

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tietotekniikan koulutusohjelma  
Tietoliikennetekniikka

Tutkintotyö

Pekka Perälä

## **MOBIILIPAIKANNUSMENETELMÄT JA -JÄRJESTELMÄT**

Tutkintotyö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi insinöörin tutkintoa varten Tampereella 12.4.2007.

Työn ohjaaja: yliopettaja Jorma Punju  
Tampere 2007

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Tietotekniikka

Tietoliikennetekniikka

Pekka Perälä

Tutkintotyö

Työn ohjaaja

Huhtikuu 2007

Hakusanat

Mobiilipaikannusmenetelmät ja -järjestelmät

44 sivua

Jorma Punju

Paikannuslaitteet, satelliittipaikannus, GSM-verkkopaikannus

## TIIVISTELMÄ

Tutkielman tavoitteena on esitellä eri paikannuslaitteita ja -menetelmiä. Tutkielmassa keskitytään tarkastelemaan sitä, mitkä laitteet ja menetelmät ovat nyt ja lähitulevaisuudessa kaikkein suosituimpia. Tällä hetkellä laitteista suosituimpia ovat ehdottomasti PNA-navigaattorit eli tutummalta nimeltään autonavigaattorit. Suositujen PNA-laitteiden rinnalle on tulossa joukko multimediapuhelimia, joissa on integroitu GPS. Näin ollen perinteisestä matkapuhelimesta on tulossa myös henkilökohtainen navigaattori.

GPS-satelliittijärjestelmä on jo kauan hallinnut paikannusta. Haastavat paikannusmenetelmät, kuten verkkopaikannus ja lähipaikannus, ovat vielä kehitysasteella. Lähinnä AGPS tulee olemaan seuraava menetelmä, joka varmasti yleistyy varsin nopeasti.

Tulevaisuudessa paikannusta käytettäneen entistä enemmän juuri henkilökohtaiseen navigointiin ja lähiopastukseen. Juuri nämä osa-alueet vaativat paikannukselta uusia ominaisuuksia. SUPL-tekniikalla toteutettu verkkopaikannus ei vaadi operaattoreilta suuria muutoksia matkapuhelinverkkoon, joten tekniikalta odotetaan suurta menestystä. Venäläisten Glonass on kuitenkin heräilemässä muutaman vuoden hiljaiselon jälkeen ja monikansallinen Galileo etenee viivästyksistä huolimatta. On mielenkiintoista nähdä, kuinka uudet satelliittijärjestelmät tulevat vaikuttavat satelliittipaikannukseen.

Tänä vuonna markkinoille tulevat Benefonin Twig, Nokian N95 ja 6110 Navigator ounastelevat, että matkapuhelinyhtiöt ovat lähdössä toden teolla mukaan paikannusjärjestelmien valmistajiksi. Toisaalta navigointi ja henkilökohtainen paikannus tulevat matkapuhelimien myötä olemaan osa päivittäistä toimintaa.

TAMPERE POLYTECHNIC  
Computer Systems Engineering  
Telecommunications Engineering  
Pekka Perälä  
Engineering Thesis  
Thesis Supervisor  
April 2007  
Keywords

Mobile location systems and methods  
44 pages  
Punju Jorma  
Location systems, location methods

## ABSTRACT

The goal of this thesis is to introduce different location systems and methods. The-  
sis is concentrating on that which systems and methods are now and in future the  
most popular systems and methods. At the moment the most popular devices are  
definitely PNA-navigators, so called car navigators.

GPS-satellite system has dominated location for a long time. Probably the next  
method to become general very quickly will be AGPS. After that other location  
systems, like network location and short distance location, will grow to second  
head location methods.

In the future location will be used more and more on personal navigation and near-  
by-location. These are the fields which will require new qualities for location.  
Network location done by SUPL-technic requires only small changes to operators'  
network so the huge success is waited for this technic. Russian Glonass and multi-  
national Galileo are going forward even though they have faced some problems. It  
will be interesting to see how these new satellite systems will effect on satellite lo-  
cation.

Benefon and Nokia have brought their own multimedia mobile phones with inte-  
grated GPS to market. It isn't a surprise that mobile phones are going to be also  
navigators because mobile phones are devices which users are carrying whole time  
with them. Future will show how these mobile navigators survive on the competi-  
tion with real navigators.

## ALKUSANAT

Idea tutkintotyön aiheesta sai alkunsa työskennellessäni Nokialla S60 Location tiimissä. Työskennellessäni paikannusmenetelmien ja -ohjelmiston testaajana sain hyvää käytännön kokemusta paikannuksen uusimmista tekniikoista ja järjestelmistä. Tästä alkoi ajatusten muokkaaminen tutkintotyöksi.

Tutkintotyön ohjaajana toimi yliopettaja Jorma Punju Tampereen ammattikorkeakoulusta. Haluan kiittää kaikkia S60 Location tiimin henkilöitä hyvistä keskusteluista ja kommentteista, erityisesti kiitän Test engineer Ari Alitaloa ja Projekt manager Jani Nietulaa.

Suurkiitokset tyttöystävälleni Soilelle tuesta ja kannustuksesta sekä opiskelun että tutkintotyöprojektin aikana.

Tampereella 12.4.2007

Pekka Perälä

# SISÄLLYSLUETTELO

|                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------|-----|
| TIIVISTELMÄ.....                                                       | i   |
| ABSTRACT .....                                                         | ii  |
| ALKUSANAT.....                                                         | iii |
| SISÄLLYSLUETTELO .....                                                 | iv  |
| KÄYTETYT LYHENTEET.....                                                | v   |
| <br>                                                                   |     |
| 1 JOHDANTO .....                                                       | 8   |
| 1.1 Historia .....                                                     | 8   |
| 1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset.....                           | 10  |
| <br>                                                                   |     |
| 2 PAIKANNUSJÄRJESTELMÄT .....                                          | 11  |
| 2.1 Integroidut paikannusjärjestelmät .....                            | 12  |
| 2.2 Mobiilipaikannusjärjestelmät .....                                 | 15  |
| 2.2.1 PNA-laitteet .....                                               | 16  |
| 2.2.2 PDA-navigointilaitteet.....                                      | 18  |
| 2.2.3 Navigointisovelluksella varustetut matkapuhelimet.....           | 19  |
| <br>                                                                   |     |
| 3 PAIKANNUSMENETELMÄT .....                                            | 21  |
| 3.1 Satelliittipaikannus .....                                         | 22  |
| 3.1.1 NavStar GPS.....                                                 | 23  |
| 3.1.2 Glonass .....                                                    | 24  |
| 3.1.3 Galileo .....                                                    | 25  |
| 3.1.4 Differentiaalinen GPS .....                                      | 27  |
| 3.1.5 Reaaliaikainen kinemaattinen GPS .....                           | 28  |
| 3.1.6 Avustettu GPS .....                                              | 28  |
| 3.2 GSM-verkkopaikannus.....                                           | 30  |
| 3.2.1 Solupaikannus (Cell Id).....                                     | 30  |
| 3.2.2 Saapumisaikapaikannus (TOA).....                                 | 32  |
| 3.2.3 Kulkuaikaeropaikannus (E-OTD).....                               | 33  |
| 3.2.4 Saapumisaikaeropaikannus (TDOA).....                             | 34  |
| 3.2.5 Edestakainen kulkuaika (RTT).....                                | 34  |
| 3.2.6 Havaittu saapumisaikaero tyhjillä periodeilla (OTDOA-IPDL) ..... | 35  |
| 3.3 Lähipaikannus.....                                                 | 36  |
| 3.3.1 Lähiverkkopaikannus .....                                        | 36  |
| 3.3.2 Bluetooth-paikannus.....                                         | 37  |
| <br>                                                                   |     |
| 4 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT .....                                        | 37  |
| <br>                                                                   |     |
| LÄHTEET .....                                                          | 42  |

## KÄYTETYT LYHENTEET

|            |                                                                          |
|------------|--------------------------------------------------------------------------|
| AGPS       | Assisted GPS                                                             |
| CI         | Cell Identification                                                      |
| CI+TA+Rx   | TA, Time Advance; Rx, Signal level                                       |
| DGPS       | Differential GPS                                                         |
| EGNOS      | European Geostationary Navigation Overlay Station                        |
| ESA        | European Space Agency                                                    |
| E-OTD      | Enhanced Observed Time Difference                                        |
| Glonass    | Global Navigation Satellite System                                       |
| GPRS       | General Packet Radio Service                                             |
| GPS        | Global Positioning System                                                |
| GSM        | Global System for Mobile Communications                                  |
| GTD        | Geometric Time Difference                                                |
| LMU        | Location Measurement Unit                                                |
| MSAS       | Multi-functional transport satellite Satellite-based Augmentation System |
| OMA        | Open Mobile Alliance                                                     |
| OTDOA-IPDL | Observed Time Difference of Arrival – Idle Period Down Link              |
| PDA        | Personal Digital Assistant                                               |
| PNA        | Personal Navigation Assistant                                            |
| POI        | Point Of Interest                                                        |
| RTD        | Real Time Difference                                                     |
| rtk-GPS    | Real Time Kinematic GPS                                                  |
| RTT        | Round Trip Time                                                          |
| SUPL       | Standard Secure User Plane Location                                      |
| TDOA       | Time Difference of Arrival                                               |

|                     |                                            |
|---------------------|--------------------------------------------|
| TFT                 | Thin Film Transistor                       |
| TMC                 | Traffic Message Channel                    |
| TOA                 | Time Of Arrival                            |
| Transit System NNSS | Navy Navigation Satellite Systems          |
| UTMS                | Universal Mobile Telecommunications System |
| WAAS                | Wide Area Augmentation System              |
| WLAN                | Wireless Local Area Network                |

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Historia

Tarve tiedostaa oma paikka on yksi ihmisen ja ihmiskunnan perustarpeista. Tarve tietää kulloinkin olinpaikka tuo ihmiselle turvallisuuden tunteen ja helpottaa liikkumista paikasta A paikkaan B. Varmasti jokainen on kokenut ainakin kerran eksymisen ihmeen ja kauhun. Kun oma sijainti tai kohteen sijainti ei ole enää tiedossa, tulee ihmisestä epävarma tai jopa paniikin oireita voi ilmentyä.

Oman sijainnin paikantaminen on käytännössä helppoa kuivalla mantereella. Paikan voi määrittää erilaisten maaston muotojen, järvien ja jokien avulla. Ihmiselle tulee mieleen kokonaiskuva, ns. karttakuva, omaan muistiin näistä maanpinnan piirteistä, jotka auttavat meitä liikkumaan paikasta toiseen. Kun liikumme merellä tai isolla järvellä, ei näitä maanpinnan piirteitä olekaan olemassa. Tarvitsemme apuvälineitä oman paikan määrittämiseen ja liikkumiseen paikasta toiseen.

Kreikkalainen Odysseus on ensimmäinen kirjallisuudessa esiintynyt ihminen, joka on käyttänyt tähtinavigointivälineitä. Homeroksen mukaan vuosikausia Odysseusta vankinaan pitänyt nymfi, Kalypso, neuvoi 15 vuoden pituiselle harharetkelle erehtynyttä ja kotiinsa pyrkivää Odysseusta yksinkertaisesti pitämään yöllä Otavan vasemmalla puolella ja jatkamaan purjehdusta aamun koitteessa kohti nousevaa auringkoa. Odysseuksen kotisaari oli siis jossain idän suunnassa. /5, s. 14./

Kaikille varmasti tutuimmat paikantamisen välineet ovat kartta ja kompassi. Kompassi on varmasti kaikkein vanhin navigoinnin apuväline, sitä käyttivät kiinalaiset jo noin 100 jKr. ja Eurooppaan se kulkeutui 1200-luvun aikoihin. Kartan perusidea on pysynyt melkein samanlaisena aikojen alusta. Toki karttojen tarkkuus ja laatu ovat parantuneet huomattavasti, kun paikannus- ja painomenetelmät sekä paperin laatu ovat parantuneet. Kuitenkaan kartan ja kompassin avulla ei voitu navigoida pitkiä merimatkoja, vaan muitakin navigoimisen apuvälineitä tarvittiin.

1700-luvulla keksittiin merkittävät navigointiapuvälineet sekstantti ja kronometri (kuva 1). Sir Isaac Newton keksi peilisekstantin, jota vielä nykyäänkin merimiehet käyttävät. Sekstantit olivat huomattavan tarkkoja laitteita, niillä saavutettiin jopa noin 300 metrin paikannustarkkuus latitudiasteikolla. /19./



**Kuva 1 Peilisekstantti /39/ ja kronometri /38/**

Kronometri on tarkka kello. Tarkan ajan määrittäminen on longitudin määrittämisen perusedellytys. Kronometrin keksijä oli John Harrison. Hän onnistui valmistamaan kronometrin, jonka tarkkuus oli 0,1 sekuntia vuorokaudessa. Sekstantin ja kronometrin avulla voidaan vielä nykyäänkin navigoida varsin tarkasti, jos vertailukohteeksi otetaan esimerkiksi nykyajan satelliitteihin perustuvat navigointilaitteet. /20./

Sekstantin ja kronometrin keksimisen jälkeen kului yli sata vuotta ennen kuin keksittiin korvaavia navigointijärjestelmiä. Radioaaltoihin perustuvaa suunnistusjärjestelmää alettiin suunnitella ja rakentaa pian sen jälkeen, kun Marconi oli lähettänyt ensimmäisen radiosanoman Atlantin yli vuonna 1908. Radioaaltoihin perustuvat järjestelmät lähettivät avaruuteen signaaleja, joiden perusteella vastaanotin laski etsittävän kohteen sijainnin. /5, s. 20./

Radioaaltoihin perustuvat suunnistusjärjestelmät Decca, Loran ja Consol ovat olleet tärkeimpiä paikannusjärjestelmiä sotalaivastolle ja -lentokoneille sekä sittemmin sodan jälkeen kaupallisille laivastoille ja lentokoneille. Nämä järjestelmät ovat hyperbolisia järjestelmiä. Hyperbolisille järjestelmille on yhteistä se, että niissä sijoittajaviiva on muodoltaan hyperbeli. Hyperbeli on eräänlainen käyrä viiva eli tarkemmin sanottuna niiden pisteiden ura, joiden kahdesta kiinteästä pisteestä mitattu-

jen etäisyyksien erotus on vakio. Hyperbolisissa navigaatiojärjestelmissä nämä kaksi kiinteätä pistettä ovat radiomajakkoita. Näiden etäisyyksien erotus muodostetaan joko pulssiperiaatteella mittaamalla kulkuaikojen eroa tai mittaamalla majakoiden signaalien keskinäistä vaihe-eroa. /8, 41 s./

Radiosuunnistusjärjestelmillä päästään suhteellisen tarkkaan paikan määrittämiseen radiomajakoiden peittoalueella. Ongelmana on, että peittoalueet ovat melko pieniä, joten maailmanlaajuisen paikannusjärjestelmän tekeminen olisi tullut kalliiksi ja jossain määrin myös mahdottomaksi toteuttaa suurien merialueiden takia. Tämän takia alettiin suunnitella korvaavia paikannusjärjestelmiä.

Koko maapallon peittävän järjestelmän toteuttaminen on mahdollista vain satelliittipaikannuksen avulla. Ensimmäinen satelliittinavigointijärjestelmä oli vuonna 1960 käynnistetty amerikkalainen Transit System NNSS (Navy Navigation Satellite System). Nimensä mukaisesti järjestelmä oli Yhdysvaltojen laivaston käytössä. Siviilien käyttöön järjestelmä tuli vuonna 1967. Transit-järjestelmä oli toteutettu vain viidellä hieman yli tuhannen kilometrin korkeudessa kiertävällä satelliitilla. Järjestelmän heikkoutena oli se, ettei sitä voitu käyttää reaaliaikaiseen paikannukseen eikä se toiminut kuin lyhyinä jaksoina osassa maapalloa. Paikannuksen tarkkuus kuitenkin oli 200 metrin luokkaa. /5, s.21./

Transit-paikannusjärjestelmän jälkeen on kehitetty useita muitakin satelliittipaikannusjärjestelmiä, kuten neuvostoliittolainen Tsikada vuonna 1976, ranskalainen Argos vuonna 1979 ja 1980-luvun alkupuolella käynnistetty maailmanlaajuinen pelastusjärjestelmä Sarsat-Cospas. Nykyiset satelliittijärjestelmät NavStar GPS, Glonass sekä Galileo edustavat nykyaikaisinta paikannusteknologiaa ja tarjoavat parhaimmillaan jopa yhden metrin paikannustarkkuuden. /5, s.21./

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset

Miksi GPS-paikannusjärjestelmät ovat vasta nyt tulleet niin suosituiksi? GPS-paikannusjärjestelmien hinnan halpeneminen, helppokäyttöisyys ja etenkin kartaston liittäminen osaksi järjestelmää ovat edistäneet järjestelmien yleistymistä. Toi-

saalta ihmisten liikkuvuus on lisääntynyt ja tätä kautta myös ”maailman pienentyminen” on tuottanut tarpeen sekä henkilökohtaiselle paikannukselle että suurien ihmisjoukkojen paikannukselle.

Tutkielman tavoitteena on esitellä eri paikannuslaitteita ja -menetelmiä. Paikannus on sinällään laaja alue, joten tutkielmassa keskitytään mobiilipaikannusjärjestelmiin ja -menetelmiin. Tutkielman tavoitteena on esitellä tarkasti karttatiedolla varustettuja mobiilipaikannuslaitteita. Juuri nämä henkilökohtaiseen paikannukseen tarkoitetut laitteet ovat lisänneet myyntiään valtavasti viime vuosina. Tutkielmassa toisena päätavoitteena on tutkia mobiilipaikannuslaitteiden yleisimpiä paikannusmenetelmiä, kuten satelliittipaikannus sekä verkkopaikannus. Tutkielman päätelmissä esitellään paikannuslaitteiden ja -menetelmien suurimpia haasteita ja niiden tulevaisuutta. Jotta tutkielmaan tulisi mahdollisimman kattava kuva paikannuksesta, käsitellään tutkielman alussa paikannuksen historiaa ja siihen liittyviä perusasioita.

## 2 PAIKANNUSJÄRJESTELMÄT

Puhuttaessa paikannusjärjestelmistä puhutaan käytännössä GPS-paikannuslaitteista, koska lähes kaikki paikannukseen liittyvät järjestelmät ovat juuri GPS-laitteita. GPS-järjestelmän omistaa Yhdysvaltojen puolustusministeriö, joka myös hallinnoi järjestelmää. Tästä syystä GPS:n yleistymisen on ollut melko hidasta, kunnes toukokuun ensimmäisenä päivänä vuonna 2000 Yhdysvaltojen puolustusministeriö poisti järjestelmän siviilipalvelusosan tahallisen heikentämisen. Sen jälkeen erilaiset paikannusjärjestelmät ovat yleistyneet todella paljon.

Paikannusjärjestelmät voidaan jakaa kahteen eri kategoriaan:

1. Integroituihin paikannusjärjestelmiin
2. Mobiilipaikannusjärjestelmiin.

## 2.1 Integroidut paikannusjärjestelmät

GPS-paikannuksen alkuaikoina paikannuslaitteet olivat niin kalliita (100 000 USD), ettei tavallisilla ihmisillä ollut niihin varaa. Lisäksi laitteet olivat siviilikäytössä epätarkkoja siviilipalvelusosan tahallisen heikentämisen vuoksi. Tämän takia GPS-järjestelmät olivat niin sanottuja integroituja järjestelmiä. Integroidut paikannusjärjestelmät ovat sanan mukaisesti integroituina toisiin järjestelmiin tai laitteisiin, joten integroidut paikannusjärjestelmät toimivat itsenäisesti (integroituna muuhun järjestelmään) tai kommunikoivat muiden järjestelmien kanssa. /4, s. 192./

Integroidut paikannusjärjestelmät ovat yleensä osa suurempaa paikannusjärjestelmä-kokonaisuutta. Esimerkiksi Hornet F18 -sotilaslentokoneessa käytetään GPS-paikannusta, mutta se ei yksinään anna tarpeeksi tarkkaa paikkatietoa. Hornetin paikannusjärjestelmään kuuluu myös muita mittausjärjestelmiä, kuten korkeus-, nopeus- ja tutkajärjestelmä (Kuvassa 2). Keskimmäinen näyttö toimii paikannusjärjestelmien yhteisnäyttönä.



Kuva 2 Hornet F-18:n ohjaamo /25/

Integroituja paikannusjärjestelmiä käytettiin ja käytetään edelleen sotateollisuuden kulkuneuvoissa, laivoissa ja lentokoneissa. Siviilipuolella Navstar-GPS alkoi yleistyä 1980-luvun puolessa välissä. Integroidut paikannusjärjestelmät tulivat ensin siviilipuolella laivoihin ja lentokoneisiin, minkä jälkeen paikannusjärjestelmät tulivat

jokaisen käyttäjän ulottuville henkilöautoihin ja muihin kuljetusajoneuvoihin. Autoteollisuudella on ollut siis todella merkittävä osa paikannusjärjestelmien yleistymisessä.

Autoteollisuuden keskeinen osa näkyy edelleen navigointimarkkinoilla, joilla jälkiasennettavia laitteita on jo todella paljon. Jokaiselta autoradionvalmistajalta löytyy valikoimasta myös autonavigointilaitte (kuva 3). Tuotekonsepti periytyy mobiiliviestintää edeltävältä ajalta ja on edelleen suljettu järjestelmä, joka käyttää kartta-, reitti- ja opastustietoja suoraan CD- tai DVD-levyltä. /6, s.17./



**Kuva 3 Blaupunktin CD-soitin- ja autonavigointilaitte /35/**

Autonavigointi on synnyttänyt digitaalisten tiekarttojen maailmanlaajuiset markkinat. Autoteollisuus hallitsee vahvasti GPS-ajoneuvopaikannuslaitteiden ja -suunnistuslaitteiden markkinoita. Sama taho on vahvasti mukana myös digitaalisten tiekarttojen valmistuksessa. Navigointilaitteiden tarvitsemia digitaalisia karttoja valmistetaan ensin niihin maihin, joissa autoteollisuudella on suuret markkinat ja autokanta on tiheä. Kartta-aineiston yksityiskohtaisuus-, virheettömyys- ja ajantasaisuusvaatimukset ovat niin kovat, että alalla on käytännössä vain kaksi tekijää: Tele Atlas ja NavTech. Suomessa navigointilaitteiden käyttöönottoa, kauppaa ja yleistymistä on haitannut se, ettei Suomesta ole ollut tarpeeksi tarkkoja digitaalisia karttoja. Vasta vuonna 2004 saatiin koko Suomesta navigoimiskelpoinen digitaalinen tiekartta.

Tyypillinen autoon kiinteästi integroitu navigointilaitte on joko oma itsenäinen, erillisellä karttanäytöllä oleva laitteisto tai sen toiminnot on integroitu osaksi autonvalmistajan omaa kojelaudassa olevaa CD-radiota tai DVD-radiota (kuva 3 ja 4).



**Kuva 4 Volvo S40:n integroitu autonavigointilaitte /24/**

Autonavigointilaitteissa kaikki karttatieto on CD- tai DVD-levyllä digitaalisessa muodossa. Navigoitaessa laitteen mittaustietoja verrataan karttapohjaan, kartta ja auton paikkatieto näytetään näytöllä. Käyttöliittymältään autonavigointisovellukset ovat nykyisin varsin kehittyneitä. Laitteeseen syötetään vain määränpää. Sen jälkeen laite laskee automaattisesti optimaalisen reitin kohteeseen. Navigoitaessa laite antaa kuljettajalle tarkat kääntymisohjeet visuaalisesti näyttöruudulla ja puheohjeina auton audiojärjestelmästä.

Autoon integroitu paikannus voi käyttää useita eri lähteitä paikannukseen. Paikkatieto tulee yleensä GPS-järjestelmästä. Mahdollisten GPS-satelliittien katvealueiden (esimerkiksi tunnelit ja parkkihallit) varalta integroiduissa järjestelmissä saatetaan olla elektroninen gyro, joka rekisteröi auton käännökset ja kaarrokset. Kuljetun matkan ja nopeuden mittaamiseen paikannusjärjestelmä voi käyttää auton omaa matkamittaria. Elektroninen gyro ja matkamittari ovat integroitujen järjestelmien erikoisominaisuuksia, joita ei voida käyttää esimerkiksi mobiilipaikannusjärjestelmissä. Nämä erikoisominaisuudet tekevät integroiduista autopaikannusjärjestelmistä tarkkoja huonoissakin oloissa. / 7. s. 87./

Hyvän luokan autonavigaatiojärjestelmä pystyy käyttämään liikennesuuhkista tai muista liikennetilanteisiin vaikuttavista tekijöistä kertovia TMC-viestejä (Traffic Message Channel). Autoradion RDS-toimintoihin kuuluvan TMC-kanavan kautta saada tietoa ruuhkista, tietöistä, onnettomuuksista tai muista navigoitavaan reittiin vaikuttavista tekijöistä. Laite voi tiedotteiden perusteella muuttaa reittiä ja näin voidaan aina saada tietoon optimaalisin reitti. TMC-palvelu on jo saatavilla useissa Euroopan maissa. Suomessa palvelu on käytössä E18-tiellä Turusta Helsingin kautta Vaalimaalle (tiet numero 1 ja 7). Näillä teillä voi siis vastaanottaa TMC-viestejä navigointireitiltä. /18./

Tulevaisuudessa auton kojelautaan integroidut navigointilaitteet vähenevät tai jopa kokonaan poistuvat mobiilipaikannuslaitteiden tieltä. Kannettavien päätelaitteiden todella huima kehitys on asettanut perinteiset autonavigaattorit kovaan kilpailutilanteeseen, jossa jo nyt perinteiset autonavigaattorit alkavat olla altavastajina.

## 2.2 Mobiilipaikannusjärjestelmät

Paikannustekniikan siviilisovellutusten nopeimmin kasvanut ja edelleen kasvava alue on henkilökohtainen navigointi (Personal Navigation; PNA). Henkilökohtaiset navigointilaitteet ovat kannettavia ja pienikokoisia, joten niitä voidaan käyttää lähes missä vain, retkeillessä, veneessä, autossa, kävellessä, lentäessä jne. Yleensä navigointilaitetta käytetään kuitenkin autonavigoinnissa. Autonavigointilaitteilla voidaan myös tarkoittaa edellä mainittuja integroituja navigaatiojärjestelmiä.

Kannettavat, henkilökohtaiset navigointilaitteet voidaan jakaa kolmeen pääryhmään:

1. PNA-laitteet (Personal Navigation)
2. PDA-navigointilaitteet (Personal Digital Assistant)
3. Navigointisovelluksella varustetut matkapuhelimet eli ns. kännykkänavigointi.

## 2.2.1 PNA-laitteet

PNA-laitteet eli ns. kannettavat navigointilaitteet yleistyvät lähivuosina valtavasti. PNA-laitteet on suunniteltu toimimaan ainoastaan navigointilaitteina ja niiden markkinaosuus on ylivoimaisesti suurin mihinkään muuhun navigointiryhmään verrattuna /1, s. 29/. PNA-laitteet voidaan karkeasti jakaa kahteen erilaiseen tyyppiin: henkilökohtaisiin navigointilaitteisiin ja autonavigaattoreihin.

Henkilökohtaiset paikannuslaitteet olivat ensimmäisiä siviilikäyttöön tarkoitettuja navigointilaitteita. Henkilökohtaiset paikannuslaitteet olivat pitkän aikaa laitteita, joilla voitiin määrittää vain geokoordinaatit, nopeus ja korkeus (Kuva 5).



Kuva 5 Garminin henkilökohtaiset navigaattorit eTrex /26/ ja GPSMAP 60CSx /29/

Navigointi näillä laitteilla tapahtui kahden tunnetun pisteen välillä eli käyttäjän tuli tietää kohdepisteen geokoordinaatit pystyäkseen navigoimaan kohteeseen. Digitaalisen karttamateriaalin lisääntyessä henkilökohtaisiin paikannuslaitteisiin tulivat värinäytöt ja karttamateriaali. Tämän jälkeen laitteita voitiin jo kutsua navigointilaitteiksi (kuva 5). Nykyaikaisiin navigointilaitteisiin voidaan asentaa joko tarkka maasto- tai merikartta, joten henkilökohtaiset navigointilaitteet ovat oiva apuväline luonnossa liikkujalle ja veneilijälle.

PNA-autonavigaattorit ovat saaneet runsaasti suosiota viime vuosina. Autoihin integroitavien navigointilaitteiden kallis hinta on edistänyt juuri PNA-autonavigointilaitteiden kehitystä ja myyntiä. Toisaalta digitaalisten karttojen puute

ja korkea hintataso hidastivat autonavigaattoreiden tuloa. Esimerkiksi koko Suomen kattava digitaalinen karttamateriaali saatiin vasta vuonna 2001, minkä jälkeen PNA-laitteiden suosio onkin lisääntynyt huimasti Suomessa. Ulkoisesti kevyennäköisestä kokoonpanosta huolimatta laitteisiin on onnistuttu kehittämään samoja toimintoja kuin moninkertaisesti kalliimpiin integroituihin autonavigointilaitteisiin. Autonavigointilaitteiden hankintahintakaan ei ole enää kallis. Tekniikan Maailma-lehdessä 20/2005 /10/ autonavigointilaitteiden hinnat olivat kaksinkertaisia verrattuna lehden 20/2006 vertailuun /11/, joten laitteiden hinnat ovat laskeneet jopa puoleen yhden vuoden aikana. Halvimmillaan laitteen voi saada jopa parilla sadalla eurolla. Pienen koon ja akkukäyttöisyyden ansiosta laitteet ovat helposti mukaan otettavissa, joten laitteet eivät ole vain autonavigaattoreita, vaan niitä voidaan käyttää myös henkilökohtaiseen navigointiin.



**Kuva 6 PNA-navigaattorit: TomTom One /33/ ja Garmin Nuvi 310 /27/**

PNA-autonavigointilaitteet ovat todella helppoja asentaa ja käyttää. Asennukseen riittää, että kiinnittää laitteen imukupilla auton tuulilasiin, liittää virtajohdon auton tupakansytyttimeen ja kytkee sen jälkeen virran päälle. Laitteen käyttäminen tapahtuu kosketusnäytön tai parin näppäimen avulla. Laitteiden käyttövalikot ja navigoinnin ääniohjeet ovat monella eri kielellä muun muassa suomen kielellä, joten laitteet ovat erittäin helppokäyttöisiä.

Toiminnoiltaan PNA-autonavigointilaitteet ovat samanlaisia kuin kiinteästi integroiduissa navigointijärjestelmissä. Parhaimmissa PNA-laitteissa saattaa olla jopa enemmän toimintoja, eli laitteet ovat enemmän kuin navigaattoreita. Laitteissa saattaa olla hands free -toiminto, joten laitteen voi liittää langattomasti Bluetooth-

yhteyden kautta puhelimeen ja hallita puheluita navigaattorin kosketusnäytöltä. Esimerkiksi TomTom ONE:ssa Bluetooth-yhteydellä siihen liitetty matkapuhelin puolestaan mahdollistaa yhteydenpidon tosiaikaisiin sää- ja ruuhkapalveluihin. Puhelimen avulla laitteeseen voi ladata matkalla tarvittaessa jopa lisäkarttoja. Turhilta sakoilta saattaa myös välttyä, koska laite osaa päivittää myös liikennekameroiden sijainnit puhelimen kautta. Laitteita on mahdollista käyttää myös mp3-soittimina. Laitteisiin voi ladata musiikkia tietokoneesta ja kuunnella sitä laitteiden omien kaiuttimien tai kuulokkeiden kautta. Samat laitteet toimivat tarvittaessa myös kuva-pankkina mukana olevalle digikameralle. Navigaattoriin voidaan tallentaa kameran muistikortilla kuvat ja katsella niitä laitteen näytöltä. Parhaimmilla navigaattoreilla voidaan jopa ottaa kuvia ja liittää ne laitteella olevaan karttaan. Näin voidaan luoda laitteen kartalle omia paikkoja. Tällaisia paikkoja sanotaan POI-kohteiksi (Point-Of-Interest). /11, s. 41–46./

Viime vuoden lopulla ilmestyneessä Tekniikan Maailma -lehdessä oli erittäin osuvasti kommentoitu uusimpia PNA-autonavigointilaitteita:

”On vaikea keksiä toista tekniikkaa, joka hyödyntäisi yhtä laajasti eri aloja kuin satelliittipaikannus. GPS auttaa autoilijaakin löytämään varmasti perille ja välttämään ruuhkia, jolloin turha ajaminen vähenee. Kun navigaattori ohjaa perille ilman viiveitä, ajankäyttö tehostuu, samalla kun bensiiniä ja ympäristöä säästyy” /11, s. 44./

### 2.2.2 PDA-navigointilaitteet

PDA-navigointilaitteet (Personal Digital Assistant) ovat taskutietokoneita, jotka on varustettu sisäänrakennetulla tai Bluetooth-yhteyden kautta toimivalla erillisellä GPS-vastaanottimella ja navigointiohjelmistolla. PDA-laitteet tarjoavat periaatteessa kaikki samat navigointitoiminnot ja -ominaisuudet kuin PNA-laitteetkin. Koska PDA-laitteet ovat taskutietokoneita, niihin voidaan asentaa muitakin ohjelmia kuin navigointitoiminnot. Siten niitä voidaan käyttää myös muuhun käyttöön kuin pelkkään navigointiin. Kokonsa puolesta PDA-laitteet on helppo ottaa mukaan, joten ne

toimivat paremmin henkilökohtaisina navigaattoreina kuin autonavigaattorit. /1, s. 29./

Suomessa PDA-laitteet ovat joutuneet ”väliin putoajan” asemaan. Laitteiden myynti ei ole ollut kovinkaan vilkasta. Siihen ovat saattaneet vaikuttaa PDA-laitteiden kallis hinta ja ”vähäiset” ominaisuudet, esimerkiksi perinteiset matkapuhelinominaisuudet puuttuvat kokonaan. Kyseessä on siis taskutietokone, joka ei kuitenkaan ominaisuuksiltaan vedä vertoja oikealle tietokoneelle eikä matkapuhelimille, joten kuluttajat ovat mieluummin ostaneet oikean tietokoneen ja matkapuhelimen.

### 2.2.3 Navigointisovelluksella varustetut matkapuhelimet

Kolmas kannettavien päätelaitteiden ryhmä ovat navigointisovelluksella varustetut matkapuhelimet eli niin sanottu kännykänavigointi. Markkinoilla on useita navigointiohjelmia, jotka toimivat Symbian Series 60, Series 80, Symbian UIQ ja/tai Windows Mobile -käyttöjärjestelmiä käyttävissä älypuhelimissa. Tällaisia älypuhelinmalleja löytyy jokaisen matkapuhelinvalmistajan mallistosta. Matkapuhelinohjelmistoja tekevät perinteisistä navigointilaitteista tutut valmistajat, kuten TomTom ja NavMan, mutta myös vain kännykänavigointiin erikoistuneita ohjelmiston toimittajia on, kuten maailmalla erittäin tunnettu suomalainen Navicore. /1, s. 29./

Matkapuhelimien navigointisovellukset ovat perustoiminnoiltaan ja -ominaisuuksiltaan PNA- ja PDA-laitteiden ohjelmistoa vastaavia. Sovellukset ovat toki suppeampia ja graafisesti heikompia kuin vain ja ainoastaan navigointiin tarkoitetuissa PNA-laitteissa, koska matkapuhelinten prosessori- ja muistikapasiteetti ei riitä suuren ohjelmiston sujuvaan suorittamiseen. Suurin ja merkittävin ero on käyttömukavuudessa. Matkapuhelimissa on pienet näytöt ja pienet käyttöpainikkeet verrattuna PNA-laitteen 73 mm × 53 mm:n TFT-kosketusnäyttöön, joten matkapuhelimen käyttöliittymä ei ole yhtä helppokäyttöisiä kuin parhaimmissa PNA-laitteissa. Sen lisäksi ongelmia aiheutuu virran kulumisesta. Yhteydenpito GPS-vastaanottimeen tai GPS-sirun päällä pitäminen kuluttaa akkua normaalikäyttöä selvästi enemmän, joten periaatteessa matkapuhelimen on hyvä olla kiinni laturissa autonavigoinnin ajan, kuten toisaalta myös PNA-laitteenkin.

Puhelimessa tulee ohjelmiston lisäksi olla Bluetooth-yhteyden kautta toimiva tai sisäänrakennettu GPS-vastaanotin. Navigointikäyttöön suunniteltuja ja sisäänrakennetulla GPS-vastaanottimella varustettuja matkapuhelimia ei Suomen markkinoilla tällä hetkellä ole muita kuin suomalainen Benefon Twig Discovery (kuva 7). Twig:ssä on valmiiksi asennettuna navigointiohjelmisto, joka sisältää kaikki tyypilliset autonavigointipalvelut, kuten puheella ja karttanäytöllä tapahtuvan reittiopastuksen sekä palvelupisteiden haun. Hätätilanteissa Twig toimii myös turvahälyttimenä. Puhelimessa on erityinen alert-hätänapppäin, jonka painallus avaa puheyhteyden ennalta määriteltyihin numeroihin. Sen lisäksi laite lähettää vastaanottajalle samalla senhetkisen paikan sijaintitiedot koordinaatteineen ja aikaleimoineen. Viestistä selviää, onko puhelin paikallaan vai liikkeessä ja mihin suuntaan se on menossa. Mikäli vastaanottajalla on samanlainen puhelin, hän näkee hätään joutuneen sijainnin suoraan omalta karttanäytöltään. Vastaanottaja pystyy tämän jälkeen helposti navigoimaan kohteeseen tai toimittamaan apua paikalle, eli Twig ei ole vain navigointipuhelin, vaan se on myös henkilökohtainen turvapuhelin. /12, s. 87./



**Kuva 7 Benefon Twig /34/ ja Nokia N95 /32/**

Vuoden 2007 alkupuoliskolla Nokia tuo markkinoille oman sisäänrakennetulla GPS-vastaanottimella ja karttaohjelmistolla varustetun N95 -matkapuhelimen (kuva 7). Puhelimessa on maailmanlaajuinen karttamateriaali, joka ladataan GPRS- tai WLAN-yhteyden avulla puhelimen muistikortille tai puhelimen muistiin. Uusi karttamateriaali on siis aina saatavilla, joten käyttäjät voivat ladata vain tarvittavan karttamateriaalin puhelimeensa. Sen vuoksi karttamateriaalin päivitys on mahdol-

lista tehdä milloin tahansa. Puhelimeen voidaan myös ostaa erityisiä kaupunkioppaita, joissa on kaupungeista tarkkaa tietoa ja POI-kohteita.

Matkapuhelimien tulemista navigointikäyttöön voidaan pitää melkein selviönä. Lähes kaikilla ihmisillä Suomessa on jo matkapuhelin. Osalla on jopa puhelin, jossa on kamera, musiikkisoitin ja Internet-selain. Siten on ollut vain ajan kysymys, milloin matkapuhelimeen tulee myös navigointiominaisuus ja sisäänrakennettu GPS.

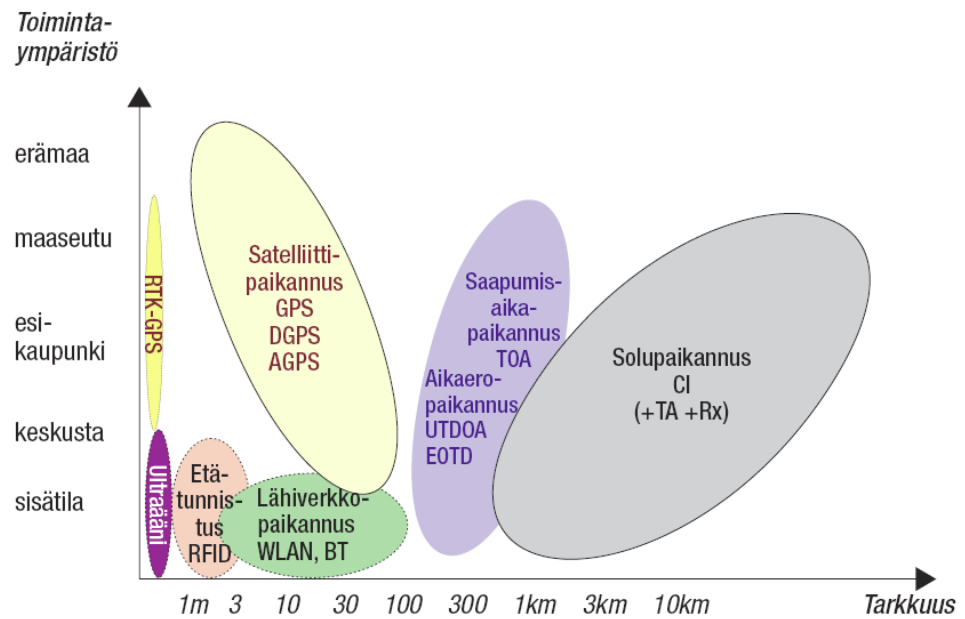
### 3 PAIKANNUSMENETELMÄT

Paikannusmenetelmät perustuvat yleensä signaalin kulkuajan mittaamiseen, jonka avulla voidaan määrittää kohteen etäisyys. Signaali on tyypillisesti radiolähete, joka etenee valon nopeudella ja heijastelee rakenteista. Paikan määrittämisen tarkkuuteen vaikuttaa se, kuinka tarkasti voimme mitata aikaa ja signaalia.

Paikannuksen menetelmät voidaan jakaa kolmeen pääryhmään:

1. Satelliittipaikannus
2. Verkkopaikannus
3. Lähipaikannus

Satelliitti- ja verkkopaikannus ovat kilpailevia paikannusmenetelmiä. Niiden tarkkuus, luotettavuus ja käytettävyys paranevat uusien menetelmien myötä (kuva 8). Verkkopaikannus tekee vasta tuloaan markkinoille. Suuret matkapuhelinten käyttäjämäärät houkuttelevat matkapuhelinoperaattoreita tarjoamaan lisäpalveluna paikkatietoa ja paikannukseen liittyviä mobiilipalveluja. Satelliittipaikannuksen tarkka paikkatieto on satelliittipohjaisten menetelmien etu. Sen sijaan ongelmat virran kulutuksessa, paikan laskemisen hitaus ja paikannuksen toimimattomuus sisätiloissa ovat isoja kompastuskiviä satelliittipohjaisissa järjestelmissä. /6, s. 4-5./



Kuva 8 Paikannusmenetelmien toimintaympäristö ja tarkkuus /36/

Oma lukunsa ovat tulevaisuuden lähipaikannusmenetelmät (kuva 8), joita ovat lähiverkot ja muut lyhyen kantaman radiotekniikat. Lähipaikannusmenetelmät voivat muodostua merkittäviksi paikannusmenetelmiksi mm. sisätiloissa, suurkaupungeissa, metroissa ja logistiikassa.

### 3.1 Satelliittipaikannus

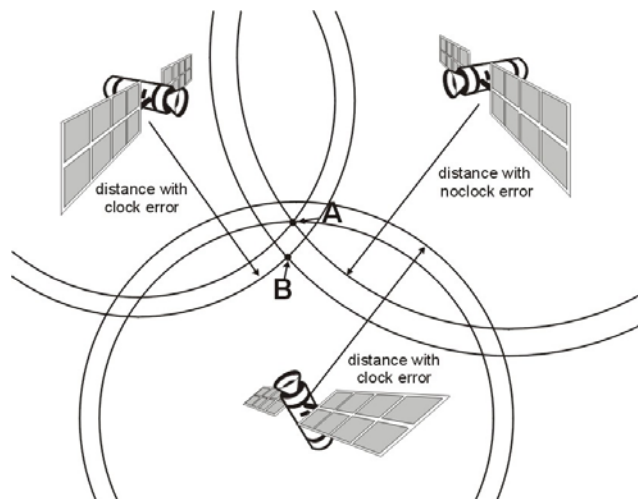
Satelliittipaikannus perustuu sijainnin ja nopeuden laskemiseen paikannussatelliittien lähettämien signaalien avulla. Amerikkalaisten NavStar GPS -järjestelmän ja Venäläisten Glonass-järjestelmän rinnalle on tulossa eurooppalainen Galileo-järjestelmä.

Satelliittipaikannus voidaan luokitella seuraaviin menetelmiin:

1. Satelliittipaikannus (NavStar GPS, Glonass ja Galileo)
2. Differentiaalinen GPS, (DGPS, Differential GPS)
3. Reaaliaikainen kinemaattinen GPS (RTK GPS, Real Time Kinematic GPS)
4. Avusteinen GPS-paikannus (AGPS, Assisted Global Positioning System)

### 3.1.1 NavStar GPS

Yhdysvaltojen puolustushallinnon isännöimään GPS-järjestelmään kuuluu vähintään 24 satelliittia, jotka kiertävät maata noin 20 000 kilometrin korkeudella ja  $55^\circ$ :een kaltevuuskulmassa olevalla radalla päiväntasaajaan nähden. Ratojen sanotaan olevan geosynkronisia, kun kukin satelliiteista kiertää maapallon kaksi kertaa vuorokaudessa. Tällä sijoittelulla on saavutettu pari merkittävää etua. Ensinnäkin maapallon ympärille on saatu peittävä verkko, esimerkiksi Suomen horisontin yläpuolella on satelliitteja säännöllisesti vähintään 7-8, joskus jopa 10 kappaletta. Jotta henkilön paikka pystyttäisiin määrittämään, on kyettävä vastaanottamaan vähintään kolmen satelliitin signaalia (kuva 9). Tämä tarkoittaa periaatteessa sitä, että esteetöntä taivasta tulisi koko ajan olla noin 60 prosenttia. /5, s. 27–28./



Kuva 9 GPS-paikannus kolmella satelliitilla /28/

Paikan laskemiseen tarvitaan kaksi tietoa, satelliitin ratatieto ja tarkka aika. Paikannus perustuu siis satelliittien tarkkojen kellojen aikamerkkeihin ja ratatietoihin, jotka lasketaan maassa sijaitsevilla asemilla (keskusvalvomo sijaitsee Yhdysvalloissa Colorado Springsissä, tarkkailuasemat ovat Havaijilla, Colorado Springsissä, Kwajaleinilla Tyynellä Valtamerellä, Diego Carciassa Intian Valtamerellä sekä Ascensionissa Atlantilla). /5, s. 27–28./

Satelliittisignaaleissa olevat rata- ja aikatiedot ovat varsin hitaasti vastaanotettavissa, vain 50 bittiä sekunnissa pystytään ottamaan vastaan. Hidas ja heikko signaali lisätynä satelliittien liikkeen aiheuttamalla doppler-ilmiöllä vaatii laitteistolta hyvää se-

lektiivisyyttä ennen kuin signaalin vastaanotto on edes mahdollista. Paikannuksen käynnistymisen nopeuteen vaikuttaa etenkin ratatietojen vastaanotto, joka kestää hyvissä olosuhteissakin jopa 20 sekuntia. Tämän jälkeen sijainti lasketaan tyypillisesti kerran sekunnissa. Mikäli vastaanotossa tapahtuu virhe tai katkos ratatietojen vastaanoton aikana, on aloitettava uusi 20 sekunnin vastaanotto. Ratatietoja ei tarvitse päivittää jokaisella kerralla, vaan sama ratatieto on käyttökelpoista muutaman tunnin. Tämän takia paikannus käynnistyy entistä nopeammin, vaikka laite olisi ollut välillä suljettuna. Kun laitteella on ratatieto käytettävissä, saadaan aikatieto signaaliin koodatusta kuuden sekunnin aikakehyksestä. Paikannuksen käynnistyminen kestää siis vähintään tämän kuusi sekuntia. Jos laitteessa on jo rata- sekä aikatieto millisekunnin tarkkuudella, signaalin vastaanotto voidaan aloittaa välittömästi. /6, s. 9./

Keväällä 2000 tulleiden hätäpuhelujen paikannusvaatimusten vuoksi Yhdysvaltojen puolustushallinto poisti häirinnän siviilikäyttöön saatavilla olevasta signaalista, joten paikannustarkkuus parani sen ansiosta huomattavasti. Nykyisin paikannustarkkuus on noin kymmenen metriä, tarkkuuteen vaikuttaa ilmakehän epähomogeenisuus, joka aiheuttaa muutaman metrin epätarkkuutta. Kaupunkiooloissa suurin tarkkuutta heikentävä syy ovat korkeat rakennukset, jotka aiheuttavat katvealueita ja heijastuksia. Rakennukset heikentävät epätarkkuuden jopa 20metristä 100 metriin.

### 3.1.2 Glonass

Glonass (Global Navigation Satellite System) on amerikkalaisten GPS-järjestelmää vastaava venäläinen satelliittipaikannusjärjestelmä. Glonass-järjestelmän suunnittelu ja rakentaminen aloitettiin vuonna 1982 silloisessa Neuvostoliitossa. Alkuperäisessä suunnitelmassa oli GPS:n tavoin 24 satelliittia kolmella eri ratatasolla. Glonassin toimintaperiaate oli niin samanlainen kuin GPS-järjestelmässä, että 1980-luvulla Yhdysvaltojen puolustushallinto järjesti tutkimuksen siitä, onko Neuvostoliitto vakoillut heidän GPS-järjestelmänsä. Vakoilusta ei kuitenkaan löydetty tarpeeksi näyttöä. Glonassin ilmoitettiin olevan alustavassa toimintavalmiudessa syksyllä 1993, joten GPS-järjestelmään verrattuna Glonass on varsin uusi järjestelmä.

Vuoden 2006 syksyllä Venäjä laukaisi viimeiset paikannussatelliitit ja sai viimein järjestelmän toimintakuntoon. Järjestelmän toimintakuntoon saamista viivästi se, että ensimmäisten satelliittien toiminta-aika oli vain yksi vuosi. Nykyisten satelliittien toiminta-aika on 5 – 7 vuotta, mikä on kuitenkin selvästi vähemmän kuin GPS-järjestelmässä. /22./

Järjestelmä kostuu 21 Glonass-satelliitista ja kolmesta varasatelliitista. Satelliitit kiertävät maata yli 19 000 kilometrin korkeudella ja käyttävät kolmea eri kiertorataa. Satelliittien inkliinaatiokulma on 64,8 astetta ja kiertoaika 11 tuntia 15 minuuttia, joten joka puolella maailmaa näkyvissä on aina vähintään viisi satelliittia. Kolmella kiertoradalla ja suuremmalla inkliinaation kulmalla Glonass saavuttaa paremman kattavuuden lähellä napoja verrattuna GPS-järjestelmään. Toisaalta päiväntasaajan tasolla satelliitteja on taas vähemmän kuin GPS-järjestelmässä. /5, s. 40./

Vuoden 2007 tammikuussa Venäjän puolustusministeri Sergei Ivanov ilmoitti poistavansa kaikki Glonassin tarkkuusrajoitukset ja ilmaisi Venäjän kiinnostuksen järjestelmän kaupalliseen käyttöön. Tästä syystä paikannustarkkuus parani samaan kuin GPS-järjestelmässä, kun tarkkuus aiemmin oli rajattu 30 metriin. Tällä hetkellä järjestelmään kuuluu 17 satelliittia. 18 satelliitilla paikannus voidaan tehdä kattavasti kaikkialla Venäjällä ja 24 satelliitilla globaalisti. Kaikki 24 satelliittia on tarkoitus saada radalleen vuoteen 2009 mennessä, jolloin Glonassin globaali käyttö on mahdollista. Markkinoilla on jo nyt yhdistelmä vastaanottimia, jotka pystyvät hyödyntämään molempien järjestelmien satelliitteja. /16./

### 3.1.3 Galileo

Euroopan komissio yhdessä jäsenvaltioidensa kanssa ja Euroopan Avaruusjärjestö (ESA) ilmoittivat vuonna 1999 uuden eurooppalaisen satelliittipaikannusjärjestelmän toteuttamisesta. Ensimmäisenä ei-eurooppalaisena maana hankkeeseen liittyi Kiina vuonna 2003. Sen jälkeen hankkeeseen ovat liittyneet Israel, Ukraina, Intia, Marokko, Saudi-Arabia ja Etelä-Korea. Argentiina, Australia, Brasilia, Kanada, Chile, Japani, Malesia, Mexico, Norja, Pakistan ja Venäjä ovat ilmoittaneet mie-

lenkiintonsa osallistua hankkeeseen. Galileo onkin kasvanut ajan myötä kansainväliseksi hankkeeksi. /23./

Valmiiseen Galileo-paikannusjärjestelmään kuuluu 30 satelliittia, joista kolme satelliittia on avaruudessa rikkoutumisen varalta. Satelliitit kulkevat 23 616 kilometrin korkeudella, 56°:een inkliinaatiokulmassa päiväntasaajaan nähden. Näillä radoilla saadaan hieman GPS-järjestelmää kattavampi peittoalue. Näin ollen Galileo kattaa koko asutun maapallon pinta-alan. Galileo-järjestelmän ensimmäinen koesatelliitti laukaistiin 28. joulukuuta 2005. Laukaisulla taattiin Galileon radiotaajuusvarauksen voimassaolon jatkuminen. Toisen koesatelliitin laukaisu on suunniteltu tehtävän vuoden 2007 loppupuoliskolla. Täysi operatiivinen toiminta oli tarkoitus saavuttaa vuoteen 2008 mennessä, mutta valmistuminen viivästyy ainakin vuoteen 2010 asti. /15./

Galileo-järjestelmä on alusta asti suunniteltu siviilikäyttöön ja on siviiliviranomaisten hallinnoima. Järjestelmä tulee tarjoamaan kaksi rinnakkaista koodia, jolloin tarkkuus paranee GPS- ja Glonass-järjestelmään nähden. GPS- ja Glonass-järjestelmät ovat myös kahden rinnakkaiskoodin järjestelmiä, mutta ne ovat olleet vain sotilaskäytössä. Maksullisena palveluna Galileo tulee tarjoamaan paikannukseen laatupalvelua, jonka avulla järjestelmä tulee muun muassa varoittamaan käyttäjiään mahdollisista toimintahäiriöistä. Avoin paikannuspalvelu on maksutta kaikkien käytettävissä. Paikannustarkkuus on samaa luokkaa kuin muissa paikannusjärjestelmissä (5–20 metriä). Kaupallisesti tarjotun korjaussignaalin kanssa saavutetaan jopa 0,1–10 metrin tarkkuus. GPS- ja Glonass-järjestelmällä näin tarkka paikkatieto on ollut käytettävissä vain sotilastarkoitukseen. Viranomaiskäyttöön rajoitetussa palvelussa tarkkuus on 1–6 metriä ja järjestelmään kuuluvat pelastuspalvelua tukevat erikoislähettimet. /6, s. 12./

Galileon ja GPS-järjestelmän yhteneväisyydet ovat huomattavia. Voidaan jopa sanoa, että järjestelmät ovat toistensa varajärjestelmiä. Taajuudet ovat lähellä toisiaan, joten tulevaisuudessa on paljon sellaisia paikannuslaitteita, joilla voidaan vastaanottaa signaalia molempien järjestelmien satelliiteilta. Mitä useampia satelliitteja voidaan samanaikaisesti käyttää, sitä parempaa ja luotettavampaa paikkatietoa saadaan, joten tästä hyötyvät niin GPS- kuin Galileo-järjestelmän käyttäjät.

Vaikka Galileo ei ole vielä lähelläkään toimintavalmiutta, niin kanadalainen SiGe Semiconductor ja sveitsiläinen U-blox tarjoavat ensimmäisinä vastaanottopiirejä, jotka tukevat Galileoa. Vastaanottimet ovat ohjelmistopohjaisia, joten niiden avulla voidaan suunnitella Galileo-laitteita, vaikka järjestelmän standardit ja määitykset muuttuisivatkin. Alkuvaiheessa U-blox 5 -piirit tukevat vain GPS-signaalin vastaanottoa. Jatkossa piirit voidaan päivittää ohjelmistopäivityksellä vastaanottamaan myös Galileo-signaalia, joten signaalin vastaanotto onnistuu joko Galileo- tai GPS-satelliiteilta. /2, s. 87./

### 3.1.4 Differentiaallinen GPS

Differentiaalisessa satelliittipaikannuksessa (DGPS, Differential GPS) tarkkuutta on voitu parantaa maanpäällisten mittausasemien tuottamien korjaustietojen reaaliaikaisella välityksellä. Korjaustiedoilla voidaan eliminoida ilmakehän aiheuttama vääristymä. Menetelmällä päästään hyvissä olosuhteissa noin kahden metrin tarkkuuteen, mutta järjestelmä ei kuitenkaan poista heijastumisen aiheuttamaa vääristymää esimerkiksi kaupungeissa. Korjaustietoa tukevia GPS-vastaanottimia on kuitenkin varsin vähän. Korjaustiedot lähetetään paikallisesti radioteitse käyttäen FM-taajuuksia tai merenkulun radiotaajuuksia. Paikallisissa GPS-mittauksissa korjaustieto voidaan toimittaa tilapäisesti rakennetuilla GPS-transpondereilla, jotka lähettävät korjaustietoa mittaavan yksikön käyttöön (nykyisin rtk-GPS). /6, s. 10./

Korjaustieto voidaan toimittaa vastaanottimiin myös vaihtoehtoista reittiä laajakoilla alueilla. Lähetys tapahtuu paikoillaan olevien satelliittien kautta. Kehitteillä olevat järjestelmät ovat:

- Pohjois-Amerikassa WAAS (Wide Area Augmentation System)
- Japanissa MSAS (Multi-functional transport satellite Satellite-based Augmentation System)
- Euroopassa EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System)

Satelliittien kuuluvuus on kuitenkin ongelmallista pohjoisilla leveysasteilla, joten korjaustiedon välitys ei näillä alueilla onnistu. Korjaustiedon välittäminen IP-

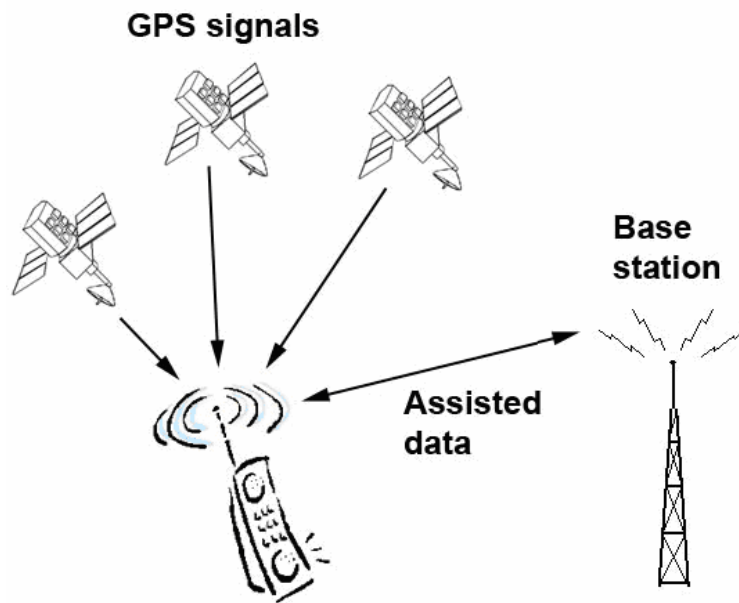
verkon välityksellä mobiilisti on kuitenkin mahdollista myös näille alueille. Tämä tekniikka on kuitenkin vasta tutkimusasteella. /6, s. 10./

### 3.1.5 Reaaliaikainen kinemaattinen GPS

Nykyaikaisessa maanmittauksessa ja muussa ammattimaisessa paikannuksessa käytetään rtk-GPS-paikannusmenetelmää (Real Time Kinematic). Maanmittauksessa tarvitaan erittäin tarkkaa paikkatietoa. Tarkka paikkatieto toteutetaan laitteistolla, jossa yksi mittausyksikkö on tarkasti tunnetulla pisteellä. Tämän pisteen avulla tehdään mittauksia lähiympäristössä muutaman kilometrin säteellä. Mittauksiin tarvitaan vähintään viiden satelliitin tiedot ja minuutin kestävä mittausaika. Näin saadaan määritettyä paikka parin senttimetrin tarkkuudella. /6, s. 11./

### 3.1.6 Avustettu GPS

Satelliittipaikannuksen suurin heikkous on se, että laitteella tulee olla yhteys satelliitteihin koko ajan eli laitteet tarvitsevat avointa taivasta nähdäkseen satelliitit. Kaupunkiloissa ja sisätiloissa ei kuitenkaan ole mahdollista saada hyvää signaalia joka paikassa. Sen vuoksi laitteiden tulisi olla jatkuvasti päällä vastaanottaakseen signaalia. Tämä kuitenkin kuluttaa kannettavan laitteen akun varsin nopeasti. Jos laite suljetaan, joudutaan paikka laskemaan joka käynnistyksessä uudelleen. Matkapuhelinverkon kautta toteutettu avustettu GPS (AGPS, Assisted GPS), auttaa juuri ensimmäisen GPS-tiedon saannin hitauteen ja heikkoihin satelliittisignaaleihin liittyviin ongelmiin. Menetelmä edellyttää GPS-vastaanottimen ja matkaviestimen yhdistämistä tai ainakin yhteistoimintaa (kuva 10).



Kuva 10 AGPS järjestelmän toiminta /37/

AGPS-standardien mukaan sijainti voidaan laskea vaihtoehtoisesti päätelaitteessa tai verkon puolella palvelimella. Päätelaitteessa tapahtuvassa laskennassa verkko välittää avustedatua päätelaitteeseen, jonka jälkeen päätelaite laskee paikkatiedon kuin normaalissa satelliittipaikannuksessa. Matkapuhelinverkko lähettää standardien mukaisesti solulähetyksenä satelliittien ratatiedot ja optiona korjaustiedot. Vaihtoehtoisesti AGPS-paikannus toteutetaan niin, että päätelaite lähettää matkapuhelinverkossa olevalle paikannuspalvelimelle satelliiteilta vastaanotetut tiedot ja laskenta tapahtuu palvelimella. Tämän jälkeen tieto lähetetään takaisin päätelaitteeseen. Tämä menetelmä on käytössä Japanissa ja Yhdysvalloissa. /6, s. 11./

AGPS-menetelmästä on ennustettu tulevan seuraava suuri menestys juuri mobiilipaikannuksessa. Matkapuhelimiin integroitu GPS-piiri ja GPRS-yhteys tekevät matkapuhelimesta AGPS-laitteen. Matkapuhelinverkon piirissä on avustetietoa välitetty pienimuotoisesti tekstiviestien avulla, mutta GPRS-yhteyteen ja SUPL-standardiin (Standard Secure User Plane Location) perustuva AGPS tulee olemaan tulevaisuudessa jokaisessa integroidulla GPS-piirillä varustetussa matkapuhelimesa. /14./

## 3.2 GSM-verkkopaikannus

Matkapuhelinverkkoa ei ole suunniteltu paikannuspalvelua varten. Matkapuhelinverkko kuitenkin ylläpitää paikannustietoa jatkuvasti tukiaseman tarkkuudella puhelimen ollessa auki ja solun tarkkuudella puhelun ollessa kytkettynä. Paikannus voidaan toteuttaa myös ilman, että yhteys on jatkuvasti päällä. Tekstiviestillä tai GPRS-yhteyden avulla toteutettu paikannus vaatii kuitenkin paikannuspalvelimen. Verkkopaikannuksen heikkous liittyy kapasiteetin rajoitukseen, koska matkapuhelimen jatkuva seuranta vaatii merkittävästi resursseja. Käytännössä kaupallisena palveluna jatkuva paikannus on mahdotonta toteuttaa, joten verkkopaikannus on yksittäisiä paikkapyyntöjä toteuttava menetelmä. Verkkopaikannuksen suurin etu satelliittipaikannukseen verrattuna on, että matkapuhelimia on jo melkein jokaisella. Tästä syystä paikannuspalvelun käyttöönotto ei vaadi käyttäjältä suurta rahallista panostusta.

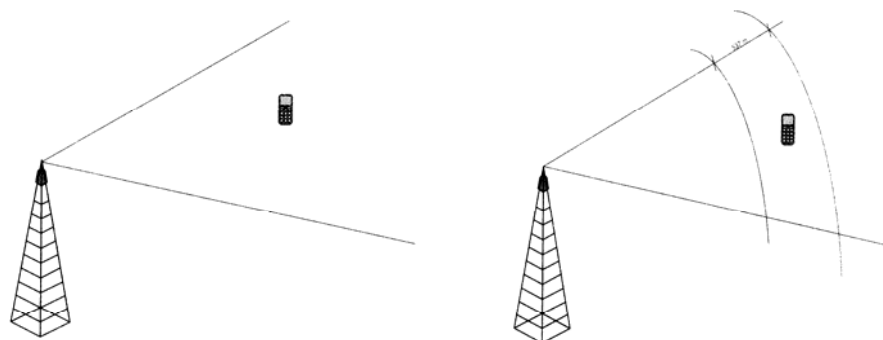
Verkkopaikannustekniikoita on useita. Amerikassa, Euroopassa ja Japanissa on eri taajuudella ja tekniikalla toimivat matkapuhelinverkot, joten myös verkkopaikannustekniikoissa on eroja eri maanosissa. Yleisimmin esiintyvät verkkopaikannusmenetelmät ovat:

- Solupaikannus (CI, Cell Identification )
- Solupaikannus täydennettynä ajastusennakko- ja signaalin voimakkuustiedoilla (CI+TA+Rx; TA, Time Advance; Rx, signal level)
- Saapumisaikapaikannus (TOA, Time of Arrival)
- Kulku aikaeropaikannus (E-OTD, Enhanced Observed Time Difference)
- Saapumisaikaeropaikannus (TDOA, Time Difference of Arrival)

### 3.2.1 Solupaikannus (Cell Id)

Matkapuhelinverkko perustuu siihen, että verkon peittoalue on jaettu soluihin. Solut muodostetaan tukiasemista. Jokaisella solulla on omat tiedot siitä, missä se sijaitsee ja minkä kokoinen se on. Matkapuhelinverkolla on koko ajan tieto matkapuhelimen sijainnista, kun tehdään puhelu, lähetetään tekstiviesti tai muodostetaan

GPRS-yhteys. Näissä toiminnoissa valitaan voimakkain tukiasema yhteyden muodostamiseen. Muodostettaessa yhteyttä tukiasemaan voidaan samalla määrittää myös matkapuhelimen sijainti. Matkapuhelimen paikkatieto muodostuu siten, että tiedetään tarkasti tukiaseman sijaintikoordinaatit ja myös solun muodostamiseksi tarvittavan lähettimen antennin asento (kuva 11), jonka perusteella saadaan selville signaalin lähtö- ja tulokulma (kulmat menevät yleensä 120, 90 tai 60 asteen välein). Näiden avulla saadaan selville, missä solu sijaitsee ja mikä on solun koko. Paikan tarkkuus on varsin epätarkka, sillä solujen koko voi olla muutamasta sadasta metristä 35 kilometriin, mikä on solun maksimipituus. Paikka voidaan laskea hyvin monella eri tavalla, mutta yleisesti paikan laskentaan käytetään solun laskennallisen pinta-alan painopistettä, joka muodostuu solun keskelle. Näin ollen paikannustarkkuus on suoraan verrannollinen solun kokoon. Kaupunkialueella pienissä mikro-soluissa päästään kohtuulliseen tarkkuuteen (noin 200 metriä). Maaseudulla tarkkuus puolestaan on todella huono, koska solujen koot ovat suuria (noin 35 kilometriä). /4, s. 203-204./



**Kuva 11 Solupaikannus (Cell Id) ja solupaikannus ajastusennakolla (Cell Id + TA) /31/**

Solupaikannuksen tarkkuutta voidaan parantaa käyttämällä ajastusennakkoa (TA, Time Advance). Ajastusennakolla voidaan määrittää kuinka kauan signaali käyttää aikaa matkapuhelimen ja tukiaseman välillä. Tämän avulla voidaan laskea kuinka kaukana matkapuhelin on tukiasemasta. Yhdistämällä ajastusennakon avulla laskettu etäisyys ja solun tieto voidaan oletettu paikka rajata huomattavasti pienemmälle alueelle. Paikan laskenta perustuu siihen, että tiedetään tukiaseman koordinaatit, solun alku- ja loppukulma sekä ajastusennakon perusteella laskettu sisempi ja ulompi kehä (kuva 11). Näiden avulla voidaan määrittää kaistale, missä matkapu-

helin todennäköisesti sijaitsee. Paikannustarkkuus vaihtelee 200 metrin ja 10 kilometrin välillä riippuen solun koosta. /4, s. 203-204./

Solupaikannus on helppo toteuttaa ilman suurempia muutoksia. GSM-verkkojen osalta onkin pitäydytty solupaikannuksessa. Matkapuhelinverkot koostuvat yleensä useiden toimittajien eri komponenteista, mikä on asettanut haasteita ajastusennakotietojen ja signaalin voimakkuustietojen käyttöönotossa paikantamistarkkuuden parantamiseksi. Solupaikannus perustuu kuitenkin GSM-standardiin, joka on edesauttanut eri laitevalmistajien yhteensopivuutta.

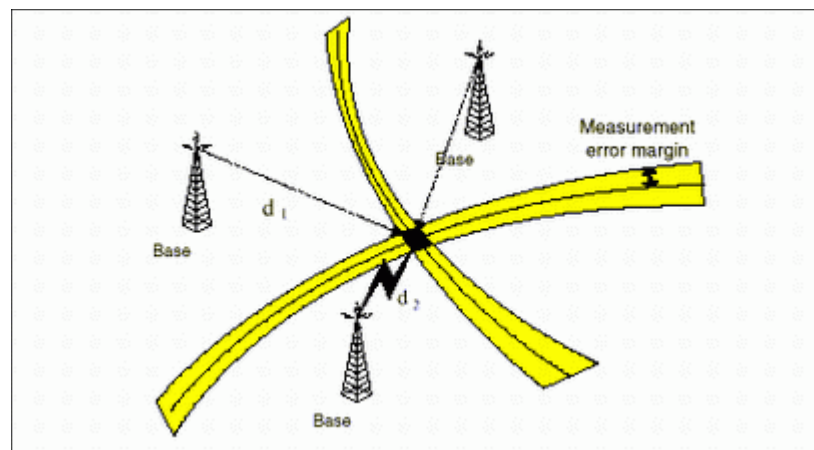
### 3.2.2 Saapumisaikapaikannus (TOA)

Saapumisajan mittaus (TOA, Time Of Arrival) perustuu samaan periaatteeseen kuin satelliittipaikannus. Matkapuhelimesta lähteneen signaalin saapumisaika mitataan kahdessa eri tukiasemassa. Tukiasemien vastaanottaman signaalin välisen aikaeron perusteella voidaan määrittää hyperbelit tukiasemien ympärille. Hyperbelien risteämä kohdassa on matkapuhelimen paikka. Toimintaperiaate voidaan nähdä kuvasta 12. Aivan kuten satelliittipaikannusjärjestelmässä niin myös saapumisaikapaikannuksessa tarvitaan kolmen tukiaseman tiedot, että saadaan yksiselitteinen paikkaestimaatti. Kolmen tukiaseman tietojen perusteella voidaan periaatteessa määrittää matkapuhelimen paikka 100 – 200 metrin tarkkuudella. Tätä tarkkuutta kuitenkin heikentää signaalin mahdollinen heijastuminen. /4, s. 208./

Saapumisajan mittaus ei vaadi matkapuhelimiin teknisiä muutoksia, vain ohjelmistopäivitys riittää. Tekniset muutokset tässäkin menetelmässä kohdistuvat matkapuhelinverkkoon. Aikaeron laskemiseen tarvitaan yhteinen kello ja koordinaatiota tukiasemien välille, mikä taas kuormittaa verkkoa ja aiheuttaa kapasiteettiin rajoituksia.

### 3.2.3 Kulkeaikaeropaikannus (E-OTD)

Kulkeaikaeropaikannuksen periaate on samankaltainen kuin saapumisaikapaikannuksessa, tukiasemat määrittävät hyperbelit ja näiden avulla määritetään matkapuhelimen sijainti (kuva 12). Tekninen toteutus on kuitenkin aivan erilainen kulkeaikaeropaikannuksessa kuin saapumisaikapaikannuksessa. Kulkeaikaeropaikannus (E-OTD, Enhanced Observed Time Difference) tarkoittaa parannettua havaitun aikaeron mittausta. Matkapuhelin laskee tukiasemilta vastaanottamiensa purskeden aikaeron, jolloin voidaan määrittää etäisyys kuhunkin tukiasemaan. E-OTD tekniikassa aikaeron laskennassa tehdään korjauksia, jolloin tarkkuus paranee. Korjauksessa otetaan huomioon todellinen aikaero (RTD, Real Time Difference, tukiasemien lähetysaikojen ero) ja geometrinen aikaero (GTD, Geometric Time Difference, kulkeaika matkapuhelimen ja tukiaseman välillä). Näiden arvojen perusteella määritetään kaavat, joilla paikan määrittäminen voidaan tehdä. /4, s. 204-206./



Kuva 12 E-OTD-paikannustekniikan periaate /30/

E-OTD-menetelmän etuna on sen tarkkuus. Tarkkuus on 50 – 100 metriä, joka riittäisi jo suurpiirteiseen navigointiin. Lisäksi kulkeaikaeropaikannuksessa matkapuhelin toimii mittalaitteena, joten menetelmä ei kuormita matkapuhelinverkkoa. Paikan määrittämiseen menee vain muutama sekunti, joka on todella paljon nopeampaa kuin satelliittijärjestelmillä.

Kulkuaikaeropaikannus vaatii tukiasemien synkronointia tai tukiasemien välistä ajastuserojen mittaamista ja mittausyksiköiden (LMU, Location Measurement Unit) lisäämistä matkapuhelinverkkoon. Euroopassa operaattorit ovat kuitenkin olleet haluttomia tekemään investointeja tukiasemiinsa eikä menetelmästä täten ole tullut odotettua menestystä. Nokia on operaattoreista huolimatta ilmoittanut tuke-  
vansa E-OTD-tekniikkaa puhelimissaan vuodesta 2002. /4, s. 204-206./

### 3.2.4 Saapumisaikaeropaikannus (TDOA)

Saapumisaikaeropaikannus (TDOA, Time Difference of Arrival) on noussut Yhdysvalloissa merkittäväksi paikannusmenetelmäksi hätäpuhelupaikannuksen ansiosta. Menetelmän tekniikka on periaatteiltaan samanlainen kuin E-OTD:ssa. Saapumisaikaeropaikannuksessa verkko kerää matkapuhelimen lähettämät signaalit sijainnin laskentaa varten. Menetelmän tarkkuus vastaa Yhdysvaltojen hätäpuhelujen tarkkuusvaatimusta. Tämä on edesauttanut menetelmän yleistymistä. Saapumisaikaeropaikannus vaatii mittayksikön asentamisen tukiasemaverkkoon, mutta matkapuhelimeen ei tarvitse muutoksia tehdä. Tämänkin menetelmän kustannukset tulevat siis operaattoreiden maksettavaksi. Menetelmän suuri etu on, että paikannus toteutetaan matkapuhelinverkosta päin, jolloin juuri hätäpuhelupaikannus onnistuu parhaiten. Kuitenkin jos suuri määrä matkapuhelimia pitää paikantaa samanaikaisesti, menetelmä kohtaa kapasiteettiongelmaa. /6, s. 7./

### 3.2.5 Edestakainen kulkuaika (RTT)

Edestakainen kulkuaika (RTT, Round Trip Time) on kolmannen sukupolven UTMS-verkossa toimiva tekniikka. RTT mittaa edestakaisen signaalin kulkuajan tukiasemalle, joten toimintaperiaate on samantyyppinen kuin GSM-verkon ajastusennakko (TA). Etäisyys tukiasemaan voidaan määrittää, kun tiedetään aika, joka kuluu signaalin lähettämisestä matkapuhelimeen ja sen lähettämiseen takaisin. Etäisyys tukiasemaan tunnetaan GSM-verkkoa paremmin, koska ajastusennakko

toimii 80 metrin askelin, kun taas GSM-verkossa askel on 550 metriä. Tästä syystä tarkkuus parantuu RTT-tekniikassa ajastusennakkoon nähden. /4, s. 208./

Edestakaisen kulkuajan käyttö antaa tulokseksi vain ympyrän, jonka keskipiste on tukiasema. Matkapuhelin sijaitsee tällä ympyrällä jossain, joten tällä tekniikalla voidaan vain määrittää matkapuhelimen etäisyys tarkemmin tukiasemasta nähden. Yhdistämällä tekniikka johonkin muuhun tekniikkaan tai käyttämällä paikanlaskentaan kahden tai useamman tukiaseman tietoja voidaan vasta määrittää matkapuhelimelle tarkka paikka.

### 3.2.6 Havaittu saapumisaikaero tyhjillä periodeilla (OTDOA-IPDL)

Havaittu saapumisaikaero tyhjillä periodeilla (OTDOA-IPDL, Observed Time Difference Of Arrival – Idle Period Down Link) on pelkästään 3G-verkkojen tekniikka. Tekniikka perustuu samaan ideaan kuin E-OTD tekniikka. Kolmannen sukupolven verkoissa tukiasemien lähetyksessä on tyhjiä jaksoja, joita GSM-järjestelmässä ei ole. Näitä tyhjiä jaksoja käytetään muiden tukiasemien kuunteluun. Paikanlaskentaa voidaan siis suorittaa, kun mitataan kuinka suuri on tyhjien periodien välinen aika. Tekniikkaa voidaan käyttää vain kolmannen sukupolven 3G-verkoissa. Koska tekniikan kehitys on vielä kesken, ei tarkkaa kuvausta toiminnasta voida esittää. /4, s. 209./

Nokian tekemissä simulaatiomittauksissa on tarkkuudeksi saatu jopa alle kymmenen metrin tarkkuuksia maaseudulla ja esikaupungeissa. Tulokset huononevat huomattavasti vaikeissa kaupunkioiloissa, joissa rakennusten aiheuttamat heijastukset ja vaimeneminen heikentävät paikannustarkkuuden 80 – 100 metrin välille. Nämä tulokset ovat kuitenkin simulaatioita, joten tulokset ovat vain suuntaa-antavia. Mikäli tarkkuus maaseudulla ja esikaupungeissa on edes puolet todellisesta tarkkuudesta, soveltuu tällä tekniikalla toteutettu paikannus jo henkilökohtaiseen navigointiin. /4, s. 209./

Tekniikan suurin este on 3G-verkkojen rakennuskustannukset. On hyvin todennäköistä, että kolmannen sukupolven verkot eivät tule vielä hetkeen kattamaan har-

vaan asuttua maaseutua. Simuloinnissa saadut tulokset kaupunkialueille eivät olleet parhaita tasoa, joten nykytekniikoilla voidaan saada tarkempaa paikkatietoa juuri kaupunkialueilla.

### 3.3 Lähipaikannus

Paikannus sisätiloissa tai suurissa kaupungeissa verkkopaikannuksella tai satelliittipaikannuksella on todella haastavaa tai jopa mahdotonta. Nykytekniikalla toteutettu verkkopaikannuksen tarkkuus ei ole riittävä ja satelliittipaikannuksen signaalin tehokkuus ei riitä sisätiloissa tai suurissa kaupungeissa. Lähipaikannus voidaan toteuttaa monella eri menetelmällä. Menetelmiä ovat muun muassa:

- Lähiverkkopaikannus
- Bluetooth-paikannus
- Etätunnistinpaikannus
- Infrapunapaikannus
- Ultraäänipaikannus

Menetelmistä lähiverkko- ja Bluetooth-paikannus ovat potentiaalisia paikannusmenetelmiä tulevaisuudessa. Muiden menetelmien kantomatkat ovat niin lyhyitä, että niillä voidaan toteuttaa vain niin sanottua ”hot spot” paikannusta, jossa paikannettavan kohteen tulee olla muutaman metrin etäisyydellä kohteesta. Tästä syystä nämä paikannusmenetelmät eivät sovi navigointiin vaan ovat paremmin hyödynnettävissä esimerkiksi logistiikassa.

#### 3.3.1 Lähiverkkopaikannus

Langattomat lähiverkot yleistyvät nopeasti julkisilla paikoilla ja toimistoissa sekä lento-, juna- ja linja-autoasemilla, joten lähiverkkopaikannus on lähipaikannusmenetelmistä yleisin ja potentiaalisin lähipaikannusmenetelmä juuri mobiililaitteille. Lähiverkkopaikannus perustuu verkon signaalikentän voimakkuuden mittausten avulla tuotettuun malliin. Menetelmä on verkkopaikannuksen korrelaatiomenetel-

mä, jonka tarkkuus riippuu oleellisesti kuuluvilla olevien tukiasemien määrästä. Hyvissä olosuhteissa päästään noin kahden metrin tarkkuuteen. Lähiverkkoperusteista lähiopastus- ja paikannusmenetelmää käytetään jo esimerkiksi Tukholman metroissa, joissa oppaat käyttävät lähiverkkopaikannusta ja -opastusta.

### 3.3.2 Bluetooth-paikannus

Bluetooth-tekniikka on varsin yleisesti käytössä jo mobiililaitteissa. Melkein jokaisessa Nokian uudessa matkapuhelimessa on jo Bluetooth-siru mukana. Bluetooth soveltuu niin tiedonsiirtoon, yhteyden muodostukseen, opastukseen kuin paikannukseenkin. Paikannus Bluetoothilla voidaan toteuttaa samalla tekniikalla kuin lähiverkkopaikannuksessa, joten tarkkuus on samaa luokkaa kuin lähiverkkopaikannuksessa tai jopa hieman parempi. Vuonna 2007 paikannus on vielä suurelta osin navigointia paikasta toiseen. Henkilökohtaisen paikannuksen sekä lähipaikannuksen yleistyessä Bluetooth tulee olemaan yksi vartenotettava paikannusmenetelmä yhdessä lähiverkkopaikannuksen kanssa.

## 4 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

GPS-paikannusjärjestelmien hintojen lasku, laitteiden helppokäyttöisyys ja tarkan kartaston liittäminen osaksi järjestelmää ovat tuoneet paikannuslaitteet osaksi päivittäistä arkea. Ihmisten liikkuvuus on kasvattanut tarvetta paikannukselle. Kukapa ei tarvitsisi laitetta, joka opastaa perille nopeasti, helposti ja lyhintä tietä.

Tutkielman tavoitteena on esitellä eri paikannuslaitteita ja -menetelmiä. Paikannuslaitteita ja -menetelmiä on monia. Tutkielmassa keskityttiin tarkastelemaan sitä, mitkä laitteet ja menetelmät ovat vuonna 2007 ja lähitulevaisuudessa kaikkein suosituimpia. Vuonna 2007 laitteista suosituimpia ovat ehdottomasti PNA-navigaattorit eli tutummalta nimeltään autonavigaattorit. Liikenteessä huomaa, että usean auton ikkunalla on jo navigaattori. Jos muistelee muutaman vuoden taaksepäin vuodesta 2006, niin silloin vain kalliissa luksus-autoissa oli navigaattori.

Paikannuslaitteiden myyntiä vuoteen 2000 asti hidasti GPS-signaalin tahallinen häirintä. Käytännössä tämä tarkoitti sitä, että GPS-signaalia ei voitu suoraan käyttää autonavigointiin. Tahallisen häirinnän poistuttua mobiilipaikannuslaitteiden myynti on kasvanut valtavasti. Nykyisin laitteet ovat kannettavia ja pienikokoisia, joten niitä voidaan käyttää lähes missä vain. Suositujen PNA-laitteiden rinnalle on tulossa multimediapuhelimia, joissa on integroitu GPS. Näin ollen perinteisestä matkapuhelimesta on tulossa myös henkilökohtainen navigaattori.

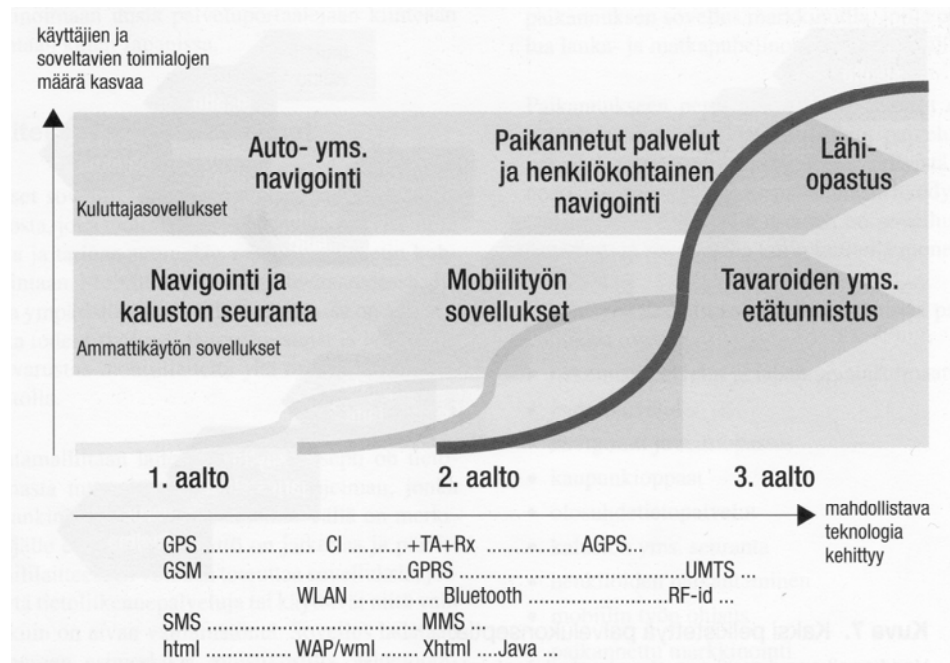
Kaikki paikannusmenetelmät perustuvat signaalin kulkuajan mittaamiseen tavalla tai toisella. Mittaamalla kulku aika voidaan laskea etäisyys tiedettyyn kohteeseen, jonka jälkeen voidaan määrittää kohteelle paikka. Paikannuksesta puhuttaessa käytetään yleisesti sanontaa GPS-paikannus. GPS-satelliittijärjestelmä on jo kauan hallinnut paikannusta. Haastavat paikannusmenetelmät, kuten verkkopaikannus ja lähipaikannus, ovat vielä kehitysasteella. Lähinnä AGPS tulee olemaan seuraava menetelmä, joka varmasti tulee yleistymään varsin nopeasti. AGPS tulee poistamaan juuri satelliittipaikannuksen suurimman heikkouden eli kuinka saada tarkka paikka laskettua nopeasti. /13./

Mobiilipaikannusjärjestelmiin ja -menetelmiin liittyvät haasteet eivät ole aivan yksiselitteisiä. Ongelmat voivat olla järjestelmien sisäisiä ongelmia tai sitten ulkoisia ongelmia. Osa paikannusta ja paikannusmenetelmiä vaivaavista ongelmista ovat samalla sekä sisäisiä että ulkoisia ongelmia. Tällaisia ovat esimerkiksi laitteen ominaisuudet, ympäristö ja käyttötarkoitus.

Edellä esitellyillä paikannusmenetelmillä on sekä hyvät että huonot puolensa. Satelliittimenetelmät vaativat avointa taivasta paikannukseen. Verkkopohjaiset järjestelmät puolestaan vaativat aina tietoliikenneyhteyden. Kysymykseksi nousee kuinka ratkaista eri järjestelmien ongelmat? Yhdistetäänkö järjestelmät, eli tehdään hybridipaikannusjärjestelmiä, vai kulkeeko jokainen järjestelmä omaa tietään? Näihin kysymyksiin saadaan ehkä parhaiten vastaus vastaamalla kysymykseen; kuinka voimme saada tarkan paikkatiedon joka paikassa?

Vuonna 2007 paikannukseen eli ”autonavigointiin” riittää satelliittipaikannuksen tarjoama paikkatiedon kattavuus, koska nyt paikannus on suurelta osin juuri au-

tonavigointia. Tulevaisuudessa paikannusta käytettäneen enemmän juuri henkilökohtaiseen navigointiin sekä lähiopastukseen (kuva 13). Juuri nämä osa-alueet vaativat paikannukselta uusia ominaisuuksia.



Kuva 13 Paikannuksen markkinaevoluutio /36/

Henkilökohtaiseen navigointiin ja lähiopastukseen ei perinteinen satelliittipaikannus enää riitä, koska paikannuksen tulisi olla mahdollista myös suurkaupungeissa pilvenpiirtäjien välissä, sisätiloissa ja jopa metroissa maan alla. Paikannuksen toteuttaminen näissä oloissa vaatii verkkopohjaista paikannustekniikkaa. Paikannus voitaisiin toteuttaa esimerkiksi WLAN- tai matkapuhelinverkon avulla. Matkapuhelinverkon kattavuusalue maailmanlaajuisesti on niin hyvä, että matkapuhelinverkkopaikannus tulee olemaan tulevaisuudessa yksi tärkeimmistä paikannusmenetelmistä. Tällä menetelmällä pystytään poistamaan satelliittipaikannukseen liittyvät ongelmat.

Verkkopaikannus on kuitenkin polkenut paikallaan. Verkkopaikannustekniikat ovat vaatineet operaattoreilta laitemuutoksia verkkoihin, joten operaattorit eivät ole maailmanlaajuisesti lähteneet mukaan suurien kustannuksien pelossa. Toisaalta markkinoilla ei ole vielä ollut paikannukseen tarkoitettuja matkapuhelimia. Tästä syystä käyttäjillä ei ole ollut tarvetta paikannukselle. Esimerkiksi vuonna 2003 Radiolinja alkoi ensimmäisenä Suomessa tarjota matkapuhelinverkkopaikannusta.

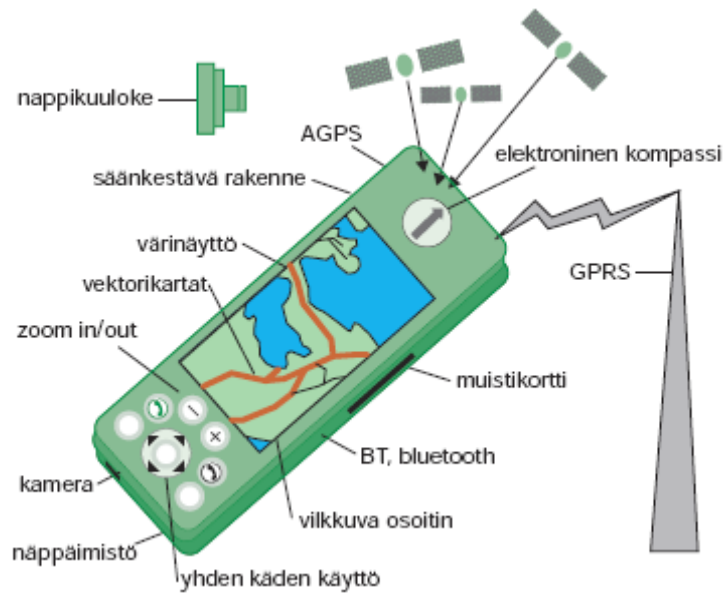
Palvelu toimi web-pohjaisesti eli käyttäjä näki web-sivuilta, missä matkapuhelin sijaitti. Myös Soneralla tuli vastaavanlainen palvelu samana vuonna. Molemmat palvelut ajettiin kuitenkin pian alas, vuonna 2006. /3, s. 38-39./

SUPL-tekniikalla toteutettu verkkopaikannus ei vaadi operaattoreilta suuria muutoksia matkapuhelinverkkoon, joten tekniikalta odotetaan suurta menestystä. Alkukesästä 2007 Nokia tuo markkinoille 6110 Navigator -puhelimien, jossa on integroitu GPS ja Nokia-navigator sovellus. Puhelimessa on myös ensimmäistä kertaa mukana AGPS, joka toimii OMA SUPL-tekniikalla. /14. /

Satelliittipaikannus on ollut pitkään ja on tulevaisuudessakin amerikkalaisten hallinnoimaa. Venäläisten Glonass on kuitenkin heräilemässä muutaman vuoden hiljaiselon jälkeen ja monikansallinen Galileo etenee viivästyksistä huolimatta. On mielenkiintoista nähdä kuinka uudet satelliittijärjestelmät tulevat vaikuttamaan satelliittipaikannukseen.

Ympäristö ja käyttötarkoitus määrittelevät myös mobiilipaikannusjärjestelmiä. Kuinka toteutetaan sellainen laite ja järjestelmä, jolla voidaan saavuttaa sekä tarkka paikkatieto että kuluttajien sille asettamat ulkonäkö ja koko vaatimukset? Vuonna 2007 markkinoilla on paikannuslaitteita autonavigointiin, retkeilyyn, urheiluun, veneilyyn ja henkilökohtaiseen navigointiin. Tulevaisuudessa juuri mobiilipäätelaitteiden tulisi mukautua erilaisiin paikannustarpeisiin kuten autonavigointiin, henkilökohtaiseen navigointiin ja lähiopastukseen (kuva 14). Tämän mahdollistamiseksi laitesuunnittelussa tulisi mahdollistaa laitteen monimuotoisuus erilaisissa paikannusympäristöissä ja sen soveltuvuus erilaisiin käyttötarkoituksiin.

Navigoinnin ja navigointiohjelmien kannalta suuren haasteen tulevaisuuden laitteissa asettaa karttamateriaali. Kuinka saada koko ajan parantuvat ja kooltaan suurentuvat kartat mahtumaan puhelimeen? Tähän kysymykseen osaltaan vastaa Joensuu yliopistossa kehitetty kuvanpakkausmenetelmä. Pakkausmenetelmällä voidaan myös pakata nykyiset vektorimuotoiset kartat kolme kertaa pienempään tilaan kuin aiemmin. Tämä menetelmä on kuitenkin vasta väitöskirjatasolla, mutta tulee varmasti olemaan yksi varteenotettavista vaihtoehtoista. /9, s. 14./



**Kuva 14 Tulevaisuuden multimediapuhelin ja navigaattori /35/**

Vuonna 2007 markkinoille tulevat Benefonin Twig, Nokian N95 sekä 6110 Navigator ounastelevat, että matkapuhelinyhtiöt ovat lähdössä todenteolla mukaan paikannusjärjestelmien valmistajiksi. Navigointi ja henkilökohtainen paikannus tulevat matkapuhelimien myötä olemaan osa jokapäiväistä toimintaa. Aika kuitenkin näyttää kuinka nämä laitteet otetaan markkinoilla vastaan.

## LÄHTEET

### Painetut lähteet

- 1 Hirvikunnas, Teppo, Tietoa autonavigoinnista & markkinakatsaus + kannettavien navigointilaitteiden vertailutesti. DIGImaailma. Performance Magazines Oy. PunaMusta Oy, Joensuu. 2006, 28-39 s.
- 2 Hänninen, Veijo, Galileo sai ensimmäiset vastaanotinpiirinsä. Prosessori. Sanoma Magazines Finland Oy. Forssan Kirjapaino Oy, Helsinki. 10/2006, 8 s.
- 3 Järvinen, Petteri, Paikannus parantaa palvelua. Tietokone. Sanoma Magazines Finland Oy. Forssan Kirjapaino Oy, Helsinki. 12/2006, 38-40s.
- 4 Kontio – Tervo – Jääskeläinen – Arokoski – Vierimaa – Raatikainen – Köykkä, Mobiilitekniologiat. IT Press. Edita Prima Oy, Helsinki 2002.
- 5 Miettinen, Samuli, GPS vie vaivatta perille. Ajatus. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä 1998.
- 6 Rainio Antti, Paikannus mobiilipalveluissa ja sovelluksissa. Teknologiakatsaus 143/2003. TEKES. Tammer-Paino Oy, Tampere 2003.
- 7 Rainio, Antti, Mobiilipaikannus ja paikantavat päätelaitteet. Prosessori. Sanoma Magazines Finland Oy. Forssan Kirjapaino Oy, Helsinki. 11/2002, 84-87 s.
- 8 Rinta-Opas, Alpo – Lehtoranta, Väinö K, Ilmailun Radio- ja Tutkajärjestelmät. Ilmailutuotanto Oy. Kauhavan Sanomalehti Oy, Kauhava 1992. 41 s.
- 9 STT, Karttatiedon pakkaus matkapuhelimiin helpottuu. Aamulehti. Kustannus Oy Aamulehti, Tampere.13.11.2006, 14 s.
- 10 Ylönen, Raimo – Herttua, Ilkka, Kytke ja käytä. Tekniikan Maailma. Yhtyneet kuvalehdet. Acta Print Oy, Tampere. 20/2005, 32-38 s.
- 11 Ylönen, Raimo – Herttua, Ilkka, Hyvää matkaa. Tekniikan Maailma. Yhtyneet kuvalehdet. Acta Print Oy, Tampere. 20/2006, 40-46 s.
- 12 Ylönen, Raimo – Herttua, Ilkka, Apua elektroniikasta. Tekniikan Maailma. Yhtyneet kuvalehdet. Acta Print Oy, Tampere. 21/2006, 86-90 s.

### Painamattomat lähteet

- 13 Alitalo Ari, Test Engineer. Keskustelut 2006–2007. Nokia Oyj, Tampere.
- 14 Nietula Jani, Project Manager. Keskustelut 2006–2007. Nokia Oyj, Tampere.

### Sähköiset lähteet

- 15 Euroopan Avaruusjärjestö (ESA). [www-sivu]. [viitattu 11.3.2007] Saatavissa: [http://www.esa.int/esaNA/ESAAZZ6708D\\_galileo\\_0.html](http://www.esa.int/esaNA/ESAAZZ6708D_galileo_0.html)
- 16 GPS Daily. [www-sivu]. [viitattu 5.3.2007] Saatavissa: [http://www.gpsdaily.com/reports/Russian\\_Defense\\_Ministry\\_Lifts\\_GLONASS\\_Restrictions\\_999.html](http://www.gpsdaily.com/reports/Russian_Defense_Ministry_Lifts_GLONASS_Restrictions_999.html)
- 17 Nokia. [www-sivu]. [viitattu 24.3.2007] Saatavissa: [http://www.nokia.fi/puhelimet/puhelinmallit/6110navigator/tarkka\\_tuoteseloste.html](http://www.nokia.fi/puhelimet/puhelinmallit/6110navigator/tarkka_tuoteseloste.html)
- 18 Tiehallinto. [www-sivu]. [viitattu 28.10.2006] Saatavissa: [http://www.tiehallinto.fi/servlet/page?\\_pageid=71&\\_dad=julia&\\_schema=PORTAL30&menu=2191&\\_pageid=71&kieli=fi&linkki=4359&julkaisu=2005](http://www.tiehallinto.fi/servlet/page?_pageid=71&_dad=julia&_schema=PORTAL30&menu=2191&_pageid=71&kieli=fi&linkki=4359&julkaisu=2005)
- 19 Wikipedia. [www-sivu]. [viitattu 6.10.2006] Saatavissa: <http://en.wikipedia.org/wiki/Sextant>
- 20 Wikipedia. [www-sivu]. [viitattu 6.10.2006] Saatavissa: [http://en.wikipedia.org/wiki/John\\_Harrison](http://en.wikipedia.org/wiki/John_Harrison)
- 21 Wikipedia. [www-sivu]. [viitattu 5.3.2007] Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/GPS>
- 22 Wikipedia. [www-sivu]. [viitattu 5.3.2007] Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/GLONASS>
- 23 Wikipedia. [www-sivu]. [viitattu 11.3.2007] Saatavissa: [http://en.wikipedia.org/wiki/Galileo\\_positioning\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_positioning_system)

### Kuva lähteet

- 24 AGPS navigation system in a Volvo S40. [www-sivu]. [viitattu 10.4.2007] Saatavissa: [http://www.swedespeed.com/gallery/generated/FWD%20and%20AWD/S40%20Mk%20II/Interior/003\\_\\_scaled\\_600.jpg](http://www.swedespeed.com/gallery/generated/FWD%20and%20AWD/S40%20Mk%20II/Interior/003__scaled_600.jpg)
- 25 Air show. [www-sivu]. [viitattu 10.4.2007] Saatavissa: <http://www.airshow-1.netfirms.com/>
- 26 Amazon. [www-sivu]. [viitattu 10.4.2007] Saatavissa: [http://images.amazon.com/images/G/01/electronics/detail-page/etrex\\_1\\_lg.jpg](http://images.amazon.com/images/G/01/electronics/detail-page/etrex_1_lg.jpg)
- 27 Autoliefhebber. [www-sivu]. [viitattu 10.4.2007] Saatavissa: [http://www.autoliefhebber.com/catalog/popup\\_extra\\_images.php/peiID/1891](http://www.autoliefhebber.com/catalog/popup_extra_images.php/peiID/1891)
- 28 GPS Tools for Geographers. [www-sivu]. [viitattu 10.4.2007] Saatavissa: [http://www.geog.okstate.edu/gpstools/Position\\_with\\_3\\_Satellites.jpg](http://www.geog.okstate.edu/gpstools/Position_with_3_Satellites.jpg)
- 29 Hans-van-bavel. [www-sivu]. [viitattu 10.4.2007] Saatavissa: [http://www.fahad.com/pics/gpsmap\\_60csx.jpg](http://www.fahad.com/pics/gpsmap_60csx.jpg)

- 
- 30 Institut für Hochfrequenztechnik. [www-sivu]. [viitattu 10.4.2007] Saatavissa: <http://www.ihf.uni-stuttgart.de/forschung/forschungsgebiete/lokalisierung/e-otd.gif>
  - 31 Kontio – Tervo – Jääskeläinen – Arokoski – Vierimaa – Raatikainen – Köykkä, Mobiiliteknologiat. IT Press. Edita Prima Oy, Helsinki 2002, 204 s.
  - 32 Le Figaro. [www-sivu]. [viitattu 10.4.2007] Saatavissa: [http://medias.lefigaro.fr/photos/20060929.FIG000000207\\_14871\\_1.jpg](http://medias.lefigaro.fr/photos/20060929.FIG000000207_14871_1.jpg)
  - 33 Le Journal du Geek. [www-sivu]. [viitattu 10.4.2007] Saatavissa: [http://www.journaldugeek.com/images/2005\\_10/tomtom\\_one.gif](http://www.journaldugeek.com/images/2005_10/tomtom_one.gif)
  - 34 Mobil. [www-sivu]. [viitattu 10.4.2007] Saatavissa: <http://mobil.in-world.info/images/clanky/twig.jpg>
  - 35 Rainio, Antti, Mobiilipaikannus ja paikantavat päätelaitteet. Prosessori. Sanoma Magazines Finland Oy. Forssan Kirjapaino Oy, Helsinki. 11/2002, 84-87 s.
  - 36 Rainio Antti, Paikannus mobiilipalveluissa ja sovelluksissa. Teknologia katsaus 143/2003. TEKES. Tammer-Paino Oy, Tampere 2003, 5, 29 s.
  - 37 Rohde & Schwarz.. [www-sivu]. [viitattu 10.4.2007] Saatavissa: [http://www.rohde-schwarz.com/www/dev\\_center.nsf/frameset?OpenAgent&website=com&content=/www/dev\\_center.nsf/html/gps\\_a-gps](http://www.rohde-schwarz.com/www/dev_center.nsf/frameset?OpenAgent&website=com&content=/www/dev_center.nsf/html/gps_a-gps)
  - 38 Sinclair Harding. [www-sivu]. [viitattu 10.4.2007] Saatavissa: [http://www.clockmakers.com/john\\_harrison\\_sea\\_clocks/h1.htm](http://www.clockmakers.com/john_harrison_sea_clocks/h1.htm)
  - 39 Ursa. [www-sivu]. [viitattu 10.4.2007] Saatavissa: <http://www.ursa.fi/index.html>