navigaatiopalveluita. Vuonna 2012 BeiDoun laskennallinen elinikä vanheni, jolloin se lopetti toimintansa. BeiDou erosi muista satelliittipaikannusjärjestelmistä käyttämällä geostationäärisiä satelliitteja MEO satelliittien sijaan. Tämä tarkoitti sitä, ettei satelliitteja vaadittu montaa kattamaan isoa aluetta, mutta toiminta rajoittui vain satelliiteille näkyvissä oleville kohdille maanpinnalla, poissulkien napa-alueet sekä korkeilla leveyspiireillä olevat paikat. (BeiDou Navigation Satellite System Open Service Performance Standard China Satellite Navigation Office, 2021.)

BeiDou-2 järjestelmän rakennus aloitettiin vuonna 2004 ja saatiin käyttöön 2012. Teknillisesti BDS-2 järjestelmä oli yhteensopiva edeltäjänsä BDS-1 kanssa, mutta siihen lisättiin myös passiivinen paikannusjärjestelmä, tarjotakseen paikannus-, nopeusmittaus-, ajoitus- ja lyhytsanomaviestintäpalvelut käyttäjilleen Aasian ja Tyynenmeren alueella. (BeiDou Navigation Satellite System Open Service Performance Standard China Satellite Navigation Office, 2021.) Myös BDS-2 oli paikallinen, siihen kuului BDS-1:stä poiketen paljon enemmän satelliitteja, yhteensä 16, 6 geostationäärisellä kiertoradalla olevaa, 6 kallistunutta geosynkronisella kiertoradalla olevaa (IGSO), sekä 4 MEO-satelliittia. Marraskuussa 2012 BeiDou-2 alkoi tarjoamaan käyttäjille paikallisia paikannuspalveluita Aasiassa sekä Tyynenmeren alueella. Näillä alueilla BeiDou on tarkempi paikannuksessa, kuin GPS. (BeiDou Navigation Satellite System Open Service Performance Standard China Satellite Navigation Office, 2021.)

Tämänhetkisellä kolmannen sukupolven BeiDou-3 paikannusjärjestelmällä on täysi, globaali kattavuus. Rakentaminen aloitettiin vuonna 2009 ja täyden toimivuuden se saavutti heinäkuussa 2020. BDS-3 järjestelmään lisäyksenä edelliseen tuli kansainväliset etsintä- ja pelastuspalvelut maailmanlaajuisille käyttäjille. (BeiDou Navigation Satellite System Open Service Performance Standard China Satellite Navigation Office, 2021.)

### 3.11 Cospas-Sarsat

Cospas-Sarsat tarjoaa luotettavia ja tarkkoja sijaintitietoja ja hätähälytyksiä helpottaakseen etsintä- ja pelastusviranomaisten työtä ihmisten pelastamiseksi. Järjestelmän satelliittien antennit ovat suunnattuna maanpinnalle havaitakseen hätäsignaaleja. Järjestelmän perustamisessa olivat mukana Yhdysvallat, Kanada, Ranska sekä Neuvostoliitto. Euroopan kolme vastaanottavaa maa-asemaa sijaitsee Norjassa, Kyproksella sekä Espanjassa, ja nämä kattavat koko Euroopan alueen. Valvontakeskus on Toulousessa Ranskassa. (Bartolomé ym., 2015.) Suomessa Cospas-Sarsat yhteypiste on Turun meripelastuskeskus (MRCC Turku) (Rajavartiolaitos, 2011).

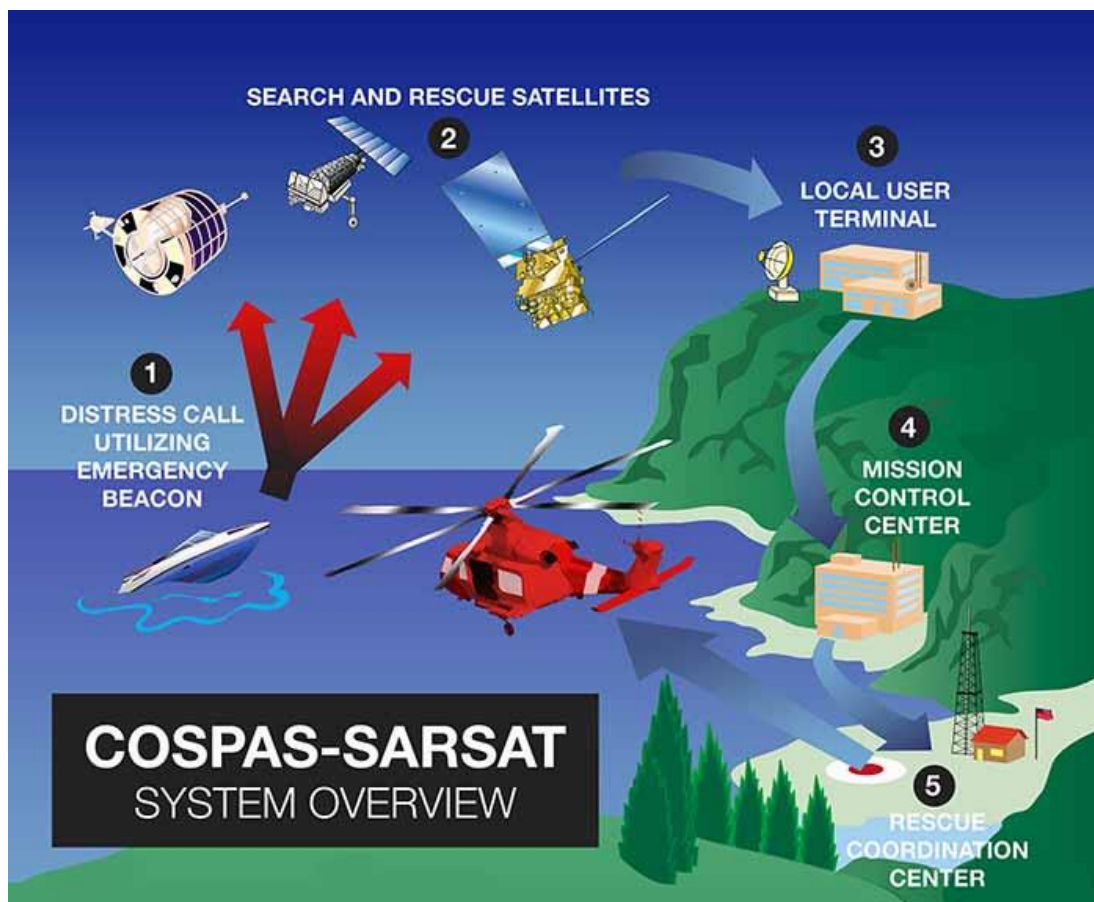
Järjestelmä on jaettu kahteen eri osaan hätäpoijujen havaitsemiseksi. Ensimmäinen järjestelmä lähettää taajuutta 121.5/243MHz. Tämä taajuus on rajoitettu 3220 kilometrin säteelle maa-asemasta, jonka takia lähetys on heikkotehoinen, ja on tarkoitettu ainoastaan suunnannäyttäjäksi maanpinnalla paikantamista varten. (NASA, 1986; Rajavartiolaitos, 2011.) Uudempi systeemi taajuudella 406MHz tarjoaa seurantaan ympäri maailman ja toimii ilmailun hätälähettimen ELT:sin sekä merenkulun hätälähettimen EPIRB:in kanssa. Ammatimerenkulussa käytettävät hätälähettimet kuuluvat osana maailmanlaajuiseen merenkulun hätä- ja turvallisuusjärjestelmä GMDSS:ään. (Rajavartiolaitos, 2011.)

Cospas-Sarsat järjestelmällä on kolme vastaanottavaa maa-asemaa (MEOLUT 406MHz Medium orbit), jotka vastaanottavat hätäsignaalit Galileon SAR vastaanottimeen. Jokainen MEOLUT sisältää vähintään 4 antennia, jotka seuraavat eri satelliitteja. Neljästä eri satelliittista saatu signaali mahdollistaa hätäpaikannuslaitteen sijainnin saamisen käyttämällä TOA ja FOA tekniikoita sijainnin seuraamisen lisäksi. (Bartolomé ym., 2015.)

TOA eli Times of arrival tarkoittaa signaalin saapumisaikaa vastaanottimelle. Menetelmä käyttää signaalin lähetys- ja vastaanottoajan välistä eroa määrittääkseen, sijainnin, josta signaali on lähtenyt. FOA eli Frequencies of arrival metodilla analysoidaan vastaanotetun signaalin taajuutta. Hätälähettimen

lähettämän signaalin taajuudessa tapahtuvat muutokset ovat satelliittien tai vastaanottimien havaittavissa Doppler-ilmiön perusteella. (Fernández-Prades ym., 2019.) Dopplerin ilmiössä satelliitin vastaanottaman radiotaajuuden havaitaan muuttuvan satelliitin liikkeestä taajuuslähteen eli tässä tapauksessa hätäpoijun suhteen (Rajavartiolaitos, 2011). Analysoimalla taajuuden muutos yhdessä ajan kulumisen kanssa, on mahdollista arvioida lähettimen sijainti sekä mahdollinen liike. TOA ja FOA menetelmiä usein käytetään yhdessä, koska ne täydentävät toisiaan ja täten mahdollistavat tarkan paikannuksen, myös olosuhteiden ollessa haastavat. (Fernández-Prades ym., 2019.)

Local User Terminal (MEOLUT) purkaa koodin, paikantaa hätäpaikannusradiopojun ja lähettää tämän tiedon Mission Control Centerille (MCC), joka on eräänlainen selvityskeskus. Sieltä tieto siirtyy pelastuskoordinointikeskukseen (RCC), joka lähettää avun hätälähettimen osoittamaan suuntaan ja aloittaa etsinnän. Kuvassa 3 havainnollistetaan pelastusoperaation toimintaketju. Jo ensimmäisen kolmen vuoden toimintansa jälkeen Cospas-Sarsat järjestelmä on ollut osallisena yli 500 ihmishengen pelastamisessa (NASA, 1986).



Kuva 3: (Which Emergency Beacon? - Sartech)

### 3.12 DGNSS

DGNSS eli Differential Global Navigation Satellite System on satelliittinavigointia tukeva korjauslähetyspalvelu, jota Suomen Väylävirasto sekä alusliikennepalvelu Fintraffic ylläpitävät Suomessa. Yhdessä satelliiteista saatujen paikannustietojen kanssa DGNSS-palvelun tuottamien korjaustietojen avulla alukset voivat määrittää paikkansa suurella tarkkuudella. Satelliiteista saatava signaali ei sisällä ajantasaista tietoa lähetysten oikeellisuudesta, ja tästä syystä korjaussignaalin käyttö on tarpeen esimerkiksi kauppamerenkulussa. Väylävirastolla ja Fintrafficilla on 9 rannikkoasemaa käytössään korjaustietojen välittämiseen laivoille. (Radionavigaatiopalvelut – Väylävirasto.)

Rannikkoasemien lisäksi tutkanavigoinnin apuna käytetään tutkaheijastimia, sekä -majakoita. Heijastimia Suomen väyläviraston mukaan on tuhansia. Rakenteeltaan ne ovat erityisen hyvän tutkakaiun antavia soppiheijastinryhmiä.

Ne ovat passiivisia laitteita, jotka toimivat ilman säännöllistä huoltoa tai energialähdettä, jonka myötä ne ovat erittäin varmatoimisia. (Radionavigaatiopalvelut – Väylävirasto.)

Tutkamajakat ovat radiolähetinvastaanottimia, jotka aluksen tutkasignaalin vastaanotettuaan määrittävät sen taajuuden ja lähettävät vastaukseksi erityisen tunnussignaalin, joka tulee samalla taajuudella, kuin aluksen lähettämä signaalikin. Suomessa käytettävät tutkamajakat lähettävät vastauksen 9 GHz, sekä valtaosa myös 3 GHz. (Radionavigaatiopalvelut – Väylävirasto.)

## 4 SATELLIITTIIEN ONGELMAKOHDAT JA NIIDEN VAIKUTUS TURVALLISUUTEEN

### 4.1 Paikannuksen tarkkuuteen vaikuttavat tekijät

Satelliittien liikkeisiin vaikuttavat muun muassa ilmakehän kitkavoimat, satelliittien geometriset virheet, sekä auringon satelliitteihin kohdistama säteilypaine (Satelliittipaikannus | Maanmittauslaitos).

### 4.2 Ratavirheet

Signaalin matka satelliitista vastaanottimeen on pitkä, ja virheitä tapahtuu joka vaiheessa. Maapallon vetovoima sekä pyörimisliike vaikuttaa satelliittien ratoihin, liikuttamalla satelliittia pois sen omalta kiertoradaltaan ja näin ollen syntyy ratavirheitä. (GPS ja muut paikannusjärjestelmät.)

### 4.3 Monitieheijastuminen

Monitieheijastuminen tarkoittaa signaalin heijastumista lähistöllä olevista elementeistä, esimerkiksi vedestä tai ikkunoista, myös isot rakennukset tai vuoret voivat aiheuttaa heijastumista. Vastaanotin ei havaitse suoraa signaalia, vaan

viivästyneen signaalin heijastuksesta, joka voi johtaa virheelliseen sijaintiin vastaanottimessa. (Southam, 2018.)

#### 4.4 Satelliittigeometria

Seurattavien satelliittien keskinäinen sijainti vaikuttaa paikannustarkkuuteen. Tarkin paikannustulos saadaan silloin, kun satelliitit ovat suhteellisen kaukana toisistaan, mutta selvästi kuitenkin horisontin yläpuolella. Mikäli satelliittivastaanottimen suora näköyhteys yhteen satelliittiin katkeaa, jäljelle jäävien satelliittien keskinäinen geometria on paikannuksen kannalta huono, tai joissain tapauksissa paikantaminen on mahdotonta. (GPS ja muut paikannusjärjestelmät)

#### 4.5 Luonnonilmiöiden vaikutukset

Myös sää voi vaikuttaa tutkan signaalien vastaanottamiseen negatiivisella tavalla. Esimerkkinä taittuminen, joka pidentää signaalin reittiä sen kulkiessa ilmakehän läpi. Aurinkomyrskyt voivat aiheuttaa sähkömagneettisia häiriöitä, jotka vaimentavat tehokkaasti satelliitin signaalin, aiheuttaen virheitä paikannuksessa. (Southam, 2018.)

Ilmakehän kerroksista troposfääri sekä ionosfäärin elektronitiheys vaikuttavat signaalin etenemisnopeuteen ja tämän myötä voi vaikuttaa myös paikannuksen tarkkuuteen negatiivisesti. Vaikutus paikannuksessa ei ole suuri, mutta silti sen on arvioitu aiheuttavan useiden metrien suuruisia heittoja. (Miettinen, 2002 s.56; Satelliittipaikannus - Ilmatieteen laitos.)

## 5 HÄIRINTÄ

### 5.1 GPS-häirintä

Häiriö voi olla tahaton tai tahallinen, sähkömagneettisen energian säteilyä, uudelleensäteilyä tai heijastusta, joka häiritsee elektronisten laitteiden tai viestintäjärjestelmien käyttöä. Häiriösignaalin ei kuitenkaan tarvitse olla kovin kehittyntä tai voimakasta häiritäkseen paikannusta, koska satelliiteista tulevat signaalit ovat erittäin heikkoja, jonka seurauksena häirinnällä on helppo tukahduttaa oikea signaali ja aiheuttaa vakavia vahinkoja. On ennustettu, että GPS-signaalin häirintä voi aiheuttaa suuren onnettomuuden merenkulkualalla seuraavan vuosikymmenen aikana (Purwar ym., 2017.)

### 5.2 Jumittaminen

Jamming eli jumittaminen tarkoittaa tahallista GPS-signaalien estämistä tai häiritsemistä. Häirintää toteutetaan estämällä signaalit saavuttamasta vastaanotinta, jonka takia paikannuslaitteet eivät pysty määrittämään sijaintia. Paikannussignaalit mitattuna maan tasalta ovat todella heikkoja, jonka takia systeemi on haavoittuvainen tahattomille häiriöille ja jumittumiselle (Grant ym., 2009).

Elektroniset hyökkäykset eivät aina ole kovin tarkkoja. Hyökkäyksen aikana häirintäsignaali voi vaikuttaa kaikkiin laitteisiin signaalin kantaman ja näkökentän alueella. Häätätilanteessa paikannusjärjestelmän häirinnän aiheuttama sijaintivirhe saattaa johtaa erittäin vakaviin navigointivirheisiin ja hädässä olevien ihmisten paikantaminen vie enemmän aikaa, kun normaalisti. (Pirti & Yücel, 2023.)

### 5.3 Harhauttaminen

Toinen hankalampi ja paljon vaarallisempi häirinnän muoto on spoofing eli harhauttaminen, jossa väärää, manipuloitua tietoa syötetään voimakkaammalla signaalilla, jonka takia oikea, heikompi GPS-signaali ei kykene pääsemään vastaanottimeen sisään. Tällöin laite seuraa häiriösignaalia ja näyttää virheellistä tietoa, jota vastaanotin ei kykene tunnistamaan vääräksi. (Pirti & Yücel, 2023.)

## MIKSI SATELLIITTIVIRHEITÄ TAPAHTUU JA MITEN NIITÄ VOISI EHKÄISTÄ?

### 5.4 Inhimilliset virheet

Vaikka merenkulussa nykyään on paljon apuvälineitä navigointiin, tapahtuu silti vahinkoja ajoittain, jotka voivat johtaa haavereihin, ihmisvahinkoihin tai jopa kuolemaan (Kolodny, 2019). Syitä on monia. Joskus tutkaan luotetaan liian sokeasti, joskus tutkan ja ikkunasta näkyvän yhtäläisyyttä ei varmisteta. Inhimillisiä virheitä sattuu, mutta apuvälineillä pyritään huomaamaan virheet ajoissa ja antamaan laivaa ohjaavalle mahdollisuus tehdä korjausliike ennen kuin on liian myöhäistä.

Joskus navigointilaitteet voivat olla virheellisessä tilassa sen hetkiseen tilanteeseen nähden, ja erityisen tärkeää tällaisten virheiden välttämiseksi on tarkistaa laitteet oman vahdin aluksi. Näin laitteet tulevat myös tutummaksi, jolloin tietyn asetuksen tai säädön etsimiseen ei kulu jatkossa turhaa aikaa, joka on pois itse vahdin päävastuusta, vahdinpidosta ja laivan turvallisesta navigoinnista. Myös väärin laivaan asennetut GPS-laitteet ja antennit voi aiheuttaa virheellisen sijainnin, tai estää signaalin pääsyn vastaanottimeen oikealla tavalla. (Southam, 2018.)

## 5.5 Satelliittivirheiden ennaltaehkäisy

Määrittämällä sijainnin ottamalla suuntimia maamerkeistä, merkkaamalla aluksen sijainnin ennen ja jälkeen kurssin muuttamisen, sekä lisäämällä tutkan taajuutta tilanteen vaatiessa, voi monessa tapauksessa parantaa navigoinnin turvallisuutta. Yhden paikannusmetodin sijasta kannattaa käyttää useampia. Ristiin tarkastus voi olla hyvä keino ehkäistä huolimattomuusvirheet tai huomata jonkin paikannuslaitteen virheellinen signaali. Perinteistä paperikarttaa on hyvä seurata koko merimatkan ajan elektronisten navigointilaitteiden rinnalla. (Southam, 2018.)

Kaiken aikaisemmin mainitun lisäksi paikannuslaitteen vastaanottimen käyttäjän olisi hyvä olla tutustunut manuaaliseen satelliitin valitsemiseen laitteesta vähentääkseen moniheijastumista sekä parantaakseen satelliittigeometriaa. Monipuolisten menetelmien käyttö pienentää huolimattomuusvirheiden riskiä ja parantaa turvallisuutta. (Southam, 2018.)

## 6 YHTEENVETO

### 6.1 Päätelmät

Tutkimuksen tulokset osoittivat aiheen olevan erittäin laaja ja monitahoinen. Tutkimusta olisi voinut laajentaa loputtomiin, mutta rajasin käsittelyn mielestäni olennaisimpiin aihealueisiin, jotta tutkimuksesta tulisi mahdollisimman selkeä kokonaisuus. Tutkimuksen vahvuutena pidän sitä, että aiheen ajankohtaisuudesta huolimatta siitä ei ole kovin montaa opinnäytetyötä tehty, etenkin merenkulun näkökulmasta. Tutkimuksen haasteet olivat lähteiden vähyyys, sekä suurin osa lähteistä on peräisin edelliseltä vuosituhanelta, joka rajoitti pääsyä ajankohtaiseen tietoon.

Tutkimuksesta uskoisin olevan konkreettista hyötyä merenkulkijoille ja merenkulun opetusta tarjoaville oppilaitoksille. Olen oppinut prosessin aikana paikannusjärjestelmien toimintaperiaatteista paljon uutta, ja uskoisin tutkimuksen olevan kiinnostava myös muille, kuin merialalla työskenteleville.

## 6.2 Yhteenveto

Tutkimuksen tavoitteena oli luoda monipuolinen, mutta tiivis katsaus eri satelliittijärjestelmistä ja niiden toimintatavoista. Samankaltainen tietopaketti olisi ollut hyödyllinen opiskellessani paikannuksesta aluksilla.

Tutkimuksen aikana havaittiin, että yleisesti saatavilla oleva tieto satelliittien toiminnasta on todella pintapuoleista, joka vaikutti työn lopputulokseen. Rajallinen tieto voi johtua osan satelliittiteknologian luonteesta, jonka takia osa tiedoista voi olla salaisia ja niitä ei jaeta väärinkäytöksen estämiseksi.

Tutkimus vastasi mielestäni hyvin alussa asetettuihin kysymyksiin, jotka olivat kirjallisuuskatsauksen mukaisesti avoimia ja laajoja kysymyksiä aiheen ympärillä, rajaten aiheen kuitenkin selkeästi yleistietoon satelliiteista, niiden toiminnasta sekä laitteista, jotka hyödyntävät satelliitteja toiminnassaan.

Koen onnistuneeni eri osioiden yhdistämisessä toisiinsa ja työssä pystyin osoittamaan jokaisen käsitellyn aihealueen olleen merkityksellinen, jotta saa hyvän peruskäsityksen satelliittien toimintaperiaatteista.

## 6.3 Jatkotutkimukset

Opinnäytetyössäni keskityin mielestäni tarkastelemaan suurimpia satelliittijärjestelmiä pintapuoleisesti ja koen, että paneutumalla pintaa syvemmälle saisi jokaisesta järjestelmästä oman opinnäytetyön aikaiseksi. Mahdollisuuksia laajempaan ja syvällisempään tutkimukseen on runsaasti. Yksi keskeinen puute työssäni oli tulevaisuuden näkymien jättäminen vähäiselle huomiolle. Uskon että suuria muutoksia ja uudistuksia on tulossa satelliittipaikannukseen

tulevaisuudessa koska navigointitekniologia kehittyy jatkuvasti kovaa vauhtia. Satelliittihäirintä yleistyessään tulee olemaan haaste, mutta myös samalla mahdollinen tutkimuskohde tuleville opinnäytetyön tekijöille.



## LÄHTEET

A systematic view of remote sensing. (2020). *Advanced Remote Sensing*, 1–57. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815826-5.00001-5>

Bartolomé, J. P., Maufroid, X., Hernández, I. F., López Salcedo, J. A. & Granados, G. S. (2015). Overview of Galileo System. 9–33. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-1830-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-007-1830-2_2)

BeiDou Navigation Satellite System Open Service Performance Standard  
China Satellite Navigation Office. (2021).

ESA - Types of orbits. Haettu 15.10.2024 osoitteesta [https://www.esa.int/Enabling\\_Support/Space\\_Transportation/Types\\_of\\_orbits#MEO](https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Types_of_orbits#MEO)

ESA - What is Galileo? Haettu 6.3.2024 osoitteesta [https://www.esa.int/Applications/Navigation/Galileo/What\\_is\\_Galileo](https://www.esa.int/Applications/Navigation/Galileo/What_is_Galileo)

Fernández-Prades, C., Fernández Rubio, J. A. & Closas Gómez, P. (2019).

TIME-FREQUENCY ESTIMATION IN THE COSPAS/SARSAT SYSTEM USING ANTENNA ARRAYS: VARIANCE BOUNDS AND ALGORITHMS. Haettu 16.10.2024 osoitteesta [https://www.researchgate.net/publication/266273446\\_TIME-FREQUENCY\\_ESTIMATION\\_IN\\_THE\\_COSPAS-SARSAT\\_SYSTEM\\_USING\\_ANTENNA\\_ARRAYS\\_VARIANCE\\_BOUNDS\\_AND\\_ALGORITHMS](https://www.researchgate.net/publication/266273446_TIME-FREQUENCY_ESTIMATION_IN_THE_COSPAS-SARSAT_SYSTEM_USING_ANTENNA_ARRAYS_VARIANCE_BOUNDS_AND_ALGORITHMS)

GPS Interference and a Mysterious Maritime Collision - Spirent. Haettu 27.4.2024 osoitteesta <https://www.spirent.com/blogs/gps-interference-mysterious-maritime-collision>

GPS ja muut paikannusjärjestelmät. Haettu 1.3.2024 osoitteesta <https://vanha.karelia.fi/metsa/paikkatietowww/paikannus/gps5.html>

GPS.gov: Space Segment. (2022). Haettu 21.2.2024 osoitteesta <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>

Grant, A., Williams, P., Ward, N. & Basker, S. (2009). GPS Jamming and the Impact on Maritime Navigation. *Journal of navigation*, 62(2), 173–187. <https://doi.org/10.1017/S0373463308005213>

Kirjallisuuskatsauksen ohjaus – perustana tutkimuskysymys ja ohjaushaastattelu - Kreodi. Haettu 3.10.2024 osoitteesta <https://www.kreodi.fi/arkisto/artikkelit/kirjallisuuskatsauksen-ohjaus-perustana-tutkimuskysymys-ja-ohjaushaastattelu.html>

Kolodny, A. (23.8.2019). Navigation Errors Common Cause of Maritime Accidents | Maritime Personal Injury Lawyers | Kolodny Law Firm. Haettu

21.2.2024 osoitteesta <https://kolodnylawfirm.com/navigation-errors-common-cause-of-maritime-accidents/>

Koskela, C. (2024). Tiedustelupäällikön mukaan GPS-häiriöt ovat vakava hybridiuhka | Verkkouutiset. Haettu 27.4.2024 osoitteesta <https://www.verkkouutiset.fi/a/tiedustelupaallikko-gps-hairiot-vakavaa-hybridiuhka/#647319cd>

Kumar, S. & Moore, K. B. (2002). The Evolution of Global Positioning System (GPS) Technology. Teoksessa Journal of Science Education and Technology (Vsk. 11, S. 1).

Langley, R. B., Peter Teunissen, C. J. & Oliver Montenbruck, A. (2017). Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems - Part A - Principle of GNSS (Principles of GNSS). <http://ebookcentral.proquest.com/lib/samk/detail.action?docID=4880030>.

Miettinen, S. (2002). GPS käsikirja.

NASA. (1986). COSPAS/SARSAT.

Pirti, A. & Yücel, A. (2023). GPS SIGNAL JAMMING EFFECT IN SVALBARD ISLAND AND ITS ELIMINATION BY USING GLONASS, GALILEO AND BEIDOU SATELLITES. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2023.98.005>

Purwar, A., Joshi, D. & Chaubey, V. K. (2017). GPS signal jamming and anti-jamming strategy - A theoretical analysis. 2016 IEEE Annual India Conference, INDICON 2016. <https://doi.org/10.1109/INDICON.2016.7838933>

Radionavigaatiopalvelut - Väylävirasto. (2022). Haettu 21.2.2024 osoitteesta <https://vayla.fi/palveluntuottajat/ammattimerenkulku/liikkuminen-vesi-vaylilla/radionavigaatiopalvelut>

Rajavartiolaitos. (2011). COSPAS-SARSAT SATELLIITTIJÄRJESTELMÄN HÄTÄLÄHETTIMET (HÄTÄPOIJUT) IHMISEN TURVANA MAALLA, MERELLÄ JA ILMASSA. [www.raja.fi](http://www.raja.fi)

Salminen, A. (2011). Mikä kirjallisuuskatsaus?

Satelliittipaikannus | Kyberturvallisuuskeskus. (2024). Haettu 21.2.2024 osoitteesta <https://www.kyberturvallisuuskeskus.fi/fi/toimintamme/satelliittipaikannus>

Satelliittipaikannus | Maanmittauslaitos. Haettu 18.4.2024 osoitteesta <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/satelliittipaikannus>

Satelliittipaikannus - Ilmatieteen laitos. Haettu 21.10.2024 osoitteesta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/satelliittipaikannus>

SATELLITE COMMUNICATIONS. (2022).

Southam, J. (2018). GPS Outage – A Navigator’s Nightmare - North. Haettu 27.4.2024 osoitteesta <https://www.nepia.com/articles/gps-outage-%C2%96-a-navigator%C2%92s-nightmare/>

Starlink | Technology. Haettu 18.10.2024 osoitteesta <https://www.starlink.com/technology>

The Cost of Building and Launching a Satellite | Globalcom Satellite Phones. Haettu 4.5.2024 osoitteesta <https://globalcomsatphone.com/costs/>

TIROS, the Nation’s First Weather Satellite - NASA. Haettu 18.10.2024 osoitteesta <https://www.nasa.gov/image-article/tiros-nations-first-weather-satellite/>