



Jorma Koski

Pasi Laurila

Aika ja paikka

Tarkka ajan määrittäminen ja nopea paikannus ovat välttämättömiä monien yhteiskunnan ja yritysten ylläpitämien palveluiden ja tietojärjestelmien sekä ihmisten arkielämän kannalta.

IHMISET OVAT TOTTUNEET käyttämään satelliittipaikanninta liikkueensa maastossa, vesillä ja maanteillä. Harva kuitenkaan viitsii tai näkee tarpeelliseksi miettiä paikannuksen perusteita. Paikka ehkä mielletään sijaintina jossakin koordinaatistossa. Paikka ilmaistaan joko astemittaisina tai metrimittaisina koordinaatteina, jos koordinaattien esittämiselle on tarvetta. Paikka siis ymmärretään lähinnä geometrisena asiana. Kuitenkin paikannuksessa ennen ja nyt on kyse geometrian rinnalla ajan mittauksesta. Nykyisin tarkka ajan määrittäminen ja nopea paikannus ovat välttämättömiä monien yhteiskunnan ja yritysten ylläpitämien palveluiden ja tietojärjestelmien sekä ihmisten arkielämän kannalta.

Aika ja paikka kiinnittyvät taivaalle

Teknisestä kehityksestä huolimatta paikannuksen perusmäärittelyissä on aikojen

myötä tapahtunut vain vähän muutoksia. Tähtitaivaan näennäinen pyörimisliike maapallon suhteen on ajan ja paikan määrittelyjen taustalla oleva luonnonilmiö. Tähtien, Auringon ja Kuun vuorokautiset, kuukausittaiset ja vuotuiset liikkeet luovat ajanmittauksen perustan. Tähtitaivaan pyöriminen antaa myös mahdollisuuden kiinnittää paikannuksessa käytettävät koordinaatit täsmällisesti havaittaviin ilmiöihin. Laajemmin katsoen tähtitaivaan pyöriminen on koko tieteellisen maailmankuvan kehityksen kannalta keskeinen ilmiö. (Kuvio 1.)

Paikka maapallolla ja taivaalla

Paikka maapallolla ilmaistaan luontevoimmin maantieteellisten koordinaattien avulla. Maantieteelliset koordinaatit voi ymmärtää ehkä parhaiten ajattelemalla itsensä maapallon keskipisteeseen. Asioita katsotaan siis maapallon keskipisteestä käsin. Leveyskulma on havaintopaikan ja

ekvaattorin välinen kulma. Pituuskulma puolestaan on havaintopaikan ja Greenwichin meridiaanien välinen kulma. Ekvaattori eli päiväntasaaja on luonnollinen Maan pyörimisliikkeeseen ja mittoihin liittyvä koordinaattien kiinnityskohta. Pituuskulman kiinnittävä Greenwichin meridiaani on sen sijaan kansainväliseen sopimukseen (1884) perustuva vertailukohta. Se on myös ajanmittauksessa käytettävä vertailukohta, joten aika ja paikka liittyvät tälläkin tavoin toisiinsa.

Tähtitaivaan kohteiden paikka ilmoitetaan ekvaattorijärjestelmässä. Järjestelmän vertailutasona on maapallon ekvaattori. Taivaalla olevan kohteen deklinaatio vastaa maantieteellistä leveyskulmaa. Kummallakin koordinaatilla on sama vertailutaso. Rektaskensio vastaa maantieteellistä pituuskulmaa. Rektaskensio on kuitenkin kevättasauspisteen eikä Greenwichin meridiaanin suhteen mitattava kulma. Kevätpäiväntasaus on hetki, jolloin Aurinko siirtyy taivaanpallon eteläiseltä puoliskolta pohjoiselle puoliskolle. Siirtyminen tapahtuu vuosittain vaihdellen maaliskuun 19.–21. päivien välisenä aikana. Kevätpäiväntasauksen hetkellä Aurinko sijaitsee taivaanpallolla kevättasauspisteessä, joka sijaitsee nykyisin Kalojen tähdistössä.

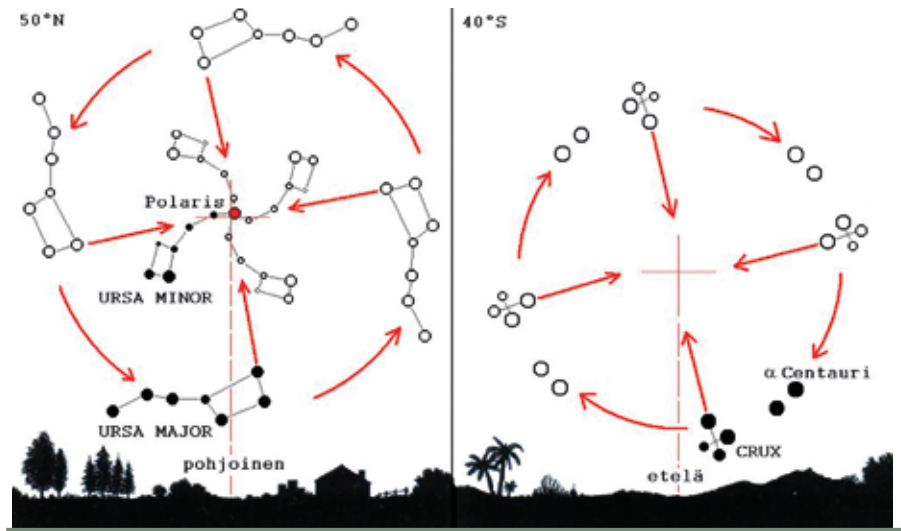
Aika on longitudi ja longitudi on aika

Maapallon ja tähtitaivaan koordinaatit liittyvät toisiinsa ajanmittauksen kautta. Asiaan liittyviä käsitteitä ovat muun muassa tähtiaika ja tuntikulma. Tähtiaika on kevättasauspisteen tuntikulma. Tähtiaika ja tuntikulma muuttuvat tasaisesti maapallon pyörimisliikkeen tahdissa. Perustellusti voidaan sanoa, että sekä maapallon että tähtitaivaan kohteiden osalta aika ja paikka liittyvät läheisesti toisiinsa.

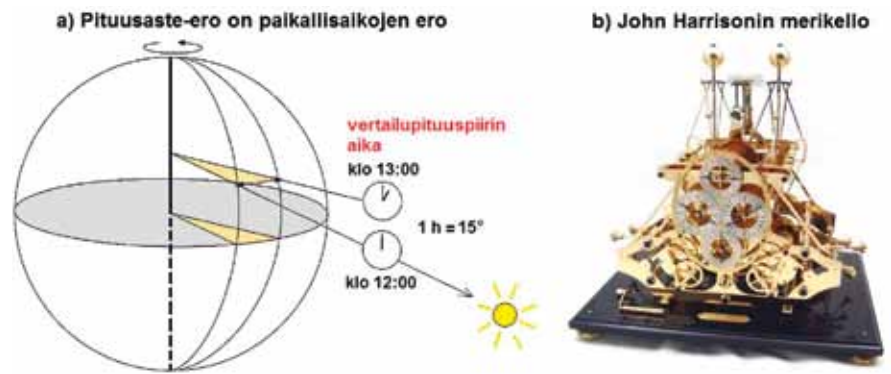
Tarkka paikannus tuli mahdolliseksi vasta, kun 1700-luvulla onnistuttiin valmistamaan riittävän tarkka ja varmakäyntinen kello, joka säilytti lähtöpaikan ajan myös purjelaivassa. Kello on erityisesti välttämätön apuväline pituustasteen eli longitudin määrittämisen kannalta. (Kuvio 2.)

Paikka oikean taivaan alla

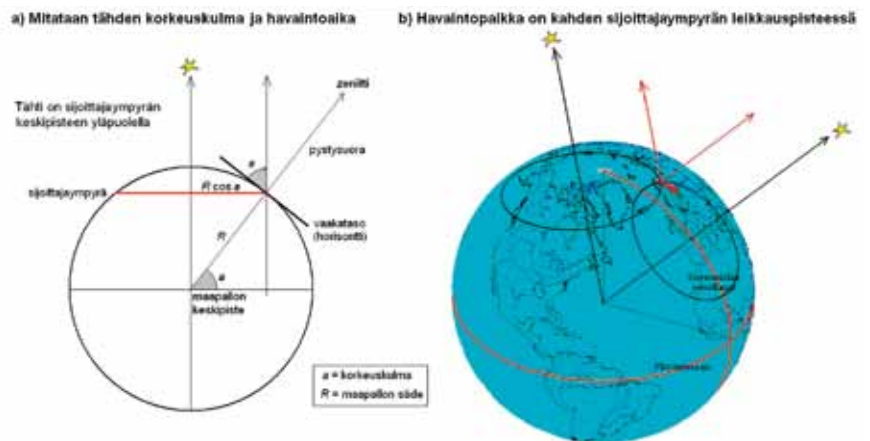
Ennen satelliittipaikannuksen aikakautta ainoa todella maailmanlaajuinen paikannusmenetelmä oli tähtitieteellinen paikannus. Se perustuu yksinkertaisimmillaan ekvaattorijärjestelmässä sijainniltaan tunnettujen kohteiden korkeuskulman ja havaintohetken ajan mittaamiseen. Havaintokohde voi olla tähti, Aurinko, planeetta tai Kuu. Kun havaitaan koh-



KUVIO 1. Tähtitaivaan pyöriminen mittaa aikaa ja määrittää paikannuksessa käytettävien koordinaatistojen kiinnityskohdat ja perussuunnat. Pohjantähti (Polaris) ja Etelän risti (Crux) auttavat löytämään perussuunnat.



KUVIO 2. Pituustasteen eli longitudin mittaus perustuu ajan mittaukseen. John Harrisonin merikello vuodelta 1735 on ensimmäinen kello, jolla pystyttiin kuljettamaan vertailupituuspiirin aikaa silloisten vaatimusten mukaisella tarkkuudella. Harrisonin kellon käyntivirhe oli noin 1 sekunti viikossa. Nykyisin tarkimman ajan mittaajan optisen strontium-hilakellon käyntivirhe on noin sekunti 300 miljoonassa vuodessa. Kuvalähde: www.clockmakers.com/john_harrison_sea_clocks/h1.htm.



KUVIO 3. Havaintopaikan paikka voidaan laskea mittaamalla kahden tähtitaivaan kohteen korkeuskulmat ja havaintohetkien aika. Havaintopaikan paikka on sijottajajympyröiden leikkauspisteessä. Tarkassa tähtitieteellisessä paikannuksessa pituus- ja leveyspiirit mitataan erikseen.

teen korkeuskulma, voidaan havaitsija sijoittaa asemaympyrälle. Asemaympyrä on maapallon pinnalla oleva kuvitteellinen ympyrä, jonka jokaisesta pisteestä korkeuskulma havaintokohteeseen on sama. Jos havaitaan myös toisen kohteen korkeuskulma, muodostuu toinen asemaympyrä. Havaitsijan paikka on näiden ympyröiden leikkauspisteessä. Koska leikkauspisteitä on kaksi, pitää mittaajan tietää likimäärin oma sijaintinsa. Likimäärin tietäminen tarkoittaa esimerkiksi sitä, että havaitsija tietää olevansa Suomessa. (Kuvio 3.)

Tähtitieteellisen paikanmäärittämisen mittaussvälaineet ovat yksinkertaisimmillaan sekstantti ja tarkkakäyntinen kello. Tarkkakäyntistä kelloa kutsutaan kronometriksi. Tavanomaiset, esimerkiksi purjehdukseen liittyvät mittaukset ovat melko yksinkertaisia, mutta havaintoihin liittyvät laskut ovat jokseenkin monimutkaisia ja aikaa vieviä.

Paikka keinotaivaan alla

Nykyaikainen satelliittipaikannus on jokapäiväisessä käytössä tarkkuudeltaan ja luotettavuudeltaan ylivertaista tähtitieteelliseen paikannukseen verrattuna. Satelliittipaikannuksessa havaitsijan ei juuri tarvitse mitata eikä laskea, koska mittausslaitteet toimivat automaattisesti. Toimintojen automaattisuus ei välttämättä ole hyväksi asioiden ymmärtämisen ja ongelmatilanteiden havaitsemisen kannalta. Useimmiten mittaukset kuitenkin sujuvat satelliittipaikannuksella.

Paikannussatelliitit muodostavat keinotaivaan, jonka kohteisiin kiinnitytään etäisyydenmittauksella. Satelliittipaikannin mittaa etäisyyksiä satelliitteihin niiden lähettämien signaalien kulkuajojen perusteella. Tarkimmissa suhteellisissa mittauksissa mitataan etäisyyksiä myös toisiin satelliittipaikantimiin. Ajan hallinta on oleellinen asia satelliittipaikannuksessa sekä etäisyyksien mittauksen että paikannuksen kokonaisuuden hallinnan kannalta. Kun järjestelmän kaikki osat, satelliitit, maapallo ja havaitsija, ovat liikkeessä, kokonaisuus ei pysy kasassa ilman tarkkaa ajan mittausta.

Ajassa ja paikassa on haastetta

Aika ja paikka ovat erittäin monitasoisia ja haastavia käsitteitä. Aika ja paikka liittyvät toisiinsa jo ajan ja matkan perusyksiköiden, sekunnin ja metrin, määrittelyjen kautta. Myös aika- ja koordinaattijärjestelmien määrittelyt liittyvät suoraan toisiinsa. Erityisesti aikaa voidaan tarkastella ainakin filosofian, fysiikan, tekniikan ja

kokemuksellisuuden näkökulmista. Aika onkin teknisen määrittelyn rinnalla syvästi inhimillinen käsite.

Jos halutaan lisää syvällisyyttä tarinaan, voidaan todeta, että yleisen suhteellisuusteorian mukaan aika ja avaruus ovat erottamattomasti yhteydessä toisiinsa ja lisäksi painovoima on ajan ja avaruuden geometrinen ominaisuus. Esimerkiksi satelliittipaikannuksessa pitää ottaa huomioon suhteellisuusteorian selittämät vaikutukset aikaan. Tulevaisuudessa ajanmittauksen avulla taidetaan tehdä geodeettista perustutkimusta.

Jo muinaiset kreikkalaiset osasivat määrittellä paikannuksen asioita. Esimerkiksi leveys- ja pituuspiirit ovat heiltä peräisin. Ihmiset ovat aina osanneet ajatella ja pyrkineet ymmärtämään ja parantamaan olemistaan. Lähinnä tekniset edellytykset toteuttaa vanhoja ja kestäviä perusajatuksia ovat muuttuneet. Ajassa ja paikassa on aina ollut haastetta.

**Kirjoittaja on TkL ja maanmittaus-
tekniikan yliopettaja Rovaniemen
ammattikorkeakoulussa. Sähkö-
posti pasi.laurila@ramk.fi.**

KUINKA TARKKAA PAIKANNUSTA TARVITAAN?

Kun John Harrison (1693–1776) rakensi merikellojaan, tavoitteena oli paikannusmenetelmä, joka määrittää longitudin isoymyrällä puolen asteen tarkkuudella. Matkana tämä tarkoittaa noin 50 kilometrin paikannustarkkuutta. Nykyisin tällainen tarkkuus ei riitä mihinkään vaan vaativimmissa tehtävissä pitää pystyä millimetrin tarkkoihin etäisyyksien ja sijainnin mittauksiin.

MAAPALLO YMPÄRYSMITTA on astemittana 360° ja aikamitassa 24 h. Aste ($^\circ$) jakaantuu minuutteihin ($'$) ja sekunteihin ($''$), niin että $1^\circ = 60' = 3600''$. Myös tunti jakaantuu minuutteihin (min) ja sekunteihin (s) kuten aste: $1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$. Aste- ja aikamittojen yhteys rakentuu sen tiedon varaan, että maapallo pyörähtää täyden kierroksen eli 360° vuorokaudessa eli 24 tunnissa. Tämän perusteella voidaan laskea seuraavat vastaavuudet:

$$360^\circ = 24 \text{ h}, 15^\circ = 1 \text{ h}, 1^\circ = 4 \text{ min}, 1' = 4 \text{ s ja } 1'' = 0,067 \text{ s}.$$

Aste- ja aikamitat voidaan rinnastaa myös matkaan, koska maapallon ympärysmitta (360° eli 24 h) on matkana noin 40 000 km. Tämän perusteella saadaan likimääräiset vastaavuudet, että päiväntasaajalla tai meridiaanin suunnassa

$$1'' = 30 \text{ m}, 1 \text{ s} = 460 \text{ m ja } 1 \text{ m} = 0,033'' = 0,0022 \text{ s}.$$

Satelliittipaikannuksessa pitää huomioida myös valon nopeus, joka on noin 300 000 km/s eli 300 000 000 m/s. Tämän tiedon perusteella valo etenee metrin $3,3 \times 10^{-9}$ sekunnissa eli 3,3 nanosekunnissa.

Jos tavoitteena on vähintään 10 metrin paikannustarkkuus, tähtitieteellisessä paikannuksessa havaintohetken aika pitää mitata paremmin kuin 0,02 sekunnin tarkkuudella. Tämä ei kotikonstein onnistu. Satelliittipaikannuksessa puolestaan mittaussignaalin kulku-aika pitää mitata paremmin kuin 30 nanosekunnin tarkkuudella. Tälle tarkkuustasolle on mahdollista päästä halvimmillakin satelliittipaikantimilla. Toki paikannustarkkuuteen vaikuttavat ajanmittauksen lisäksi mittauksen geometria, havaintokojeet, havaintomenetelmät, ympäristöolosuhteet, mittaukseen käytetty aika ja havaintojen toisto.

Tarkkuustaso	Mittauksen tarkoitus
100 m – 10 m	Halutaan tietää yleisesti missä ollaan
10 m – 1 m	Halutaan pysyä reitillä (tie, katu, vesiväylä) ja löytää haluttu kohde
1 m – 0,1 m	Halutaan kerätä paikkatietoja kartoitusta ja tutkimusta varten
0,1 m – 0,01 m	Halutaan kartoittaa maastoa ja rakennettua ympäristöstä tarkasti ja ohjata rakentamista
0,01 m – 0,001 m	Halutaan tehdä tarkkoja geodeettisia ja geofysikaalisia mittauksia ja ohjata vaativien kohteiden rakentamista
0,001 m – 0,0001 m	Halutaan tehdä tieteellisiä tutkimuksia ja mitata erityiskohteita