

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tietotekniikan koulutusohjelma  
Tietoliikennetekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tutkintotyö

Marjo-Riikka Mäkelä

GPS-JÄRJESTELMÄN TOIMINTA JA PERIAATTEET

Työn ohjaaja: Yliopettaja Mauri Inha  
Tampere 2008

Tekijä:	Marjo-Riikka Mäkelä
Työn nimi:	GPS-järjestelmän toiminta ja periaatteet
Päivämäärä:	16.09.2008
Työn laajuus:	27 sivua
Avainsanat:	GPS, paikannuslaite, GPS-signaali, satelliitit
Koulutusohjelma:	Tietotekniikka
Suuntautuminen:	Tietoliikennetekniikka
Työn ohjaaja	Yliopettaja Mauri Inha, Tampereen ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Nykyään GPS-laitteet ovat osa lähes jokaisen arkipäivää, eikä kukaan näe niissä enää mitään erikoista. Vaikka laitteet hyvin yleisiä ovatkin, harva ajattelee järjestelmään kuuluvia asioita sen pitemmälle ja joutuukin ymmälleen tekniikan pettäessä. Työn päätarkoituksena on selvittää, mitä paikannusta koskevaa tietoa käyttäjän olisi hyvä tietää saadakseen järjestelmästä parhaan hyödyn.

Työssä perehdytään muun muassa GPS-järjestelmän monimuotoiseen historiaan, sillä näiden kehitysvaiheiden pintapuolinen tuntemus auttaa ymmärtämään järjestelmän toimintaa paremmin sellaisena, kuin se on tänä päivänä. Työssä luodaan hieman pintapuolista syvempi katsaus sen periaatteisiin ja käytännön komponentteihin. Järjestelmään vaikuttaa myös koko joukko erilaisia virhelähteitä joihin on hyvä luoda pikainen katsaus. Aiheesta saatava kirjallinen materiaali on suhteellisen suppeaa ja tieto eri paikoissa hieman eriyvää. Verkosta saatava tieto on taas ripoteltu pieninä osina ympäriinsä ja näistä palasista on lähes mahdotonta muodostaa itselleen selkeää käsitystä järjestelmästä. Työn päätarkoitus on auttaa aiheesta kiinnostuneita juuri sen takia, että tärkeimmät piirteet on kuvailtu lyhyesti ja ymmärrettävästi yhdessä raportissa.

Author: Marjo-Riikka Mäkelä  
Work label: Principles and function of GPS-system  
Date: 16.09.2008  
Number of pages: 27 pages  
Keywords: GPS, positioning device, GPS-signal, satellites  
Education programme: Information Technology  
Line: Telecommunication Technology  
Thesis supervisor: Senior Lecturer Mauri Inha, Tampere Polytechnic

## ABSTRACT

When teleinformatic society has ascended forwards, are equipments and level of technology become more multiform. At first GPS-system and related locators perceived to be privilege and vanity of rich population. However this changed when technique advanced and prices fall. These were the turning points and after that almost everyone has the similar kind of device in their cars and boats. Nowadays GPS-devices are part of people everyday life and no one beholds anything weird about it. Although these devices are common today only few people thinks relevant things further and get confused when technique fails. This papers aim is to get closer look on this system because this system is after all one of the finest techniques of our time.

This paper gets acquainted about multiform history of GPS-system among other things. Knowing little about these phases of development helps to understand the operational principles of the system the way it is today. Other meaning of this paper is to create deeper look of its principles and components. There is also group of error sources that should be known. Written material in this subject is quite narrow and information is slightly differing in different sources. Information that is available in internet is really hard to get because its sprinkled in small pieces. It is almost impossible to make something complete in this pieces. In this paper things are described briefly and it should help to understand the system easier

## ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Tampereen ammattikorkeakoulun tietoliikennetekniikan linjan insinöörityönä.

Kiitokset kaikille opettajilleni Tampereen ammattikorkeakoulussa, jotka ovat antaneet minulle pohjatietoa ja taidot tämän työn kirjoittamista ja tulevaisuutta ajatellen.

Erityiskiitos myös työn valvojalle Mauri Inhalle hyvästä palautteesta ja avusta työn kirjoittamisen aikana.

Tampereella 10.8.2008

---

Marjo-Riikka Mäkelä

**SISÄLLYSLUETTELO**

TIIVISTELMÄ .....	ii
ABSTRACT .....	iii
ALKUSANAT .....	iv
SISÄLLYSLUETTELO .....	v
KÄYTETYT MERKINNÄT .....	vi
1 JOHDANTO .....	1
2 SATELLIITTIPAIKANNUKSEN HISTORIAA .....	1
2.1 Maantieteellinen leveys eli latitudi .....	2
2.2 Sekstantti ja maantieteellinen pituus eli longitudi .....	2
2.3 Radiomajakoiden aika .....	3
2.4 Satelliittipaikannuksen alkutaipale .....	3
2.5 Sarsat-Corpas-järjestelmä .....	4
2.6 Navstar GPS .....	5
2.7 Glonass-järjestelmä .....	6
3 PAIKANNUKSEN PERIAATTEET .....	8
3.1 Kolmiomittausta ja satelliittien etäisyys .....	8
3.2 GPS-aika ja tarkat kellot .....	10
3.3 GPS-signaali .....	11
4 GPS-JÄRJESTELMÄN FYYSINEN RAKENNE .....	13
4.1 Satelliitit .....	13
4.2 Maa-asetat .....	15
4.3 GPS-paikannuslaite .....	16
5 TARKKUUS JA VIRHELÄHTEITÄ .....	18
5.1 DGPS-, WAAS- JA EGNOS-MENETELMÄT .....	18
5.2 SA-tahallinen häirintä .....	20
5.3 Ilmakehän vaikutus .....	20
5.4 Monitieheijastus .....	21
5.5 Käyttäjän aiheuttamat virheet .....	22
5.6 Kello- ja ratavirheet .....	22
6 KÄYTTÖKOhteITA JA HUOMIOITAVAA .....	23
6.1 GPS suunnistajan apuna .....	23
6.2 Veneilyssä .....	24
6.3 GPS Autossa .....	25
6.4 Marjastajille ja metsästäjille .....	26
7 YHTEENVETO .....	26
LÄHDELUETTELO	

## KÄYTETYT MERKINNÄT

GPS	Global Positioning System (GPS). Etäisyyksiin ja ajan mittaukseen perustuva maailman laajuinen paikannusjärjestelmä.
Latitudi	Leveyspiiri tunnetaan myös nimellä latitudi, joka kuvaa maanpinnan kohdan sijaintia päiväntasaajasta pohjoiseen tai etelään.
Longitudi	Pituuspiiri tunnetaan myös nimellä longitudi, joka kuvaa maanpinnan kohdan sijaintia itä-länsi-suunnassa.
Sekstantti	Astronomisessa navigoinnissa käytettävä optinen laite, jolla määritetään aluksen paikka suhteessa taivaankappaleeseen kuten tähtiin tai aurinkoon.
Kronometri	Eräänlainen kello, jonka koneisto täyttää puolueettoman tutkimuslaitoksen testien perusteella käytitarkkuudelle asetetut vähimmäisvaatimukset.
Transit System	Yhdysvaltain asevoimien ensimmäinen satelliittipaikannusjärjestelmä. Tunnettiin myös nimellä navsat.
Trilateraatio	GPS-järjestelmän toiminta perustuu satelliittien ja paikannuslaitteen välisen etäisyyden avulla suoritettavaan kolmiomittaukseen eli trilateraatioon.
GPS-aika	Ilmoittaa kuinka pitkä aika radiosignaali kuluu edetä taivaalta paikannuslaitteen antenniin.
PRN- koodi	Pseudo Random Noise Code. Signaalin koodausmenetelmä, joka muodostetaan tunnetusta bittikuviosta.
Atomikello	Kello, joka käyttää atomien resonanssitajuuksia ajan mittaamiseen. Jokaisesta satelliitista löytyy oma atomikellonsa.

## 1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena oli perehtyä GPS-paikannusjärjestelmän historiaan, toimintaan ja käyttökohteisiin. Nykyajan ihmisellä on kokoajan kasvava tarve määrittää olinpaikkansa ja löytää haluamaansa paikkaan vaivattomasti.

Jotta tekniikka voisi palvella ihmistä mahdollisimman hyvin, on siihen hyvä tutustua vähän pintaa syvemmälle. Uusia laitteita tulee markkinoille jatkuvasti ja ne voivat olla toisiinsa nähden hyvinkin erilaisia. Esimerkiksi käyttöjärjestelmät eri laitteissa ovat hyvin paljon poikkeavia. Jo lyhyt katsaus laitteen tekniseen historiaan ja toimintaan voi kuitenkin avata käyttäjälle monia ovia tekniikan maailmassa, eivätkä käyttöjärjestelmien ja laitteiden tekniset eroavaisuudet tunnukaan enää niin suurilta.

Paikanmäärityksen ongelmat ja tekniikat ovatkin osa nykymaailmamme teknistä historiaa ja kulttuuria. Kiinnostuin työstä juuri sen mielenkiintoisen historian ja tekniikan ansiosta ja toivon tämän työn avaavan ovia jollekin muullekin yhteen aikamme hienoimpaan tekniikkaan, joka kuitenkin on käyttäjäystävällistä ja helppoa ymmärtää.

## 2 SATELLIITTI-PAIKANNUKSEN HISTORIAA

Ihmisen luontoon on jo aikojen alusta kuulunut piirre, jonka takia ihminen haluaa tietää sijaintinsa ympäristössään. Joskus paikanmäärityksellä oli vielä suuri merkitys ihmisen toimeentuloon, mutta nykyään suurin osa paikan määrittämisen tarpeesta tulee harrastuksista ja silkasta mielenkiinnosta. Myös paikkojen väliset etäisyydet ovat yksi syy paikantamisen tarpeeseen. Ennen paikanmääritys tapahtui paljon yksinkertaisimmilla menetelmillä, kuten puiden oksien katkomisella tai kivien asetteleminen tunnistettaviksi muodostelmiksi, mutta tekniikan kehittyttyä on siirrytty koko ajan monimutkaisempiin keinoihin. Ihmisen pysytellessä maan pinnalla ei paikantamiseen tarvittu vielä tämän erikoisempia menetelmiä, mutta elinpiirin laajetessa meriteitse tuli tarve keksiä uusia keinoja paikan määrittämiseen. Seuraavissa kappaleissa kerrotaan vähän siitä, miten GPS-järjestelmään on päädytty. Kappale käsittelee myös itse järjestelmän kehitystä.. /4, s. 14./

## 2.1 Maantieteellinen leveys eli latitudi

Latitudi- eli leveyspiiri ja sen mukaan tapahtuva purjehdus oli ensimmäisiä tunnettuja paikannusmenetelmiä ja sen toimivuus perustui Pohjantähden korkeuteen taivaalla eri sijainneista katsottuna. Latitudi pystyttiin määrittämään taivaankappaleiden avulla jo Kolumbuksen aikoihin, jolloin tämä menetelmä olikin ainoa toimiva vaihtoehto. Tämän leveyspiiripurjehduksen periaate on varsin yksinkertainen. Aluksi purjehdittiin jollekin korkeudelle suoraan pohjoiseen tai etelään ja sitten laiva käännettiin suoraan itään tai länteen ja pidettiin pohjantähti samalla korkeudella kunnes oli saavuttu haluttuun päämäärään. /4, s. 15./

Menetelmä oli toimiva suhteellisen pienillä merialueilla, mutta siirryttäessä laajemmille vesistöille, tarvittiin tarkempia menetelmiä. Näitä menetelmiä käsitellään tarkemmin seuraavissa kappaleissa. /4, s. 15./

## 2.2 Sekstantti ja maantieteellinen pituus eli longitudi

Sekstantti on paikannuksessa käytettävä laite, joka pystyy määrittämään aluksen sijainnin taivaankappaleisiin nähden. Nykyaikaisen peilisekstantin juuret ulottuvat 1700-luvulle, jolloin Sir Isaac Newton keksi sekstantin perusidean. Laitteet oli siihen aikaan tehty norsunluusta ja ne olivat hyvin tarkkoja, joskin kalliita. Nämä laitteet pystyivät 300 metrin paikannustarkkuuteen, mutta tästä ei kuitenkaan ollut vielä paljon hyötyä, sillä pituuspiirien laskemiseen ei ollut vielä riittävän tarkkoja kelloja. Kellojen olisi pitänyt myös toimia keinuissa ja kosteissa meriolosuhteissa, jotta niiden antamiin tuloksiin olisi voitu luottaa. /4, s. 16–17/

Longitudin määrittämisen edellytys oli tuntea kahden eri puolilla maailmaa olevan paikan ajat. Esimerkiksi sataman ja merellä olevan laivan sijainnin samanaikainen tunteminen oli välttämätöntä. Koska heilurikelloa ei vielä tunnettu, oli tämä täysin mahdotonta ja vielä niiden aikanakin melkein turha niiden epätarkkuuden vuoksi. Vuonna 1714 Englanti lupasi 20 000 punnan palkkion sille, joka keksisi toimivan menetelmän longitudin määrittämiseksi. Tämä kehitystyö kesti kaiken kaikkiaan lähes 40 vuotta, mutta tuotti lopulta tulosta, kun Harrison onnistui täyttämään järjestelmän vaatimukset vuonna 1773. Harrison keksi kronometrin eli mekaanisen kellon, jonka tarkkuus oli jopa 0,1 sekuntia vuorokaudessa. 0,1 sekunnin tarkkuus tarkoittaa tässä sitä, että kelloon syntyy vuorokauden aikana 0,1 sekunnin virhe. /4, s. 17–18./



## 2.3 Radiomajakoiden aika

Noin sata vuotta kronometrin keksimisen jälkeen opittiin hyödyntämään paikantamisessa radioaaltoja. Radioaaltojen ominaisuudet ja niiden tarjoamat mahdollisuudet huomattiin nopeasti sen jälkeen, kun ensimmäinen radiosanoma lähetettiin Atlantin yli vuonna 1908. Radiomajakoihin perustuvia suunnistusjärjestelmiä onkin suunniteltu ja rakennettu jo 1910-luvulta lähtien. Majakat lähettävät avaruuteen signaaleja, joiden perusteella vastaanotin pystyy laskemaan halutun kulkuneuvon sijainnin. Tunnettuja sotalaivastoja ja meriliikennettä palvelevia järjestelmiä olivat muiden muassa Decca, Loran ja Consol.

Paikanmäärityksessä vastaanotin valitsee parhaissa paikoissa olevien majakoiden suunnat signaalin vaiheen ja lähteyssuunnan perusteella. Tämä siksi, että radiosignaalin vaihe riippuu suunnasta, jonne se lähetetään. Vastaanottimissa on laskimet, jotka laskevat havaintojen perusteella sijaintikäyriä. Näiden sijaintikäyrien leikkauskohdissa sijaitsee paikannettava alue. Vastaavanlaista järjestelmää käytetään myös ilmailussa, jossa käytetään VOR- asemia. Nämä asemat lähettävät tunnussignaalia ja suunnan mukaan vaiheeltaan muuttuvaa signaalia. Tämän signaalin mukaan lentokoneessa oleva laskin laskee lähettimen suunnan. VOR:ssa on myös DME niminen järjestelmä, jolla voidaan määrittää lähettimen etäisyys lentokoneesta. /4, s. 20./

Radiojärjestelmät toimivat suhteellisen tarkasti majakoiden vaikutusalueilla ja niiden tarkkuudet ovat käytännössä muutaman sadan metrin luokkaa, mutta tarkkuus voi olla jopa muutamia kilometrejä. Käytännössä majakoiden kattamat alueet ovat vain pieni osa maapallon pinta-alasta. Laajimmalle ulottuva järjestelmä on Consol, jonka kantomatka voi olla jopa 2500-3000 kilometriä, mutta esimerkiksi Decca kattaa vain 100-150 kilometrin suuruisen alueen. Radiojärjestelmillä pärjättiin pitkään, mutta niiden käyttöä voi rajoittaa muiden muassa voimakkaat ukkoset ja avaruuden magneettimyrskyt. Nämä seikat voivat tehdä järjestelmän ajoittain jopa kokonaan toimintakyvyttömäksi, joten se ei sovi nykyajan vaativiin tarpeisiin. /4, s. 20–21./

## 2.4 Satelliittipaikannuksen alkutaipale

GPS-järjestelmä on tunnettu jo 1910-luvulta lähtien, aina siitä lähtien kun radiotoiminta aloitettiin. Perusperiaatteena on, että satelliitit toimivat radiomajakoiden tavoin radioaaltojen lähittäjinä. Paikannuslaite vastaanottaa satelliitin lähettämän signaalin ja määrittää paikan sen perusteella, kauanko signaalilta meni edetä satelliitista laitteeseen.

Kun sama mittaus tehdään useamman satelliitin kanssa, saadaan määritettyä aluksen sijainti. /6, s. 94./

Koko maailman kattavaa navigointijärjestelmää ideoitin 1940-luvulla, jolloin se suunniteltiin helpottamaan merenkulkua ja siitä saatiin idea myös lentoliikenteen helpottamiseksi. Ratkaiseva askel kohti järjestelmän kehittämistä oli Vietnamin sota 1950-luvulla, joka paljasti tarpeet paikannukseen ja sen laajuuteen. Varsinainen laitteiden kehitys ja alkuaskeleet otettiin kuitenkin vasta 1960-luvulla. /1, s. 9; 3, s. 21./

Ensimmäinen varsinainen satelliittinavigointijärjestelmä Transit System otettiin käyttöön vuonna 1964, kun tarpeet paikannukseen oli havaittu. Amerikkalainen Transit System oli aluksi käytössä vain yhdysvaltain laivastolla, mutta jo kolme vuotta sen käyttöönoton jälkeen sen käyttö sallittiin myös siviileille. Järjestelmä ei kuitenkaan sallinut reaaliaikaista paikannusta, koska siihen kuului vain kuusi noin 1000 metrin korkeudessa kiertävää satelliittia. Satelliittien sijoittelun ja määrän vuoksi järjestelmä ei myöskään toiminut joka puolella maapalloa tauotta, vaan toiminta oli mahdollista vain lyhyitä aikoja. Järjestelmän paikannustarkkuudessa oli myös toivomisen varaa sillä se ulottui vain noin 200 metriin. /4, s. 21./

Seuraava askel satelliittipaikannuksen historiassa oli Neuvostoliiton vuonna 1976 käynnistämä Tsikada, joka oli tarkoitettu pääasiassa armeijan käyttöön. Tsikada muistutti hyvin paljon Transit- järjestelmää toteutukseltaan ja toimintaperiaatteiltaan. Ehkä vielä historian kannalta merkittävämpi järjestelmä oli ranskalais-amerikkalainen Argos, joka käynnistettiin vuonna 1979. Järjestelmän tarkoitus oli kerätä tietoa maailmanlaajuisesti. Tiedon keruu tapahtuu Argos- satelliiteilla, jotka keräävät tietoa eri puolilla maailmaa sijaitsevilta mittausasemilta ja välittävät ne edelleen maa-asemille. Järjestelmä mahdollistaa säähavaintojen reaaliaikaisuuden ja maaperän sekä merten tutkimisen. Argos tarjoaa noin 500 metrin paikannustarkkuuden ja sitä käytetään säähavaintopallojen, jäävuorten ja merivirtojen liikkeiden seuraamiseen. /3, s. 21./

## 2.5 Sarsat-Corpas-järjestelmä

Ensimmäinen järjestelmä, joka koskettaa varsinaisesti siviilejä on 1980-luvun alussa kehitetty Sarsat-Cospas. Järjestelmään kuuluu amerikkalaisten NOAA -satelliittien lisäksi myös Neuvostoliittolaisia Cospas -satelliitteja. Sarsatiin kuuluu laivojen hätälähettimet EPIRB (Emergency Position Indication Radio Beacon) ja lentokoneiden hätälähettimet ELT (Emergency Locator Transmitter). Järjestelmät on suunniteltu siten, että ne laukeavat itsestään veden paineesta tai törmäyksessä aiheutuvista g-voimista. On

olemassa vielä järjestelmään kuuluva PLB-lähetin (Personal Location Beacon) jonka voi itse aktivoida retkellä eksyessään. Tämä edellyttää kuitenkin satelliittipuhelimen käyttöä. Sarsat on osoittanut luotettavuutensa ja tarpeellisuutensa, kun sen apua tarvitsi vuoden 2004 loppuun mennessä 20 000 ihmistä yli 5000 hätätapauksen yhteydessä. NykYTEknologian aikana kuitenkin matkapuhelimet ja satelliittipuhelimet tarjoavat ainakin samanarvoisen avun. /3, s. 22./

## 2.6 Navstar GPS

Vuosi 1973 on varsinainen GPS:n syntymäaika, kun Yhdysvaltain puolustusministeriö päätti korvata ilmavoimien Program 612B:n ja laivaston Timation järjestelmät uudella järjestelmällä. Uuden järjestelmän täydelliseksi nimeksi tuli Navigation System Using Timing And Ranging (Navstar) Global Positioning System (GPS). Nimen tarkoituksena on kertoa heti, mistä järjestelmässä on kysymys, eli se on maailmanlaajuinen navigointi- ja paikannusjärjestelmä, jonka toiminta perustuu ajanmääritykseen ja etäisyyden mittaukseen. Järjestelmän tarkoitus oli parantaa aseiden suuntaamista ja armeijan joukkojen ohjaamista, joka mahdollistaisi reaaliaikaisen ja tarkemman paikantamisen. GPS-järjestelmä kehitettiin siis alun perin armeijan käyttöön ja sen pääasiallinen tavoite oli sietää vihollisen häirintää ja toimia moitteettomasti mahdollisten luonnon aiheuttamien häiriöidenkin vaikuttaessa. Alkuperäinen suunnitelma oli päästä 22 metrin tarkkuuteen vaakasuunnassa ja 28 metrin tarkkuuteen pystysuunnassa. /3, s. 23./

Vuonna 1978 järjestelmän kehitys oli saatu jo siihen pisteeseen, että avaruuteen laukaistiin ensimmäinen Block I -satelliitti, joka edusti ensimmäisen sukupolven satelliitteja. Seuraavien seitsemän vuoden aikana avaruuteen lähetettiin näitä satelliitteja vielä kolme lisää ja nämä satelliitit olivatkin käytössä aina vuoteen 1995 asti. Seuraava vaihe järjestelmän kehittämisessä aloitettiin vuonna 1979, kun toisen sukupolven Block II -satelliitteja tilattiin yhteensä 28 kappaletta. Ensimmäinen sarjan satelliitti saatiin kuitenkin laukaistua vasta kymmenen vuotta myöhemmin. /3, s. 23–24./

Järjestelmän julistettiin olevan alustavassa operatiivisessa valmiudessa AFSC :n (U.S Air Force Space Command) toimesta joulukuussa 1993. Valmiustilan julistaminen tarkoitti käytännössä sitä, että avaruuteen oli saatu lähetettyä 24 toimivaa satelliittia. Näistä satelliiteista tässä vaiheessa osa oli sukupolven yksi ja osa sukupolven 2 satelliitteja. Täysin valmiiksi järjestelmä julistettiin vuonna 1995, jolloin käytössä oli enää sukupolven kaksi satelliitteja eli Block II/IIA -satelliitteja (kuva 1). Vain muutamassa kuukaudessa AFSC pystyi ilmoittamaan, että järjestelmä toimi tauotta ympäri maailman.

Järjestelmän hallinnasta tästä eteenpäin vastasivat Yhdysvaltain ilmavoimien avaruushallinto, JPO (Navstar GPS Joint Program Office) ja Yhdysvaltojen liikenneministeriö. Avaruushallinto vastasi järjestelmän käytöstä, JPO toimi käytännön koordinoijana ja liikenneministeriö siviilikäytön yhteysvirastona. Järjestelmä oli aluksi käytössä vain Yhdysvaltain puolustusministeriöllä, mutta presidentti Reagan salli sen siviilien käyttöön vuonna 1984. /3, s. 25./



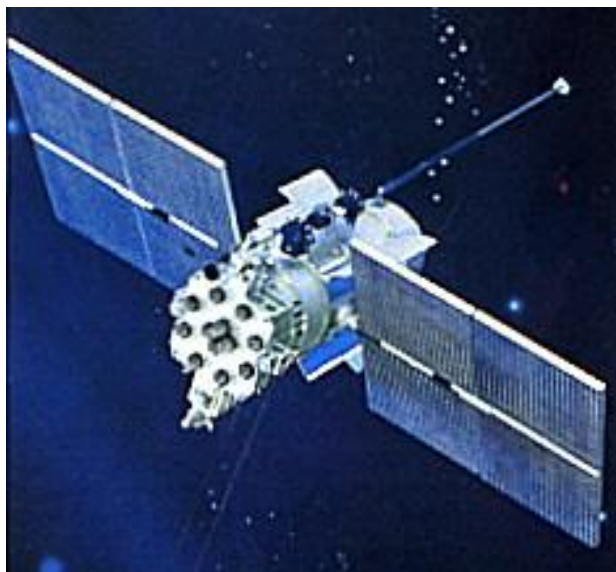
**Kuva 1** Block II -satelliitti /12/

## 2.7 Glonass-järjestelmä

Neuvostoliitto päätti myös rakentaa oman paikannusjärjestelmänsä ja toteuttikin suunnitelmansa viisi vuotta amerikkalaisten jälkeen. Venäläiset alkoivat kutsua omaa järjestelmäänsä Glonass:iksi (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikova Sistema). Tämän järjestelmän ensimmäinen satelliitti laukaistiin avaruuteen vuonna 1982, mutta virallisesti järjestelmän ilmoitettiin olevan käyttövalmis vasta vuonna 1993. Järjestelmä saavutti kuitenkin vasta todellisen laajuutensa vuosien 1995–1996 vaihteessa. /3, s. 25./

Glonass otettiin käyttöön samojen tarpeiden takia kuin amerikkalaistenkin järjestelmä. Järjestelmää kaivattiin turvaamaan Venäläisten sotilaallinen turvallisuus ja puolustamaan Venäläisten kansallisia intressejä. Alun perin järjestelmä suunniteltiin sisältämään 24 satelliittia, jotka olisivat avaruudessa 120 asteen välein kolmella ratatasolla. Venäläiset ovat kuitenkin joutuneet pettymään useaan otteeseen järjestelmän rakennusvaiheissa, sillä rikkinäisiäkin satelliitteja matkalle on osunut useita. Satelliittien todellinen laukaisumäärä onkin 100 kappaleen luokkaa. Vuosituhannen vaihteessa avaruuteen oli saatu vasta kahdeksan toimivaa satelliittia ja vuonna 2005 16–18 kappaletta. Venäläisten satelliitit kiertävät maata noin 19100 kilometrin korkeudessa, ja niiden kiertoaika on 11 tuntia 15 minuuttia. /3, s. 26./

Glonass on siinä määrin samankaltainen järjestelmä kuin GPS, että amerikkalaiset epäilivätkin aluksi venäläisten kaapanneen heidän järjestelmänsä idean. Tätä väittämää ei kuitenkaan koskaan pystytty todistamaan, joten Venäläisten järjestelmä jäi toimintaan. Suurin ero näiden kahden järjestelmän välillä on satelliittien lähettämässä signaaleissa. Molemmat järjestelmät lähettävät signaalia kahdella taajuudella, mutta GPS:ssä kaikilla satelliiteilla on omat taajuutensa, jotta ne olisi tunnistettavissa. Tältä osin Glonass on hieman yksinkertaisempi eikä sen lähettämässä koodeissa ole salausta eikä niihin ole lisätty näennäissatunnaista virhettä. Myös Glonass satelliitit ovat rakenteeltaan samankaltaisia, kuin Block -satelliitit, mutta pieniä eroja on nähtävissä. (kuva 2). /3, s. 26–27./



**Kuva 2** Glonass-satelliitti /13/

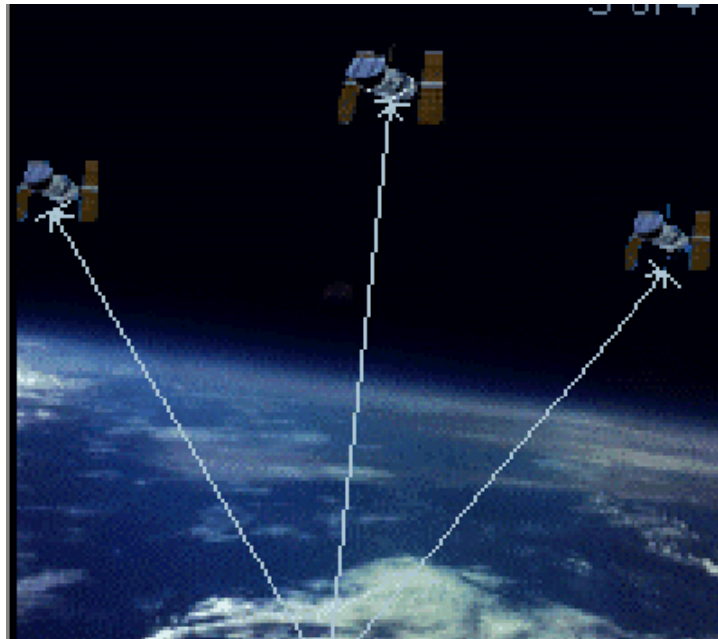
Alussa Glonass oli erittäin salainen järjestelmä, mutta 1990-luvun lopulta asti on jo ollut käytössä paikantimia, jotka hyödyntävät kahden olemassa olevan järjestelmän parhaita puolia. Venäläistä ja amerikkalaista signaalia rinnan kulkevia paikantimia käytetään erityisesti suurta tarkkuutta vaativissa GIS (Geographical Information System) tehtävissä kuten maanmittauksessa. /3, s. 27./

### 3 PAIKANNUKSEN PERIAATTEET

Järjestelmä ei todellisuudessa ole niin monimutkainen, miltä se äkkiä voi vaikuttaa. Ei puhuta sadoista eikä edes kymmenistä monimutkaisista vaiheista, vaan menetelmän toiminta koostuu kolmesta peruseriaatteesta, jotka on selitetty seuraavissa kappaleissa. /4, s. 43–44./

#### 3.1 Kolmiomittausta ja satelliittien etäisyys

GPS-järjestelmän toiminta perustuu satelliittien ja paikannuslaitteen välisen etäisyyden avulla suoritettavaan kolmiomittaukseen eli trilateraatioon. Satelliitit toimivat niin kutsutun kolmiomittauksen kiintopisteinä (kuva 3). Satelliittien avulla tapahtuva kolmiomittaus ei paljонkaan eroa tavallisesta kolmiomittauksesta, vaan peruseriaate on täysin sama. Ainoa eroavaisuus on, että maanpäällä mitattaessa kiintopisteet ovat varsinaisia kiintopisteitä ja mittaukset tehdään kahdessa eri ulottuvuudessa eli dimensiossa (2 D) ja avaruudessa kolmannessa ulottuvuudessa (3 D), jolloin mittaukset ovat vaikeampia. Kolmioinnin teoriaa käyttäen voidaan mittaus kuvata seuraavalla tavalla: Kolmen satelliitin ja paikannuslaitteen välisen etäisyyden mittauksessa (kuva 3), voidaan sen paikka ensin rajata kahteen mahdolliseen pisteeseen. Seuraavassa vaiheessa on tarkoitus päätellä, kumpi piste on oikea. Toinen piste saadaan pois laskuista esimerkiksi sen sijaitessa kaukana avaruudessa tai syvällä maan alla. Jäljelle jäävä piste on siis GPS-paikannuslaitteen paikka maapallolla. Pelkällä päättelyllä ei kuitenkaan saada varmaa tulosta, joten tulosta pyritään tarkentamaan vielä toisilla keinoilla, jotka perustuvat tarkkoihin laskutoimituksiin. /4, s. 44./



**Kuva 3** Kolmiomittausta /14/

Kun tiedetään radiosignaalien kulkevan valonnopeudella, voidaan etäisyys mitata signaalin kulkuun kuluvan ajan perusteella. Tarvitaan kuitenkin oikeanlaiset menetelmät ja laitteet, jotta etäisyydet olisi mahdollista mitata. Lyhyesti voidaan esittää seuraavalla tavalla.

$$v \times t = r$$

Missä  $v$  = nopeus

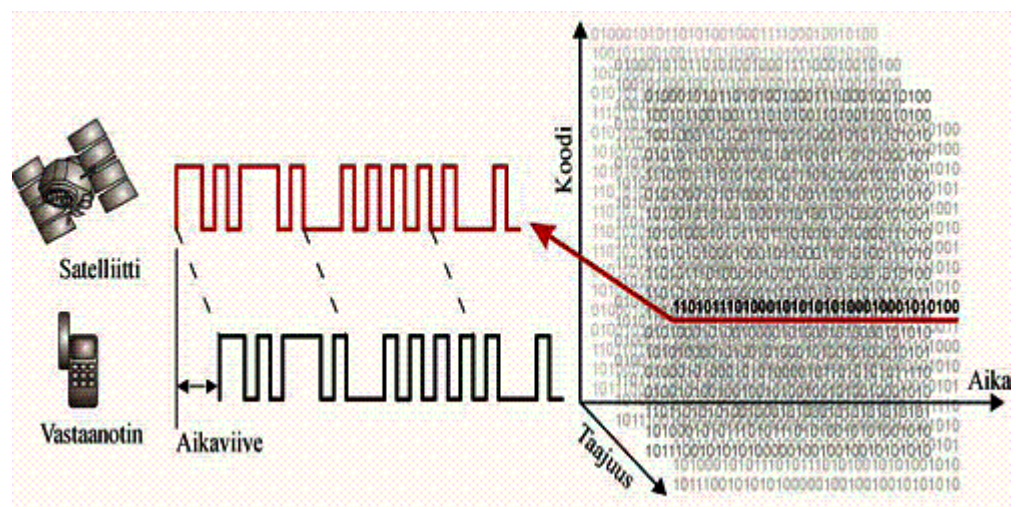
$t$  = aika

$r$  = etäisyys

Valonnopeudeksi mielletään usein luku 300 000km/s, mutta GPS-järjestelmälle tämä luku ei suinkaan ole riittävän tarkka. Tyhjiössä etenemisnopeus on 299 792,5km/s ja tätä lukua käytetäänkin hyväksi GPS-järjestelmän parissa. Nopeus hidastuu radioaallon kulkiessa ilmakehään, mutta tämä seikka on otettu järjestelmässä huomioon tarkkojen tulosten saamiseksi. /4, s. 48; 5, s. 19./

### 3.2 GPS-aika ja tarkat kellot

Seuraava etappi on ottaa selville, kuinka pitkä aika radiosignaailta menee taivaalta paikannuslaitteen antenniin. Tällöin puhutaankin GPS-ajasta. Ensin täytyy tietää tarkka hetki, milloin satelliitti alkoi syöttää radiosanomaa ja se hetki, kun sanoma saapui GPS-laitteeseen. Suunnittelijat tulivat lopputulokseen, että satelliitissa ja paikannuslaitteeseen voidaan kehittää samalla hetkellä samanlaiset koodit. Tämän oivalluksen jälkeen ei enää tarvinnutkaan muuta, kuin ottaa vastaan satelliitin lähettämä koodi ja tarkistaa kuinka kauan aikaa sitten sama koodi syötettiin paikannuslaitteeseen. Aikaero kertoo suoraan signaalin kulkuajan (kuva 4). Koodilla tarkoitetaan tässä satunnaista bittijonoa, joka muistuttaa radioaaltojen taustakohinaa, mutta on toteutettu tarkoilla matemaattisilla laskuilla. Koodin englanninkielinen nimi on PRN (Pseudo Random Noise Code), joka tunnetaan suomessa nimellä näennäissatunnainen koodi. Jokainen satelliitti omistaa oman koodinsa, jota se käyttää tunnistautumiseen ja lukittumiseen. /4, s. 48./



Kuva 4 Aikaeron mittaus signaalin avulla /15/

Koska matkalla syntyy viivettä, on tiedettävä tarkkaan se hetki, milloin satelliitti lähetti koodin paikannuslaitteelle sekä se aika jolloin GPS-paikannuslaite kehitti vastaavan PRN- koodin. Halutun tarkkuuden saavuttamiseksi aikojen on oltava täsmälleen samat. Tämä tarkoittaa sitä, että atomikellojen ja GPS:n kellon käynti on synkronisoitava. Pienetkin virheet kelloissa tai vähäinen aikaero voi aiheuttaa isoja virheitä. Tämän takia pelkän radiosignaalin kulkuajan perusteella laskettuja matkoja kutsutaan näennäisetäisyyksiksi. Kun kellojen virheet on selvitetty ja eliminoitu, saadaan tärkeä geometrinen etäisyys eli paikannuksen varsinainen virhe. Virhe pyritään poistamaan

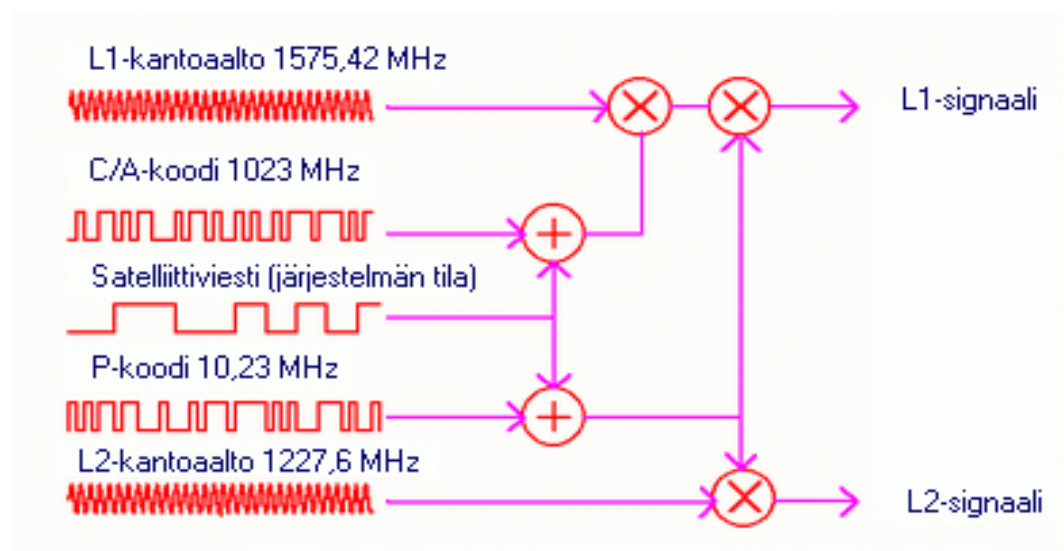


mahdollisimman hyvin, koska mitä paremmin se saadaan poistettua, sitä tarkempi järjestelmä on. /3, s. 46./

Jotta paikannus onnistuisi, on tärkeää, että radiosignaalien avulla pystytään ohjaamaan kaikkia maailman GPS-paikannuslaitteiden kelloja. Tarvittaessa laitteiden kelloja hyppytetään tarvittaessa, jolloin virhe on jälleen poistettu. Kellokorjausten tärkeyttä ei voi kylliksi painotta, sillä jo sadasosasekunnin heitto synkronoinnissa ja signaalin kulkuajan laskemisessa voi aiheuttaa paikanmäärityksessä virhettä jopa 2800 kilometriä. /3, s. 47./

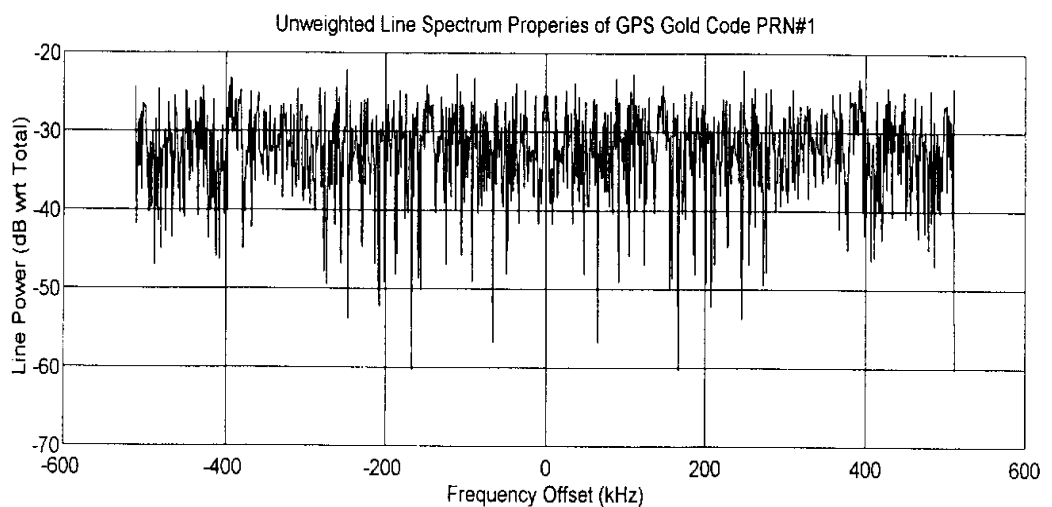
### 3.3 GPS-signaali

GPS-satelliitti lähettää kahta eri kanta-aaltoa taajuuksilla  $L1 = 1575.42$  MHz ja  $L2 = 1227.6$  MHz. Signaalin kannalta olennaisin taajuus on perustaajuus 10.23 MHz, jonka satelliiteissa olevat cesium-atomikellot tuottavat. L1- ja L2-kanta-aallot on saatu kertomalla perustaajuus 154:llä ja 120:llä. Kanta-aaltoihin on lisäksi moduloitu kaksi paikannuskoodia, P-koodi ja C/A-koodi. Näiden lisäksi kanta-aaltoon on moduloitu myös itse navigointiviesti, jonka taajuus on 50MHz. Käytännössä GPS-signaali koostuu kuvan 5 mukaisesti. /2, s. 118./



Kuva 5. GPS-signaalin rakenne /16/

PRN-koodin toiminnan peruseriaate on, että laite ottaa vastaan satelliitin lähettämää koodia ja tarkistaa, kuinka kauan aikaa sitten sama koodi syötettiin paikannuslaitteeseen. Aikaero kertoo kuinka kauan signaalilta on mennyt edetä näiden etappien välillä. Etenevällä koodilla tarkoitetaan tässä bittijonoa, joka muistuttaa radioaaltojen taustakohinaa (kuva 6), mutta on toteutettu tarkoilla matemaattisilla laskuilla. Satelliittien kantaaltosignaali moduloidaan PRN-koodeilla ja lisäksi navigointiviestillä. Pelkät PRN-koodit eivät sisällä informaatiota ja ne vaikuttavat täysin satunnaisilta, vaikka ne ovatkin täydellisesti ja yksikäsitteisesti toistettavissa. /10./

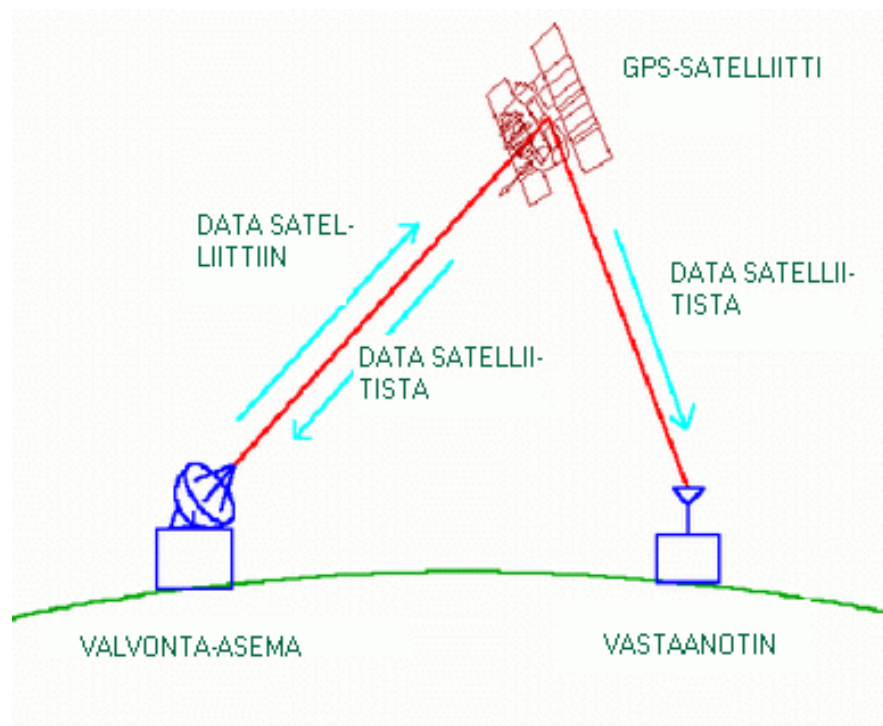


**Kuva 6** PRN-koodin /17/

P- JA C/A-koodit ovat myös eräänlaisia PRN koodeja, eli nekään eivät sellaisenaan sisällä mitään tietoa, vaan ne ovat pseudosatunnaisia +1 ja -1 tilan sisältäviä sekvenssejä joilla moduloidaan kantaaltoa. Sana pseudosatunnainen tulee siitä, että vaikka ne näyttävät satunnaisilta ovat ne silti jonkin tietyn, yksittäisesti toistettavissa olevan algoritmin tuottamia. (/10/)(/2, s. 118) Taajuudelle L1 on moduloitu molemmat koodit, sekä C/A- että P-koodi, joihin on lisätty myös itse navigointiviesti. L2 taajuudelle vastaavasti moduloidaan vain P-koodi ja navigointiviesti. Sotilaskäyttöön tarkoitettu P-koodi taajuudeltaan 10.23 MHz ja C/A-koodi on vastaavasti julkinen, jonka taajuus on 1.023 MHz. /9./

## 4 GPS-JÄRJESTELMÄN FYYSINEN RAKENNE

GPS-järjestelmän toimivuus perustuu sen rakenneosien yhteistoimintaan. Järjestelmästä löytyy lukematon määrä pieniä osia, mutta seuraavassa on kerrottu kolmesta suurimmasta järjestelmää pyörittävästä osasta. Pääperiaate järjestelmässä on, että se toimii satelliittien, maa-asemien ja laitteiden vuorovaikutuksella (kuva 7).

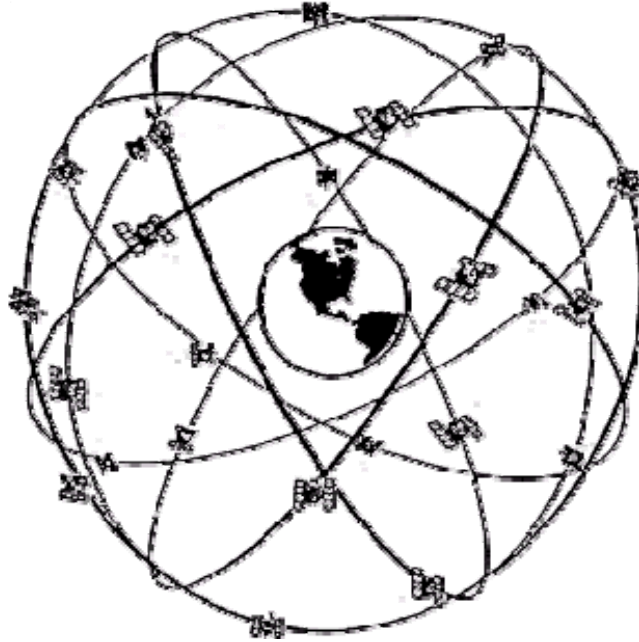


Kuva 7 Järjestelmän rakenne /18/

### 4.1 Satelliitit

GPS-satelliitit kiertävät maata kaukana avaruudessa, jotta virheiden muodostuminen olisi mahdollisimman pientä. Satelliitit palvelevat vain paikannusjärjestelmää ja niitä on käytössä 28 aktiivista satelliittia, jotka sijoittuvat siten, että maapallon ympärillä on tasainen satelliittiverkosto ympäri vuorokauden (kuva 8). Verkoston aukottomuus on varmistettu varasatelliiteilla, joita radalla on yhteensä neljä kappaletta. Jos jokin varsinaisista satelliiteista vioittuu, paikataan tilanne ottamalla käyttöön joku varasatelliiteista. Satelliitit kiertävät yhteensä kuudella eri kiertoradalla, joista kullakin kiertää aina neljä satelliittia peräkkäin. Peräkkäisten satelliittien väli on 60 astetta ja

vastaavasti kiertoratojen kaltevuuskulma on 55 astetta. Jotta järjestelmä toimisi moitteettomasti, täytyy taivaan näkyvällä osalla olla aina vähintään kolme satelliittia kerrallaan. Kukin satelliitti kiertää maapallon kaksi kertaa vuorokaudessa, jolloin kiertonopeus on riittävän suuri kolmen satelliitin näkymiseksi taivaalla. /3, s. 33./



**Kuva 8** Satelliittiverkosto. /11/

Suomessa satelliitteja näkyy taivaalla aina vähintään 7-8 kappaletta, mutta määrä voi nousta jopa 12 satelliittiin kerrallaan, joten suomalaisten ei tästä ainakaan tarvitse olla huolissaan. Näiden satelliittien signaaleja nykyiset 12-kanavaiset paikannuslaitteet pystyvät tulkitsemaan samaan aikaan ja rinnakkain. Tämä on parantanut huomattavasti muun muassa laitteiden käynnistysnopeutta ja tarkkuutta. /3, s. 35./

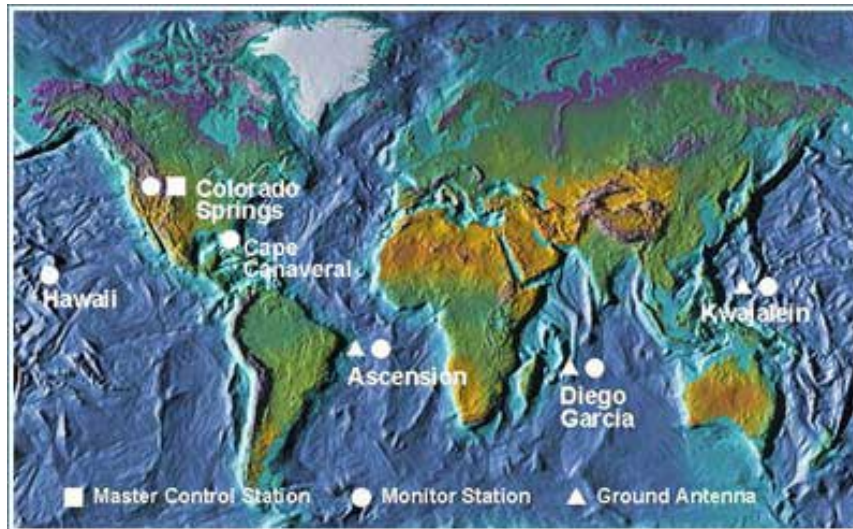
Kiertoradoille on maasta matkaa noin 26 500 kilometriä ja maanpinnalta niiden etäisyys on 20 183 kilometriä. Satelliittien sijoittelulla on varmistettu järjestelmän toimivuuden kannalta useita etuja. Koska satelliitit kiertävät niin korkealla, tarvittavien satelliittien määrä on pienempi mitä se olisi ollut, jos satelliitit olisi sijoitettu alemmas. Näin säästettiin rahaa järjestelmän rakennusvaiheessa vaikkakin satelliittien laukaisu korkealle avaruuteen vei myös paljon resursseja. Maapallon ja sen ilmakehän aiheuttamat vaikutukset on myös saatu minimoitua tällä ratkaisulla. /3, s. 33–34./

Fyysisesti satelliitit ovat yllättävän pieniä ja painavatkin vain noin 1500–2000 kiloa. Järjestelmässä käytetyt satelliitit ovat malliltaan NAVSTAR GPS/BLOCK II -satelliitteja. Jokaisessa satelliitissa on yhtenä rakenneosana neljä atomikelloa, joiden tarkoituksena on mitata aikaa. Atomikelloista kaksi on niin kutsuttuja Cesiumkelloja ja toiset kaksi rubidiumkelloa. Molemmilla kellotyypeillä on omat tehtävänsä ja ne ovat tarkimpia ihmisen keksimiä kelloja. Näitä kelloja kutsutaan atomikelloiksi, koska niiden laskenta perustuu atomien energiatasoissa tapahtuviin muutoksiin. /3, s. 35./

## 4.2 Maa-asetat

GPS-järjestelmän ylläpito vaatii satelliittien lisäksi myös tekniikka, joka sijaitsee maanpäällä, sillä järjestelmän käyttämä tekniikka vaatii helppoa pääsyä järjestelmien ja apuvälineiden luokse. Järjestelmät vaativat myös jatkuvaa valvontaa ja huoltoa, joten maanpäälliset asemat ovat järjestelmän toiminnan kannalta välttämättömiä. /3, s. 39./

Valvonnasta ja tietojen päivittämisestä huolehtii keskusvalvonta-asema ja maa-asetat. Nämä asemat on sijoitettu Hawaijille, Kwajaleinille, Ascension Islandille, Diego Garcialle ja Colorado Springsiin (kuva 9). Maa-asettien MS (Monitor Station) tehtävä on toimia eräänlaisina tarkkailuasemina. Avaruudesta tulevia tietoja kerääviä maa-asetia on sijoitettu maan päälle viisi kappaletta, joista jokainen on lähellä päiväntasaajaa (katso kuva 6). Asettien tärkeimmät hallintalaitteet ovat GPS-paikannuslaite, atomikello sekä tietokone. Asemat ovat täysin miehittämättömiä ja ovat jatkuvassa yhteydessä keskusasemaan. Keskusasema MCS (Master Control Station) on eräänlainen tukipiste, josta seurataan satelliittien kiertoratoja ja kelloja sekä niissä tapahtuvia muutoksia. Keskusasemalla lasketaan myös alkuperäisistä tiedoista poikkeavat korjauspäivitykset. /3, s. 40; 4, s. 31./



Kuva 9. Maa-asemien sijainnit kartalla /24/

Koska satelliitit on sijoitettu kauas avaruuteen, niiden kiertoradat pysyvät kutakuinkin muuttumattomina. Kiertoradat vaihtelevat satelliittien sijoittelusta huolimatta kuitenkin vähän jatkuvasti ja niitä täytyy sen takia korjata. Näiden vaihteluiden takia maa-asemien GPS-vastaanottimet mittaavat kokoajan etäisyyttä satelliitteihin ja sen jälkeen lähettävät tulokset keskusasemalle. Keskusasema lähettää satelliitteihin myös kellokorjauksia, ionosfääriparametreja sekä yleisiä järjestelmää koskevia tiedonantoja. keskusasema ja maa-asemat siis mahdollistavat korjaustietojen välittymisen maailman GPS-paikannuslaitteisiin ja näin saadaan minimoitua järjestelmässä syntyvät virheet. /4, s. 31–32./

### 4.3 GPS-paikannuslaite

Käyttäjän kannalta tärkein ja näkyvin osa koko järjestelmää on itse GPS-paikannuslaite, jonka käyttö on hyvä opetella jo alussa jotta järjestelmästä saisi parhaan mahdollisen hyödyn. Periaatteeltaan satelliittinavigaattori on yhdistetty radiovastaanotin ja tietokone, joka ottaa tietoa vastaan taivaalta. Laitteen vastaanotin ottaa tietoa satelliiteilta lyhyin väliajoin ja tekee saamistaan tiedoista monimutkaisia laskutoimituksia, jotka käyttäjä sitten näkee sijainti- ja suunnistustietoina. Nykyisen navigaattorin tärkeimmät ominaisuudet ovat suunnan ja etäisyyden kertominen katsottuna laitteen sen hetkisestä olinpaikasta./4, s. 32./

GPS-laitteen perustarkoitus on siis laskea sijaintipaikkansa tiedot satelliittien lähettämän informaation perusteella, mutta laitteelta vaadittavat ominaisuudet määräytyvät loppujen lopuksi sen käyttötarkoituksen perusteella. Laitteelta vaadittavia ominaisuuksia ovat muun muassa tarkkuus, nopeus koko ja paino. Pienissä kannettavissa laitteissa tarkkuus, toimintanopeus ja häiriöidensietokyky eivät välttämättä ole yhtä hyvät kuin isommassa ja kömpelömmässä laitteessa, mutta se soveltuu paremmin esimerkiksi suunnistajien käyttöön. Toisaalta iso laite kuluttaa enemmän virtaa ja vie enemmän tilaa, mutta sopii esimerkiksi veneilijän käyttöön paremmin. Kuvassa 6 on esimerkki näppärästä pienestä GPS-laitteesta ja vertailun vuoksi kuvassa 7 tarkempi mutta kömpelömpi laite. (kuvat 10 ja 11) Laitteen saa nykyään jo hintaan, mihin melkein jokaisella on varaa, mutta hätiköidä ei kannata vaan käyttötarkoitus kannattaa miettiä jo ennen kaupan menoa. /4, s. 34./



**Kuva 10** Magellan eXplorist 500 /19/



**Kuva 11** Furuno GP-32 /20/

## 5 TARKKUUS JA VIRHELÄHTEITÄ

Seuraavassa on esitelty GPS-järjestelmään vaikuttavia virhelähteitä ja esteitä. Nämä seikat tulisi aina ottaa huomioon kritisoitaessa GPS-järjestelmän toimivuutta ja tekniikkaa. Kaikkia tekstissä mainittuja virheitä ei esiinny enää nykyaikaisissa laitteissa, mutta niihin kannattaa silti perehtyä saadakseen kokonaisvaltaisen kuvan järjestelmästä ja sen kehitysvaiheista ja ongelmista. Järjestelmään vaikuttavia virhelähteitä on olemassa useita, mutta suurin osa niistä aiheuttaa vain hyvin pieniä virheitä. Seuraavassa on kerrottu kaikista tunnetuimmista ja suurimpia virheitä aiheuttavista lähteistä ja muutamasta menetelmästä, joilla näitä virheitä voidaan poistaa.

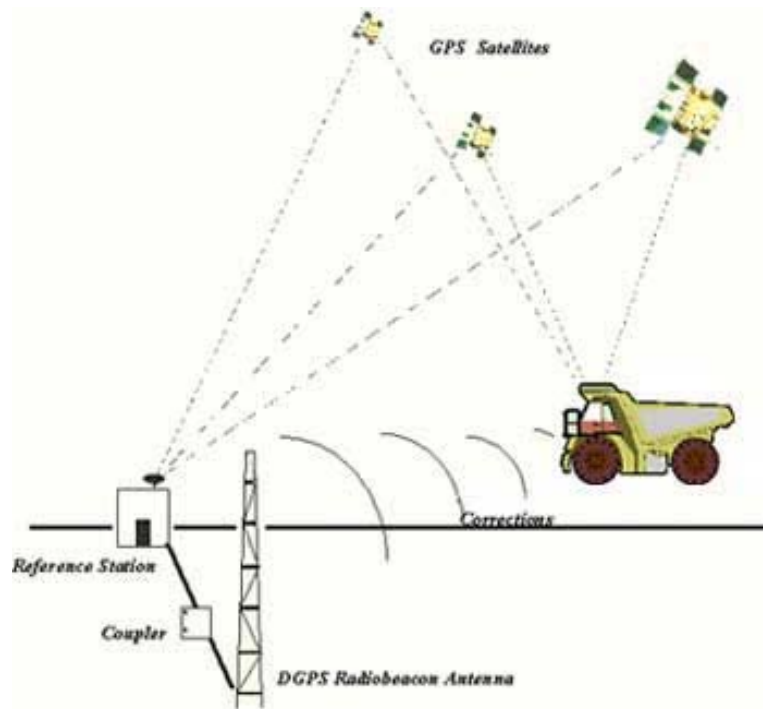
### 5.1 DGPS-, WAAS- JA EGNOS-MENETELMÄT

DGPS, WAAS ja EGNOS ovat menetelmiä joilla voidaan parantaa GPS- järjestelmän tarkkuutta. Nämä kolme ovat menetelmiä, joilla poistetaan tahallisen häirinnän SA:n ja satunnaisvirheiden vaikutusta järjestelmään.

Tunnetuin näistä kolmesta on varmasti DGPS eli differentiaalinen GPS. Se on laajennus tavallisesta GPS:tä ja käyttää hyväkseen kiinteitä tukiasemia. DGPS:n toiminta perustuu siihen, että tukiasemilla on vertailuvastaanottimia, jotka tuntevat tarkkaan oman sijaintinsa ja pystyvät siten laskemaan hetkelliset virheet kuhunkin satelliittiin. DGPS:n avulla voidaan muun muassa pienentää ilmakehästä johtuvien virheiden vaikutusta. Näennäisetäisyyden ja todellisen etäisyyden ero siirretään differentiaalikorjauksena paikannuslaitteelle, jolloin tämä pystyy korjaamaan tietojen avulla omia etäisyyksiään



(kuva 12). Suomessa on kaksi DGPS-järjestelmää, joista tunnetumpi on fokus. /5, s. 24; 4, s. 65; 7./



**Kuva 12** DGPS toimintaperiaate /21/

WAAS ja EGNOS ovat samantyyppisiä järjestelmiä kuin DGPS, mutta vähemmän tunnettuja. WAAS (Wide Area Augmentation System) toimii Amerikassa ja EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System) Euroopassa. Molemmat järjestelmät perustuvat GPS:ään lisättyjen korjaussatelliittien käyttöön. Kyseisten satelliittien näkyvyys on rajallinen maapallolla minkä takia korjaus ei ole mahdollista muualla kuin Amerikassa ja Euroopassa. Järjestelmistä löytyy ryhmä GPS-signaalia vastaanottavia ja virhetietoja kokoavia maa-asemia. Nämä tiedot välitetään keskusasemille, jotka korjaavat tietoja ja tarkkailevat järjestelmän kuntoa. Nämä korjausarvot lähetetään edelleen tietoliikennesatelliiteille. Viimeinen vaihe on näiden korjaustietojen lähettäminen paikannuslaitteeseen GPS-järjestelmän taajuudella. /3, s. 55; 8./

## 5.2 SA–tahallinen häirintä

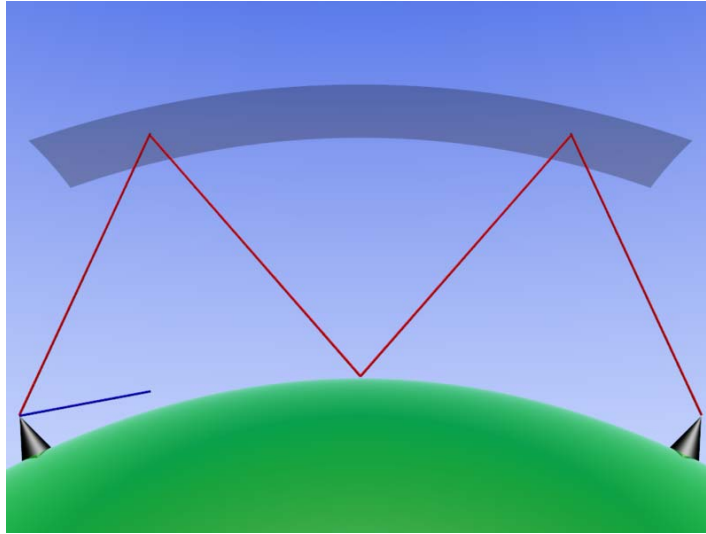
SA eli Selective Availability -menetelmällä pyritään heikentämään paikannustarkkuutta mahdollisimman huonoksi. Selective Availability (rajoitettu saatavuus) on GPS:n häirintäsignaali, jolla tarkoituksenmukaisesti heikennetään paikannustarkkuutta siviilikäytössä ratatietoja muuttamalla. SA toteutettiin ennen kahdella eri tavalla. Ensimmäisessä aiheutettiin satelliitin kelloon virhe siten, että sen perustaaajuutta sotkettiin satunnaisella virheellä. Toisessa tavassa aiheutettiin virheitä rataelementteihin, jolloin satelliitin paikka on mahdotonta laskea niistä tarkasti. /2, s. 111./

Vuonna 2000 tapahtui GPS-paikannuksessa suuri mullistus, kun Yhdysvaltain presidentti Bill Clinton määräsi SA:n sulkemisesta. Tämä paransi huomattavasti paikannuksen turvallisuutta ja tarkkuutta siviilihenkilön näkökulmasta. Ennen tätä tarkkuutta ei voitu mitenkään mitata täsmällisesti. Ennen SA:n poistumista käytöstä virheitä saattoi esiintyä jopa 500 metrin tarkkuudella ja 30–50 metrin tarkkuudella ne olivat väistämättömiä. Häirinnän poistuttua tutkimustulokset kertoivat järjestelmän tarkkuuden olevan jo 5-10 metrin luokkaa. /3, s. 49./

## 5.3 Ilmakehän vaikutus

Kaikkia järjestelmään kohdistuvia ongelmia ei voida kokonaan poistaa millään erityisillä keinoilla. Ilmakehän aiheuttama vastus on tällä hetkellä kaikista suurin virheiden aiheuttaja. Ionosfääri ja troposfääri vaikuttavat signaalin etenemisnopeuteen ja sitä kautta se ilmenee virheenä satelliittien etäisyydessä. Näihin virheisiin ei varsinaista poistokeinoa ole, mutta virheiden vaikutusta voidaan pienentää esimerkiksi ionosfääri - ja troposfäärimalleilla. Ionosfääri on näistä kahdesta suurempi virheiden aiheuttaja, koska se on rakenteeltaan eräänlainen sähköisesti varattujen hiukkasten plasmapeite (katso kuva 13). Nämä hiukkaset vaikuttavat radiosignaalien kulkunopeuteen ja satelliittien lähettämään PRN-koodiin. /1, s. 48./

Jos satelliitti on lähellä horisonttia, on vaikutus kaikista voimakkain. Tähän ongelmaan on keksitty ratkaisuksi hyvinkin yksinkertainen menetelmä, joka ei ota huomioon alle 4-5 asteen korkeudella horisontista olevien satelliittien signaaleja. Ionosfääri myös hidastaa signaalia, koska siinä on hyvin paljon sähköisesti varautuneita hiukkasia, jotka hidastavat signaalia. Ionosfääristä johtuvien ongelmien korjaus ei ole kovin vaikeaa, sillä tunnemme sen ominaisuudet aika tarkasti. /3, s. 56./

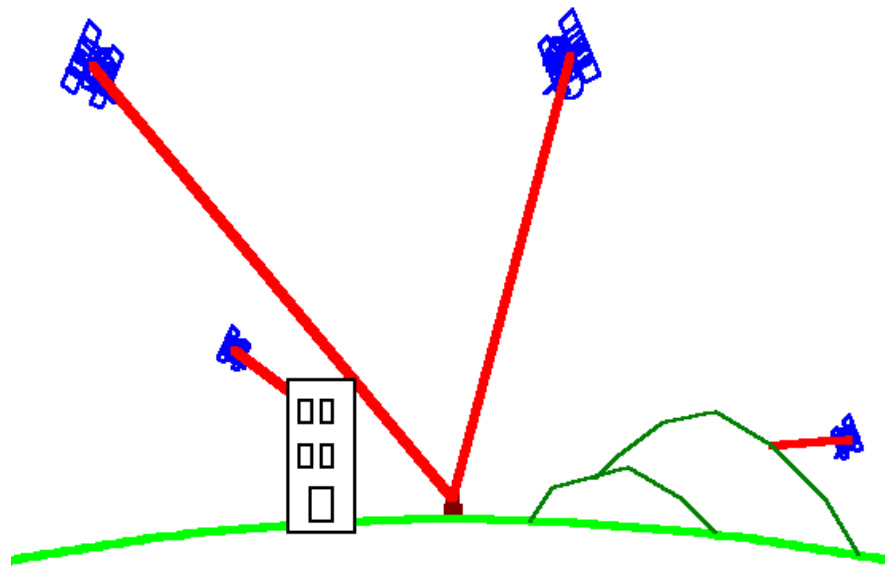


**Kuva 13** Ionosfääri heijastuminen /22/

Enemmän ongelmia aiheuttaa meitä lähempänä olevat troposfääri ja stratosfääri. Näissä kerroksissa signaalin etenemiseen vaikuttaa vesihöyry, jää ja epäpuhtaudet. Tällaisia muutoksia on mahdotonta ennustaa ja niiden syntyminen voi olla hyvinkin nopeaa ja rajua. Mahdottoman ennustamisen takia näitä virheitä on myös melkein mahdotonta poistaa, mutta onneksi näiden virheiden vaikutus järjestelmään on kohtalaisen pientä (n. 4 metriä). /3, s. 57./

## 5.4 Monitieheijastus

Yksi virhelähteistä on monitieheijastus, joka on suuressa määrin riippuvainen havaintopaikasta, sillä sen todennäköisyys on sitä suurempi, mitä lähempää horisonttia signaali tulee. Esimerkiksi kaupunkiympäristö on heijastuksen kannalta huono, sillä heijastavia pintoja on paljon. (kuva 14) Heijastuksessa on kyse siitä, että radiosignaali ei tule suorinta tietä antenniin, vaan heijastuu jostakin lähellä olevasta pinnasta, kuten talon seinästä tai katosta. Heijastuksen vaikutus on yleensä parikymmentä metriä, mutta huonoissa olosuhteissa se saattaa olla vieläkin enemmän. Virhe saattaa olla siis paikannuksen kannalta hyvinkin suuri ja aiheuttaa paikannuksen epäluotettavuuden. Nykyään monitieheijastusta saadaan kuitenkin poistettua vaimennusrenkailla, jotka pystyvät poistamaan heijastuksen aiheuttamat vaikutukset lähes kokonaan. /3, s. 59; 8./



Kuva 14 monitieheijastus /23/

## 5.5 Käyttäjän aiheuttamat virheet

Muiden lähteiden aiheuttamat virheet ovat suhteellisen pieniä ja aiheuttavat nykyään suhteellisen pieniä virheitä, joten voidaankin sanoa, että käyttäjä itse on vastuussa järjestelmän toiminnasta. Käyttäjä aiheuttaa helposti virheitä huomaamattaan, koska laitteet ja järjestelmä voivat olla hänelle tuntemattomia. Useimmat käyttäjän aiheuttamat virheet johtuvat asetusvalikossa tehdyistä vääristä valinnoista, jolloin käyttäjä saattaa valita väärän koordinaattijärjestelmän. Tällainen pieneltä tuntuva virhe voi aiheuttaa jopa tuhansien metrien heittoja, jolloin paikannuksen luotettavuus kärsii. Käyttäjän tekemät virheet on kaikista vaikein havaita ja korjata, koska käyttäjä ei itse voi mistään päätellä tehneensä virheen ja syyttääkin siitä usein laitetta ja sen valmistajaa. /3, s. 60./

## 5.6 Kello- ja ratavirheet

Satelliittien cesiumkellot ovat alttiita pienille vaihteluille. Nämä kelloihin jäävät pienet virheet aiheuttavat etäisyyksien mittaamiseen ja paikannukseen noin metrin luokkaa olevan virheen. Virheen suuruus vaihtelee ja voi välillä olla huomattavan paljon pienempi tai hetkellisesti isompi. Näitä kelloja valvoo järjestelmän ylläpitäjä eli DoD yhteistyössä USA:n laivaston kanssa. Kelloja voidaan säädellä, mutta tätä tehdään hyvin harvoin, koska poikkeamat ovat niin pieniä. /3, s. 57./

Satelliitit on sijoitettu hyvin kauas avaruuteen, jotta niiden kiertoradat pysyisivät vakioina ja olisivat tulevaisuudessakin ennustettavissa. Myös avaruudessa on kuitenkin voimia, jotka vaikuttavat satelliittien kiertoon. Nämä voimat aiheuttavat pieniä muutoksia satelliittien kiertoradoilla. Yksi näistä voimista on auringon vetovoima, jonka aiheuttamat aurinkotuulen puuskat saattavat heilauttaa satelliitteja hiukan kiertoradan sivuun. Tämänkin virheen suuruusluokka on noin metrin luokkaa yhden rata kierroksen aikana. Satelliittien kiertoratoja on tämän takia korjattava aika-ajoin. Korjaus kestää yleisesti noin yhden vuorokauden ajan. /3, s. 58./

## 6 KÄYTTÖKOhteita JA HUOMIOITAVAA

GPS-laitteet tarjoavat nykyään hyvin monipuolisia ja monimuotoisia palveluja, jotka soveltuvat hyvin useisiin erilaisiin tarkoituksiin. Seuraavissa kappaleissa on listattu muutama käyttökohde ja kerrottu hieman siitä, minkälaisiin ongelmiin erilaisissa tilanteissa laitteen kanssa saattaa kuitenkin törmätä ja mitä kannattaa ottaa huomioon, jotta laitteesta saisi suurimman hyödyn.

### 6.1 GPS suunnistajan apuna

Suunnistuksessa suurin GPS-laitteen eduista lienee matkan edistymisen arviointi ja maastossa olevien esteiden huomiointi jo aikaisessa vaiheessa. Parasta tietysti olisi, jos seuraavan kohteen koordinaatit olisivat valmiina laitteessa, jos näin ei kuitenkaan ole (jos kohde päätetään vasta tilanteen mukaan), voi ainakin lähtöpisteen ja ajan sekä jokaisen taukopaikan merkitsemällä saada hyödyllisen kuvan siitä, missä ajassa kulkeminen edistyy. Apuvälineenä GPS-laite on toki osittain kätevä, mutta haittapuoliakin toki löytyy useita. /11./

Yleensä paikannuslaite kulkee joko takin tai repun taskussa paitsi tilanteissa, joissa näkyvyys on nolla, kuten kulkeminen pilvessä tuntureilla. Silloin suunnistaminen on joka tapauksessa hidasta, joten GPS:ää kanniskelee kädessä mielellään. Samaten jos liikutaan alueella, jossa kallioiden rautapitoisuudet tekevät kompassista epäluotettavan. Myös kompassi otetaan maastossa esille harvoin, sillä pelkällä kartalla suunnistaminen on avotunturissa melko helppoa. Niinpä GPS:n kantaminen kompassin korvikkeena voi usein tuntua väkisin keksityltä idealta ja käytön varsinaiset edut on haettava muualta. /11/

Maastossa GPS ei koskaan voi korvata perinteistä kompassia siinä mielessä, että paikannuslaitetta ei todellakaan ole järkevää kantaa kädessä koko ajan päällä. Paristot kuluisivat loppuun jo ensimmäisien päivien aikana. Lisäksi paikallaan ollessaan GPS ei anna oikeaa tietoa esim. pohjoissuunnasta, mikä olisi karttasuunnistuksen apuvälineelle välttämätöntä.

Paikannuslaitteen kantaminen kädessä suljettuna ei myöskään ole kovin hyvä vaihtoehto, koska laitteen käynnistysaika on suhteellisen pitkä. GPS:ää ei vauhdissa voi noin vain vilkaista, vaan sitä varten joutuu hidastamaan tai pysähtymään, antamaan laitteelle käskyn, ja sen jälkeen kävelemään taas tovin, jotta laite saa suunnan laskettua. Hyvän kulkemisen rytmi ja nautinto menee vähemmästäkin sekaisin.

## 6.2 Veneilyssä

Veneessä normaalia "käsi-GPS:ää" voi käyttää kahdella aivan eri tavalla. Purje- ja matkavenekäyttö liittyy suunnistamiseen ja avovenekäyttö taas kalastuksessa tiettyjen paikkojen löytämiseen. Matkaveneessä ennalta paikantimeen syötetty reitti auttaa näkemään, onko merikartan perusteella tai ulkomuistista tehty reitinvalinta oikea.

Veneilijäkin voi ohjelmoida paikantimeen pienimuotoisia "varman päälle" ajoreittejä pitkiä siirtymisiä varten. Etu on sitä suurempi, mitä oudompia vedet ovat. GPS:n tehokäytössä tätä ominaisuutta voidaan hyödyntää todella pitkälle. Koko etelärannikon viitat ja väylät on naputeltu valmiiksi tietokoneelle, viitat reittipisteinä ja väylät reittiviivoina. Kun kalaretki suuntautuu esimerkiksi Saimaan alueelle, ladataan koneelle ennen lähtöä vain kyseisen alueen tiedot. Lopputuloksena on se, että laitteessa on heti kalastuksen alkaessa valmiina eräänlainen karttapohja alueen kulkukelpoisista reiteistä./11/

Koska matkaa tehdään avoimilla vesillä ja joskus myös pimeässä, erityistä huomiota tulee kiinnittää siihen, että valittuja reittipisteitä voidaan lähestyä turvallisesti molemmista kulkusuunnista. Reittipisteitä ei siis pidä ohjelmoida aivan karin tai viitan päälle, vaan "varman päälle", jolloin koko matka on helppo mennä vaikka umpisumussa. Paikkaa lähestytään GPS:n näyttöä tarkkaillen hyvin hitaasti myötätuuleen ja noin 40 m ennen oletettua huippua lasketaan ankkuri. Näin pakalla olevia kaloja ei häiritä. Mikäli koordinaatit pitävät kutinsa, pakan huippu on heitonkantaman päässä siitä, mihin vene pysähtyy. Mikäli taas eivät, joudutaan korkein kohta haravoimaan kaiulla. Korkein kohta kannattaa varsinkin laakeilla pakoilla merkitä kalastuksen ajaksi merkkikoholla, koska korjaamaton GPS ei pidä tarkkaa sijaintiaan. /11./

Jotta sumussa osattaisiin varmasti palata takaisin lähtörantaan, napataan lähtörannan koordinaatti muistiin heti, kun vene on vesillä. Pistettä ei silloin välttämättä tarvita edes nimetä, pelkkä paikantimen antama oletusnimi kelpaa. Sama helppo toimenpide tehdään ajomatkan aikana muutamassa käännekohtassa. Näin umpisuunnistus takaisin onnistuu paljon helpommin, kuin GPS:n arvoja koko ajan karttaan vertaamalla. /11./

Yhteistä monelle käyttötavalle on se, että tarvittavien reittipisteiden täytyy olla muistissa jo silloin, kun irrotaan rannasta. Retken aikana naputelluista pisteistä on harvoin etua samalla retkellä. Tästä syystä tehokkaan kalastuskäytön edellytykset ovat tietokoneohjainta ja karttaohjelmaa, jotka nopeuttavat oleellisesti pisteiden syöttämistä. /11./

### 6.3 GPS Autossa

Suurin etu on matkaan kuluvan ajan arvioiminen. Mikäli GPS:ään on laitettu päivän ajoreitti tai edes päätepiste valmiiksi, antaa laite minuutin tarkkuudella arvion perille tuloajasta nyky-suunnalla ja -nopeudella. Nykyaikaisissa paikannuslaitteissa on myös nopeusnäyttö, joka usein on paljon tarkempi, kuin auton oma mittari. Toinen käyttötapa on antaa paikantimen ilmoittaa tulevista tapahtumista, esim. risteykset, ohituspaikat, ruokapaikat, nopeusrajoitusten muuttumiset yms. kiintopisteet. Varoituksen voi joissain laitteissa kytkeä joko aika- tai matkapohjaiseksi, jolloin laite antaa halutessa äänimerkin joko minuuttia tai esim. kilometriä ennen tärkeää risteystä.

Paikantimesta saa myös tietoa siitä, milloin seuraava ohituskaista esimerkiksi alkaa. Tämä on kätevä toiminto, jolla vältetään usein turhia ja vaarallisiakin ohituksia. Sovellutuksia on toki olemassa paljon lisääkin ja niitä tulee koko ajan lisää kehittyvän tekniikan ansiosta. Yksi uusimmista sovelluksista on liikennekameroiden havaitseminen. GPS-laite ilmoittaa äänimerkillä, kun edessä on kameratolppa. Tämä sovellus kylläkin palvelee enimmäkseen ylinopeutta ajavia.

Suurin haitta autoilla on paikannuslaitteen yleensä heikkolaatuinen ja pienikokoinen näyttö, jonka antama tieto ei tärinässä erotu riittävästi. Tehokas käyttö vaatii jalustan, joka on kiinnitetty kojelautaan kuskin lähelle, erillisen ulkoisen antennin riittävän signaalin varmistamiseksi, sekä mielellään ulkoisen virransyötön tupakansytyttimestä.

## 6.4 Marjastajille ja metsästäjille

GPS-laite tuo varmuutta luonnossa liikkujalle, sillä eksymisen mahdollisuus pienenee huomattavasti. Metsässä liikkuminen on ilman minkäänlaisia apuvälineitä usein hyvinkin haastavaa ja reittivalintoja on vaikea tehdä ja juuri tähän GPS on hyvä apuväline.

Kuten aikaisemmissa luvuissa on esitettykin, on GPS-laite kuitenkin todellisuudessa aika vaativa laite. Käyttäjän tulee osata ensinnäkin tallentaa ainakin yksi reittipiste, lähtöpaikka. Sitä tallennettaessa tulee olla taivaalle esteetön näkyvyys. Sijainnin selvittäminen ei aina tapahdu nopeasti. Jos metsä on synkkä, voi varsinkin hiukan vanhempien laitteiden kanssa käydä niin, että se ei saa sijaintiaan selville lainkaan.

Yksi GPS-laitteen uusimmista käyttökohteista löytyy metsästyksen parista. Metsästäjien suosiossa varsinkin on nykyään koiratutka, joka mahdollistaa koiran paikantamisen ja sen liikkeen seuraamisen jopa kymmenien kilometrien säteellä. Tämä on tuonut joustavuutta ja nopeutta metsästyksen, eikä koiran häviämistäkään ole enää samanlaista huolta kuin ennen. Tämän kaltaisia koiratutkia käytetään toki nykyään jo ihan seurakoirillakin, jotta koiran karatessa se olisi helppo löytää. Koiratutkan käyttö on levinnyt pohjoismaissa räjähdysten lailla ja koiratutkia onkin tällä alueella käytössä jo yli 100 000 kappaletta ja määrä on koko ajan kasvussa./26/

## 7 YHTEENVETO

Vaikka järjestelmästä on saatu jo hyvin tarkka ja toimiva, on parantamiseenkin aina varaa ja uusia ominaisuuksia saadaan varmasti. Nykyään järjestelmä on vielä ilmaisessa käytössä, mutta tulevaisuus tuo varmasti tullessaan erilaiset järjestelmään liittyvät käyttömaksut. Järjestelmä on verrattavissa puhelinverkostoomme ja televisiolähetyksiimme, joista jo joudumme laitteen lisäksi maksamaan käyttömaksuja, miksi siis vastaavanlaista järjestelyä ei GPS-järjestelmään otettaisi käyttöön?

Nyky aikaisten laitteiden ensisijainen tarkoitus on nykyään vielä paikantaminen, mutta on olemassa jo laitteita mihin on yhdistetty muitakin ominaisuuksia. Esimerkkinä tällaisesta järjestelystä voisin ottaa PDA laitteen, joka on jo jonkin aikaa markkinoilla ollut tekniikkaa. PDA- laite eli kämmenmikro on nimensä mukaisesti kämmenen kokoinen laite jossa yhdistyvät niin tietokone, puhelin kuin paikannuslaittekin. Paikannuslaite ominaisuutta ei kämmenmikroissa vielä kauaa ole ollut, mutta ne ovat yleistymään päin. Nyky aikaista kämmen tiete konetta voi käyttää myös esimerkiksi kalenterina,



ääninauhurina ja musiikkisoittimena sähköpostin lukuun, WWW-selailuun ja muuhun Internetin käyttöön.

Käyttäjän kannalta useita positiivisia muutoksia on luvassa myös GPS-signaalia ajatellen. C/A-koodin tullaan lisäämään L2-taajuuteen lähivuosina, joka laskee todennäköisesti vastaanottimien hintoja vielä entisestään. Tähän saakka L2-signaalin havaitseminen on perustunut muutamaan patentein suojattuun tekniikkaan, joilla P-koodin salaus on voitu kiertää. Jatkossa L2-signaalia voidaan havaita yhtä helposti. Ainakin yhtä radikaali muutos on kolmannen taajuuden mukaan tulo.

## LÄHDELUETTELO

### Kirjat

- 1 Henttu Pekka & Lehtoranta Väinö 1993, GPS maailmanlaajuinen satelliittinavigointijärjestelmä, opas uuteen aikaan. Naviprop Oy
- 2 Poutanen Markku 1998, GPS-paikanmääritys. URSA. Karisto Oy: Hämeenlinna
- 3 Miettinen Samuli 2006, GPS käsikirja. Genimap. WS Bookwell Oy: Porvoo.
4. Miettinen Samuli 1998, GPS vie vaivatta perille. Kustannusosakeyhtiö Ajatus. Gummerus Kirjapaino Oy:Jyväskylä.
5. Oikarinen Pasi 2005, Navigate, oppikirja paikannuksesta. Kopijyvä
6. Krogars Marco & Olkkonen Petteri 1994, opi navigoimaan. Keski-Suomen ammattioppilaitos: Jyväskylä

### WWW-sivut

7. DIKITA [viitattu 27.6.2008] Saatavissa:  
[http://www.digita.fi/digita\\_dokumentti.asp?path=1840;3793;1973;9850;8340](http://www.digita.fi/digita_dokumentti.asp?path=1840;3793;1973;9850;8340)
8. Sapper Oy [viitattu 29.6.2008] Saatavissa:  
[http://www.elisanet.fi/master.navigator/Fi\\_InfoEGNOS\\_WAAS.htm](http://www.elisanet.fi/master.navigator/Fi_InfoEGNOS_WAAS.htm)
9. Maanmittauslaitos [viitattu 27.6.2008]  
Saatavissa: <http://www.maanmittauslaitos.fi/default.asp?id=929>
10. Virtuaali AMK [viitattu 31.7.2008] Saatavissa:  
<http://www.ncp.fi/koulutusohjelmat/metsa/PaikkatietoWWW/paikannus/gps4.html>
11. Eero Kukko, Petteri Mäki, Ville Viitaniemi 1998 [viitattu 3.7.2008] Saatavissa:  
<http://keskus.hut.fi/opetus/s38118/s98/htyo/8/>

12. SARINFO [viitattu 10.8.2008]  
Saatavissa: [http://www.sarinfo.bc.ca/GPS\\_satellite\\_world.jpg](http://www.sarinfo.bc.ca/GPS_satellite_world.jpg)
13. Karl H. Benz 1998 [viitattu 10.8.2008]  
Saatavissa: <http://www.karl.benz.nom.br/hce/satelite/glonass/glonass.jpg>
14. Oy Flinkenberg Ab [viitattu 10.8.2008]  
Saatavissa: <http://www.flinkenberg.fi/elektroniikka/komponentit/releet/tiedotteet/GPS.htm>
15. Airos, Korhonen, Pulkkinen. Puolustusvoimien Teknillinen Tutkimuslaitos [viitattu 10.8.2008]  
Saatavissa: <http://www.mil.fi/laitokset/pvtt/satelliittipaikannus.pdf>
16. Huhtinen, Riikonen, Trast, Viitala. Virtuaali AMK [viitattu 10.8.2008] Saatavissa:  
<http://www.ncp.fi/koulutusohjelmat/metsa/PaikkatietoWWW/paikannus/gps4.html>
17. Logan Scot, Earth link [viitattu 10.8.2008]  
Saatavissa: [http://home.earthlink.net/~loganscott53/FCC\\_comments/prn\\_1.gif](http://home.earthlink.net/~loganscott53/FCC_comments/prn_1.gif)
18. Huhtinen, Riikonen, Trast, Viitala. Virtuaali AMK [viitattu 10.8.2008] Saatavissa:  
<http://www.ncp.fi/koulutusohjelmat/metsa/Paikkatietowww/paikannus/kuvat/control2.gif>
19. VENE [viitattu 10.8.2008] Saatavissa:  
<http://www.venelehti.fi/veneet-ja-koneet/varusteet/magellan-explorist-500.aspx>
20. Marinea verkkokauppa [viitattu 10.8.2008]  
Saatavissa: [http://www.marinea.fi/shop/product\\_details.php?p=78](http://www.marinea.fi/shop/product_details.php?p=78).
21. Office of communication [viitattu 10.8.2008] Saatavissa:  
<http://www.ofcom.org.uk/static/archive/ra/topics/pbr/pbrnews/images1/dgps.jpg>
22. Wikipedia [viitattu 10.8.2008]  
Saatavissa: [http://fi.wikipedia.org/wiki/Kuva:Ionospheric\\_reflection.png](http://fi.wikipedia.org/wiki/Kuva:Ionospheric_reflection.png)
23. University of Colorado 2002 [viitattu 0.8.2008]  
Saatavissa: <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gif/goodbadg.gif>

24. Federal Aviation Administration [viitattu 10.8.2008] Saatavissa:

[http://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ato/service\\_units/techops/navservices/gnss/gps/controlsegments/](http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/gps/controlsegments/)

25. Pointer positioning solutions [viitattu 20.8.2008]

Saatavissa: <http://www.pointersolutions.com/fi/metsastys.htm>