

## Pasi Kråknäs ja Matti Rantanen

Satelliittipaikannuksen käyttö lisääntyy maanmittauksen lisäksi monilla eri tekniikan alueilla, erityisesti liikenteen seurannassa ja navigoinnissa. Lisäksi paikannussignaaliin liittyvää aikasignaalia hyödynnetään tietoliikenneverkkojen synkronoinnissa. Nykyisten satelliittijärjestelmien



paikannus- ja ajanmäärittystarkkuus ei sellaisenaan enää riitä vaativille käyttäjille. Tarvitaan uutta ja parempaa. Lisäksi nykyiset järjestelmät ovat sotilasorganisaatioiden ylläpitämiä, jolloin luottamus palvelun jatkuvaan saatavuuteen ei ole kovin korkea.

jestelmät ovat sotilasorganisaatioiden ylläpitämiä, jolloin luottamus palvelun jatkuvaan saatavuuteen ei ole kovin korkea.

# Satelliittipaikannusta ja paikannussatelliitteja

**Y**hdysvaltain puolustushallinnon ylläpitämä Navstar-GPS-järjestelmä on tarjonnut täyden paikannusvalmiuden vuodesta 1994 lähtien. Viime toukokuussa Yhdysvaltain presidentti päätti standardipaikannuksen (SPS eli C/A-koodipaikannus) tahallisen heikennyksen (SA, Selective Availability) lopettamisesta. Sen seurauksena absoluuttisen paikannuksen tarkkuus parani noin 30 m:n tasolle (95 % luotettavuustasolla). Venäläisen GLONASS-järjestelmän vastaavan palvelun (SP-paikannus) tarkkuus on n. 40 m. Glonass-järjestelmän suurena heikkoutena on vähäinen satelliittien lukumäärä (tällä hetkellä vain n. 10 satelliittia), mikä ei yksinään riitä tyydyttämään käyttäjien tarpeita.

GPS-paikannuksen navigointi- ja karitoitusmittauksen tarkkuutta parannetaan paikallisesti kansallisilla tukiasemapaalveluilla (differentiaalikorjauksella) alle 2 metriin ja esimerkiksi käyttäjän omilla tukiasemapaalveluilla (RTK-paikannuksella) alle desimetriin. Differentiaalikorjauksen tarjoama parannus ei kuitenkaan riitä kaikkiin käyttötarkoituksiin ja RTK-paikannuksen käytettävyyttä rajoittaa etäisyys tukiasemasta. Parempia tuloksia voidaan saavuttaa kehittyneemmällä, tosin myös kalliimmilla, tekniikoilla, kuten lisäämällä havaintoverkkoon useampia tukiasemia (virtuaali-RTK) tai jälkilaskentaan perustuvilla tekniikoilla (staatitset paikannusmenetelmät), kuten kiintopisteiden mittaauksessa on tapana. Lisäksi katveisilla alueilla signaalikatkot vaikeuttavat mittauksia huomattavasti. Käyttäjät haluaisivat paremman reaaliaikaisen mittaustarkkuuden lisäksi myös reaaliaikaista tietoa satelliittijärjestelmien luotettavuudesta ja hetkelli-

sestä tarkkuudesta. Nykyisten paikannussignaalien mukana ei tällaisia tietoja välitetä.

Usein käytetään termiä GNSS (Global Navigation Satellite System) ikään kuin se olisi oma erillinen ja uusi järjestelmänsä. Toisinaan GNSS:llä on tarkoitettu GPS/GLONASS-järjestelmien yhteiskäyttöä. Operatiivista GNSS-järjestelmää ei kuitenkaan vielä ole olemassa. Kehitteillä on GNSS-1, jolla tarkoitetaan kokonaisuutta, joka muodostuu GPS- ja GLONASS-paikannussatelliitteista ja niiden tukijärjestelmistä. Maanpäällisiä tukijärjestelmiä (GBAS) ovat mm. nykyiset differentiaalikorjauspalvelut. Maanpäällisten järjestelmien lisäksi rakennetaan satelliitteihin perustuvia alueellisia tukijärjestelmiä (SBAS), jotka välittävät differentiaalikorjauksia laajemmalle alueelle sekä lisäksi luotettavuusinformatiota koskien GPS- ja GLONASS-järjestelmien toimintaa. Vuodesta 1994 lähtien kehitetty eurooppalainen SBAS-tukijärjestelmä tuntee nimen EGNOS-hanke. Hanke perustuu geostationaarisin satelliitteihin (Inmarsat ja Artemis). EGNOS on jo koekäytössä ja tulee täyteen käyttöön vuonna 2003. Yhdysvalloissa vastaava tukijärjestelmä on nimeltään WAAS ja Japanissa MSAS.

Kehitettävistä tukijärjestelmistä huolimatta nykyiset paikannus- ja ajanmäärittämispalvelut eivät tyydytä asiakkaita riittävästi palvelun jatkuvuuden ja saatavuuden osalta. Erityisesti turvallisuutta edellyttävillä aloilla ei voida tukeutua ainoastaan sotilastahojen ylläpitämien paikannusjärjestelmien (GPS ja GLO-

NASS) varaan – edes EGNOS-järjestelmällä parannettuna. Alhaisesta korkeuskulmasta joh-

tuen ongelmaksi muodostuu myöskin EGNOS-satelliittien huono näkyvyys Suomessa. EGNOS näkyy Helsingin leveydellä noin 13 asteen korkeuskulmassa ja pohjoiseen siirryttäessä vielä matalammalla.

Keskeisenä ratkaisuna Euroopan Unionin komissio on esittänyt eurooppalaisen satelliittipaikannusjärjestelmän – GALILEOn – rakentamista. GALILEOsta pyritään rakentamaan globaalisti kattava, riittävän luotettava ja nykyisten paikannusjärjestelmien kanssa yhteiskäyttöinen, jolloin voidaan puhua GNSS-2-järjestelmästä. GALILEO tulisi olemaan Euroopan Unionin rakentama ja ylläpitämä paikannusjärjestelmä, joka toteutettaisiin yhteistyössä Euroopan Avaruusjärjestön (ESA) kanssa. Yhteistyöstä on periaatteellisella tasolla sovittu jo Yhdysvaltojen kanssa. Vastaavasti alustavat neuvottelut venäläisten kanssa ovat sujuneet hyvässä yhteistyöhengessä. Euroopan maista Sveitsin ja Euroopan vapaakauppaliiton (EFTA) jäsenmaiden osallistuminen hankkeeseen on varmaa. Euroopan ulkopuolisista maista Kanada, Israel sekä muutamat Afrikan ja Aasian maat ovat osoittaneet voimakasta kiinnostusta hankkeeseen.

GALILEO-ohjelma toteutetaan neljässä vaiheessa, joita ovat määrittäminen (vuonna 2000), kehitys ja validointi (2001–2005), rakentaminen ja käyttöönotto (2006–2007) sekä lopullinen käyttö (2008–). Toukokuussa 2000 Maailmanradiohallintojen konferenssissa (WRC) varattiin GALILEOille tarvittavat taajuudet. GALILEO-järjestelmän suunnittelu-

ja rakentamiskustannukset arvioidaan noin 3,3 miljardiksi euroksi ja ylläpito-kustannukset noin 220 miljoonaksi euroksi vuosittain. Unionin osuus kehittämisvaiheen kustannuksista on vähän yli puolet ja ESA:n vastaavasti vähän alle puolet. Rakennus- ja käyttöönottovaiheessa EU:n ja ESA:n osuus on alle kolmannes ja yksityisen sektorin osuus 2/3. Yksityisen sektorin rahoitus tulee suorana osallistumisena järjestelmän kehittämiseen ja lupamaksujen muodossa.

## GALILEO-järjestelmä-arkkitehtuuri

Suunnitelman mukainen GALILEO-satelliittipaikannusjärjestelmä koostuu avaruussegmentistä ja siihen liittyvistä maanpäällisistä valvontalaitteista (maasegmentti), alueellisista täydentävien asemien verkosta, paikallisista osista sekä käyttäjien vastaanottimista ja päätelaitteista.

GALILEO käsittää 30 keskikiertoradalla (n. 23 000 km korkeudessa kolmella eri ratatasolla) sijaitsevaa satelliittia. Suunniteltu rakenne tarjoaa hyvät suoritusarvot erityisesti pohjoisilla leveysasteilla. Satelliitit lähettävät paikannussignaalin lisäksi järjestelmän luotettavuutta koskevia tietoja sekä mahdollisesti myös GPS- ja GLONASS-järjestelmien tilaa koskevia tietoja yhteiskäytön helpottamiseksi. GALILEON käyttämien taajuuskaistojen osalta lopulliset valinnat tehdään vuoden 2001 alkupuolella validointivaiheen alkaessa. Suunnitellut palvelut edellyttävät kahden taajuuden käyttöä, käytännössä L-kaistassa (L1 1 164–1 300 MHz ja L2 1 559–1 610 MHz). Lopullinen taajuuksien jakaminen tehdään siten, että optimoidaan taajuuksien yhteiskäyttö GPS- ja GLONASS-järjestelmien kanssa. Validointivaiheessa testataan myös häiriön-

sietokyvyltään paremman C-kaistan (5 010–5 030 MHz) soveltuvuutta paikannuskäyttöön. Tietyissä yleishyödyllisissä palveluissa käytetään ilmailualan soveltuksille varattua ARNSS-kaistaa (Aeronautical Radio Navigation Satellite

based Services), joka on suojattu muiden järjestelmien aiheuttamilta häiriöiltä.

Maanpäällinen segmentti koostuu satelliittien valvontakeskuksista, jotka valvovat satelliittien tilaa, sijaintia ja asentoa. Valvontakeskuksista käsin satelliittien asentoa voidaan korjata kauko-ohjauksella. Lisäksi maanpäälliseen segmenttiin sisältyvät palvelujen tuottamisessa tarvittavat tietojenkäsittelykeskukset. Satelliittisegmentin vertausjärjestelminä tulevat todennäköisesti olemaan ETRF89 (EUREF89, Suomessa EUREF-FIN) ja vertausellipsoidina GRS80.

GALILEO-järjestelmään voidaan lisätä enintään kahdeksan alueellista osaa, joiden avulla luotettavuustasoa voidaan parantaa. Alueelliset osat muodostuvat täydentävien

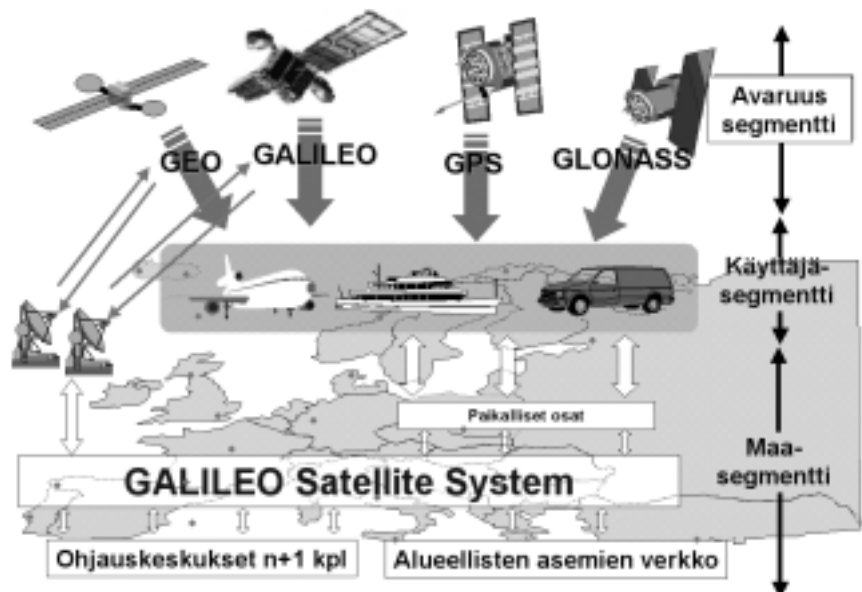
valvonta-asemien verkosta ja alueellisten palveluiden tuottamiseen tarvittavista tietojenkäsittelykeskuksista. Ylläpidosta ja kustannuksista vastaavat kukin alueen valtiot/käyttäjät. Tarkkuutta ja luotettavuutta voidaan parantaa myös paikallisella tasolla. Tällöin peruspalveluiden lisäksi tarjotaan lisäpalveluita kuten differentiaalikorjaukset tai RTK-tukiasemapaalvelut. Paikallispalveluiden signaalin välittäminen voi tapahtua radioteitse, matkapuhelimen verkkopalveluna tai muulla sopivalla tavalla. Eri-tyisiä palveluita voidaan suunnata esimerkiksi

tunneleissa tai luolastoissa tapahtuvaan paikannäilykseen.

GALILEO-vastaanottimet tulevat olemaan monikäyttöisempiä kuin nykyiset satelliittipaikantimet. Vastaanottimien tulisi kuitenkin olla suoritusarvoiltaan ja hinnaltaan kilpailukykyisiä nykyisten GPS-vastaanottimien kanssa, sekä teknisiltä ominaisuuksiltaan käyttäjien tarpeiden mukaisia, monikäyttöisiä ja joustavia. Yleisvastaanottimet voivat toimia paitsi paikantimina ja mobiilikarttoina myös päätelaitteina, joiden



**EGNOS-hanke on osa GNSS-1-paikannusjärjestelmää. Siihen kuuluvat osana nykyiset satelliittipaikannusjärjestelmät, joiden tukijärjestelmänä toimivat seuranta-asemat. Tukidata välitetään käyttäjille GEO-satelliittien välityksellä.**



**GALILEO on eurooppalainen paikannusjärjestelmä, joka on yhteiskäyttöinen nykyisten järjestelmien kanssa. Järjestelmän tarjoamat lisäpalvelut ovat mahdollisia alueellisten ja paikallisten tukijärjestelmien avulla. Myös EGNOS tulee olemaan osa GALILEO-järjestelmää.**

kautta voidaan hankkia lisäarvopalveluita. Yhdistettynä matkapuhelimiin paikannus ja palvelut tulevat vielä helpommin kaikkien saataville.

### **GALILEO-järjestelmän tarjoamat paikannuspalvelut**

GALILEO-järjestelmälle on suunniteltu kolme käyttäjien tarpeita vastaavaa palvelutasoa: vapaasti käytettävät palvelut OAS (Open Access Service), maksulliset palvelut CAS1 (Controlled Access Service 1) ja yleishyödylliset palvelut CAS2 (Controlled Access Service 2), joista käytetään myös nimikettä SAS/GAS (Safety Access Service / Governmental Access Service).

Vapaasti käytettäviin OAS-palveluihin kuuluvat paikannus-, navigointi- ja ajanmäärityspalvelut. Palvelut ovat maailmanlaajuisesti kaikkien saatavilla, jos käytettävissä on GALILEO-vastaanotin. Paikannustarkkuus on 6 m (95 % luotettavuustasolla). Signaalin mukana ei välitetä lisätietoja järjestelmän toiminnan luotettavuudesta. Vapaasti saatavissa ovat myös alueellisesti liikennetietopalvelut ja reittineuvonta. Vaikka signaali on maksuton, vastaanottimien ominaisuudet ratkaisevat luonnollisesti, mitä palveluita voidaan hyödyntää.

CAS1-palvelut tarjoavat paikannuksessa lisäksi tietoja järjestelmän toiminnan luotettavuudesta tai muita lisäarvopalveluita esimerkiksi tietoliikenneverkkojen tarkempaan synkronointiin, ajoneuvokaluston liikennöintiin ja hallintaan jne. Varsinainen paikannustarkkuus on sama kuin OAS-palveluissa ilman paikallista tukipalvelua. Lisäpalveluista vastaavat yksityiset palveluiden tarjoajat, jotka maksavat GALILEO-järjestelmän ylläpitäjälle lupamaksun ja saavat vastineeksi oikeuden tarjota palveluita. Käyttäjien pääsyä lisäpalveluihin tultaneen ohjaamaan käyttäjäkohtaisilla tunnistetuilla, salasanoilla.

SAS/GAS-palvelut edellyttävät signaalilta ja paikannukselta erityisen suurta luotettavuutta ja tarkkuutta sekä häiriöttömyyttä. Palveluihin sisältyy ilmoitus signaalin luotettavuudesta, palvelu on käytettävissä 99,9 % ajasta ja tarkkuus on 4 m. Paikallisesti tarkkuutta voidaan parantaa jopa alle 1 m:n. Tarkimpien palveluiden käyttäjiin kuuluvat lentoliikenne, merenkulku, rautatie-liikenne, pelastuspalvelu ja sotilaat. Tarkimman luokan palveluiden vastaanottaminen edellyttää erikoisvastaanottimia. SAS/GAS-palvelut tehostaisivat mm. pelastuspalvelun toimintaa sekä katta-

vuuden, nopeuden että tarkkuuden puolesta.

### **Miten GALILEO toteutuu?**

GALILEOn kehittämisohjelman määrittelyvaihe on ohitettu ja työ jatkuu kehitys- ja validointivaiheella (2001–2006), jolloin tehdään järjestelmän eri osien yksityiskohtainen määrittely ja valmistaminen. Prototyypisatelliitit viedään kiertoradalle vuonna 2004, jolloin järjestelmän testaus myös alkaa. Validointivaiheessa tehdään tarkennuksia maanpäällisiin laitteistoihin, vastaanottimiin jne. Rakennus- ja käyttöönottovaiheessa (2007–2008) rakennetaan maasegmentti valmiiksi, kuljetetaan lopulliset tuotantosatelliitit kiertoradoille. Lopullisessa käytössä GALILEO on vuodesta 2008 alkaen. EGNOS-järjestelmä liitetään osaksi GALILEO-järjestelmää siten, että niillä on yhteiset valvonta-asetat ja maanpäälliset segmentin osat. EGNOS-järjestelmän paikannusominaisuudet pidetään toiminnassa noin vuoteen 2015, jolloin geostationaariset satelliitit poistetaan käytöstä. Toistaiseksi lopulliset päätökset järjestelmän rakentamisesta puuttavat vielä.

### **Vaikutukset maanmittausalalla**

Toteutuessaan GALILEO toisi helpotusta satelliittien kautta tapahtuvaan maastomittaukseen erityisesti Suomen peitteisessä maastossa ja kaupunkialueilla. Eri satelliittijärjestelmien yhteiskäyttöön perustuvalla vastaanottimella voidaan saada luotettava mittaustulos lähes kaikissa mittaolosuhteissa. Parannusta tapahtuisi siis lähinnä satelliittien näkyvyyden, satelliittigeometrian että mittaustulosten luotettavuuden analysoinnin suhteen. Parannusta paikannustarkkuudessa tapahtuisi vain absoluuttisen paikannuksen suhteen, DGPS- ja RTK-mittaustarkkuuksien pysyessä nykyisellään. Valitettavaa on vain se, että tämä uusi tekniikka olisi käytettävissä aikaisintaan vuonna 2008. Ennen tätä ehtii yksi jos toinenkin satelliittimittauslaitesukupolvi tulla ja mennä.

Hankkeen toteutuminen edellyttää riittävää taloudellista kiinnostusta sekä palveluita ja laitteistoja tuottavien yritysten että potentiaalisten käyttäjien puolelta maailmanlaajuisesti. GALILEO tarjoaa käyttäjilleen standardipalveluna paikannuspalveluiden lisäksi myös muita palveluita, jotka mielletään arvokkaiksi – erityisesti yhdistettynä mobiilipalveluihin. Käyttäjän kannalta tarjolla on

sotilasorganisaatioihin nähden ainakin näennäisesti riippumaton paikannuspalveluiden tarjoaja. Keskustelua järjestelmän sotilaallisista näkökohdista on EU:n sisällä kuitenkin käyty. Tiettyjä jäsenvaltioita kiinnostaisi voimakkaammin sotilaallisiin tavoitteisiin sitoutunut järjestelmä. Joka tapauksessa järjestelmä on suojattava myös ulkoiselta ilkivallalta ja terrorilta sekä fyysisesti että loogisesti. Järjestelmän toiminta on turvattava myös kriisitilanteessa, koska sillä on olemassa puolustuspoliittinen ulottuvuus.

Tavallisen käyttäjän kannalta järjestelmän käyttöönotossa on etujen lisäksi myös haittoja tai vähintäänkin arveluttavia piirteitä. Lisääntynyt paikantamisominaisuuksien toteuttaminen eri alueilla tuottaa kansalaisille lisääntynyttä turvallisuutta esim. varastettujen ajoneuvojen seurannassa tai pelastuspalvelun toiminnassa. Toisaalta kehittynyt paikannusjärjestelmä mahdollistaa kansalaisten liikkumisen valvonnan myös yksilön vapautta rajoittavassa mielessä. Pahimmillaan orwellilainen painajainen voisi olla jo ovella. Ihminen ja insinööri kehittävät teknologiaa tavoitteenaan ihmiskunnan elämän helpottaminen. Turvautumme tehokkaampiin ja näennäisesti mukavampiin tiedonvälitystapoihin, tuotantoteknologioihin ja turvallisuuspalveluihin. Mitä tapahtuu, jos jonakin päivänä luomamme järjestelmät haavoittuvat ja muuttuvat käyttökelttomiksi? Selviydymmekö siitä?

### **Lähteet:**

- Komission tiedonanto Euroopan parlamentille ja neuvostolle GALILEO-hankkeesta. Brüssel 2000.
- GALILEO-kotisivu: [www.galileo-pgm.org/](http://www.galileo-pgm.org/).
- Euroopan avaruusjärjestön kotisivut: [www.esa.int](http://www.esa.int).



**Pasi Kråknäs toimii järjestelmä-asiiantuntijana 3D System Oy:ssä.**

**Sähköposti: [pasi@3d-system.fi](mailto:pasi@3d-system.fi).**

**Matti Rantanen toimii**

**yliopettajana Etelä Vantaan teknillisessä ammattikorkeakoulussa**

**EVTEK:ssä. Sähköposti:**

**[matti.rantanen@evtek.fi](mailto:matti.rantanen@evtek.fi).**