

Tähtitieteellisen navigoinnin perusteista

Aimo Nissi

Osa

1

Taivaanmekaniikkaa

Tähtitieteellisestä paikanmäärittämisestä, menetelmän historiasta sekä nykytietoon perustuvista hienouksista on paljonkin kirjallisuutta saatavissa ja runsas tietotarjonta internetissä. Kuitenkin lienee niin, että alaan yhtään perehtymättömän on erittäin vaikea ymmärtää lukemaansa ja itseopiskelukynnys on korkea.

Tarkoitukseni on yrittää kansantajuistaa, mistä tähtitieteellisessä paikanmäärittäyksessä on kysymys. Suuri osa tämän lehden lukijoista on avomerilaivureita, joilta pyydän anteeksi paikoin triviaalia tekstiä. Meillä on kuitenkin koko joukko saaristo- ja rannikkolaivureita, joita haluaisin innostaa avomerinavigoinnin opiskeluun.

Tämän artikkelin painopiste on taivaanmekaniikan kuvauksessa ja tähtitieteellisen paikanmäärittäksen teoriassa. Tarkoitus on jatkaa artikkelisarjaa seuraavissa lehdissä, jolloin voidaan tarkastella käytännön menetelmiä tarkemmin. Artikkelisarjankaan tarkoitus ei ole korvata avomerikurssia,

jota Helsingin Navigaatioseuran ohjelmassa olen nyt muuttaman vuoden opettanut.

Kiitokset haluaisin tässä esittää opettajalleni **Johnny Engströmille**, joka on korostanut että merenkulun tähtitieteen menetelmien on oltava kansakoulupohjalta omaksuttavissa. Kiinnitän myös huomiota seuramme aktiivin avomerinavigoinnin harrastajan **Matti Suorsan** työ-

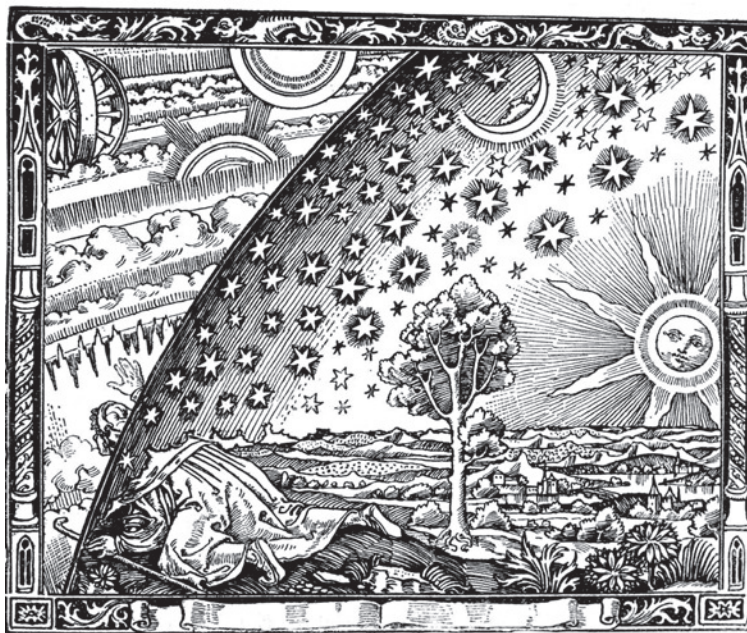
panokseen. Hänen internet-sivustoltaan on ollut luettavissa paljon käytännön ohjeita avomeripurjehtijalle sekä apuvälineitä myös tähtitieteelliseen navigointiin.

Tähtitieteellisellä paikanmäärittäyksellä ei ilmeisesti ole tavalliselle vapaa-ajan veneilijälle, avomeripurjehdusta harrastavallekaan, nykyään mitään käytännön merkitystä. Harva lähtee avomerelle ilman GPS-laitetta. Miksi sitten jotkut haluavat

opiskella paikanmäärittästä taivaankappaleiden avulla? Olen itsessäni tunnistanut seuraavat kolme syytä, ja avomerilaivurikurssilaisia haastatelllessani diagnoosi on vahvistunut:

- ♦ kunnioitus merenkulun perinteitä kohtaan
- ♦ älyllinen haaste: halu hahmottaa maailmankaikkeus ja oma paikka siellä kolmiulotteisesti
- ♦ varmatoiminen varajärjestelmä sähkötoimille navigointilaitteille avomeriolosuhteisiin

Tähtitieteellisen navigoinnin harrastaja ei tarvitse mitään matemaattista erityislahjakkutta. Sen sijaan erityistä kunnioitusta ansaitsevat ne menneiden vuosisatojen matemaatikot ja tähtitietei-



Viimeisintä tietoa universumin rakenteesta ei tarvita tähtitieteellistä paikanmäärittäystä tehtäessä. Jo silloin, kun maa ymmärrettiin pannukakkuna, nähtiin taivas pallona, tai ainakin puolipallona. Navigoinnin tarpeisiin onkin helpompi ymmärtää kiintotähtitaivas geometrisesti yhtenäisenä pallon sisäpintana kuin yksittäisinä tähtinä äärettömässä avaruudessa.

Kuva: puupiirros Camille Flammarionin (1842–1925) teoksesta "L'atmosphère: météorologie populaire", julkaistu v. 1888.

lijät, jotka ovat jaksaneet laatia ja vuosittain ylläpitää tähtitieteellisen paikanmäärityksen perustyökäluä Nautical Almanacia.

Navigoinnin perustana on tieto, missä asennossa kullakin hetkellä maapallo on ympäröivään aurinkokuntaamme ja kiintotähtitaivaaseen nähden. Kuvittele itsesi huvipuiston kieputtimeen, katso sieltä ulos ja kun näet lippukassan tai huvipuiston porttirakennuksen, tiedät missä kohdassa kierrosta olet menossa. Samoin avomerellä, pyörivän maapallon pinnalla, kun näet auringon tai kuun tietyssä kohdassa taivasta, sinun pitäisi tietää, missä olet.

Taivaanpallo

Vaikka universumin rakenteesta tiedetään nykyään paljon, voidaan tähtitieteellisessä navigoinnissa ajatuksellisesti taantua keskiaikaiseen maailmankuvaan. Tähti- ja aurinkokuntasysteemi voidaan ymmärtää siten, että kiintotähdet muodostavat muuttumattoman taustan, ns. taivaanpallon, jonka pintaan tähdet on piirretty ja jota taustaa vasten Aurinko, planeetat ja Kuu näyttävät liikkuvan.

Maapallo voidaan ajatella tuon ääretömän suuren taivaanpallon keskipisteesen pyörimään akselinsa ympäri pohjoisnavan puolelta katsottuna vastapäivään. Tällöin taivaanpallo maan pinnalta katsottuna näyttää pyörivän maapallon ympäri vastakkaiseen suuntaan eli myötäpäivään. Se taas ilmenee pohjoisella pallonpuoliskolla tarkasteltuna siten, että taivaankappalet näyttävät liikkuvan vuorokauden kierrossa vasemmalta oikealle eli idästä etelän kautta länteen.

Koska taivaanpallolle voidaan ajatella maan akselin jatkeille taivaan pohjois- ja etelänapa, sekä maapallon päiväntasaajan eli ekvaattorin projektiona taivaan ekvaattori, voidaan kiintotähtien sijainti taivaalla määrittellä leveys- ja pituuskoordinaatteja vastaavien käsitteiden, deklinaation ja tuntikulman avulla.

Taivaanpallon deklinaatioasteiden ja maapallon pinnan leveysasteiden vastavuus on selvä ja helposti havainnollistettavissa. Kuvittele maapallon keskipisteesen lamppu, jolloin maapallon pinnalle piirretyn päiväntasaajan varjo piirtää taivaan ekvaattorin taivaanpallolle. Samoin

piirtyvät kaikki leveysasteet niitä vastaaville deklinaatioparalleeleille. Tähän piirtymiseen ei maapallon pyöriminen vaikuta.

Pituusasteiden nollakohdan määrittämiseksi maan pinnalla käytettävälle koordinaatistolle ei ole mitään itsestään selvää perustetta. Kansainvälisen sopimuksen mukaan Greenwichin meridiaani on valittu lähtökohdaksi ja aiemmin vallinneesta kirjavasta käytännöstä on pääosin päästy eroon. Taivaanpallon tuntikulma-asteikon nollakohdan määrittely on onneksi ollut vähän helpompi sopia, vaikka täysin itsestään selvää perustetta siihenkään ei ole.

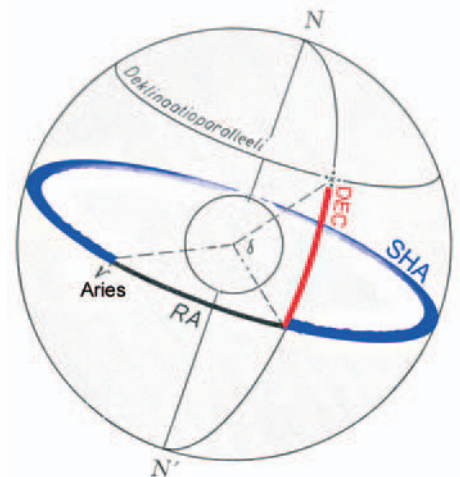
Taivaanpallon koordinaatiston nollakohdaksi on valittu toinen niistä pisteistä, joissa aurinko näennäisellä vuotuisella kierrollaan leikkaa taivaan ekvaattorin. Pohjoisen pallonpuoliskon talven aikana aurinko on taivaan ekvaattorin eteläpuolella, eteläisessä deklinaatiossa. Pohjoisen kesällä aurinko on taivaan ekvaattorin pohjoispuolella pohjoisessa deklinaatiossa. Siirtyessään kevätpäiväntasauksen aikaan etelästä pohjoiseen, auringon sijainti määrittää taivaanpallon peruspisteen, ns. Aries-pisteen. Siitä pisteestä myötäpäivään (taivaan pohjoisnavan puolelta tarkasteltaessa) lasketaan kiintotähtien sijaintia vastaavat kulmamitat, sideeriset tuntikulmat (SHA).

Näin voidaan kiintotähtien osalta piirtää tähtikartta, kun niiden deklinaatio ja sideerinen tuntikulma tiedetään. Kiintotähtien paikka taivaalla ei ihmisiän aikana juuri muutu. Hieman mutkikkaampi kysymys on sitten se, mitä taivaanpallon sisällä näyttää tapahtuvan.

Aurinkokunta ja ekliptika

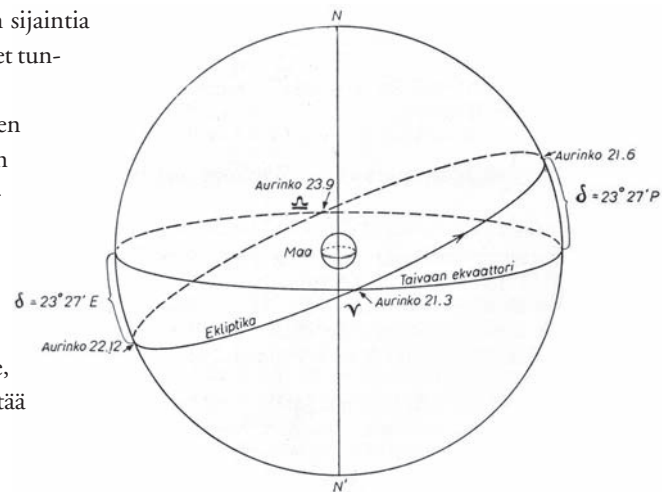
Aurinkokunnan ajatellaan leijuvan vapaasti taivaanpallon keskivaiheilla. Maapallo on tässä merenkulun tähtitieteen maailmankuvassa siinä taivaanpallon keskipisteenä, vaikka tiedämmekin, että Aurinko on aurinkokunnan keskipisteenä ja Maa yhtenä planeettana muiden mukana kiertää aurinkoa.

Aurinkokunnassa kaikki havaittavat kiertoliikkeet tapahtuvat vastapäivään,

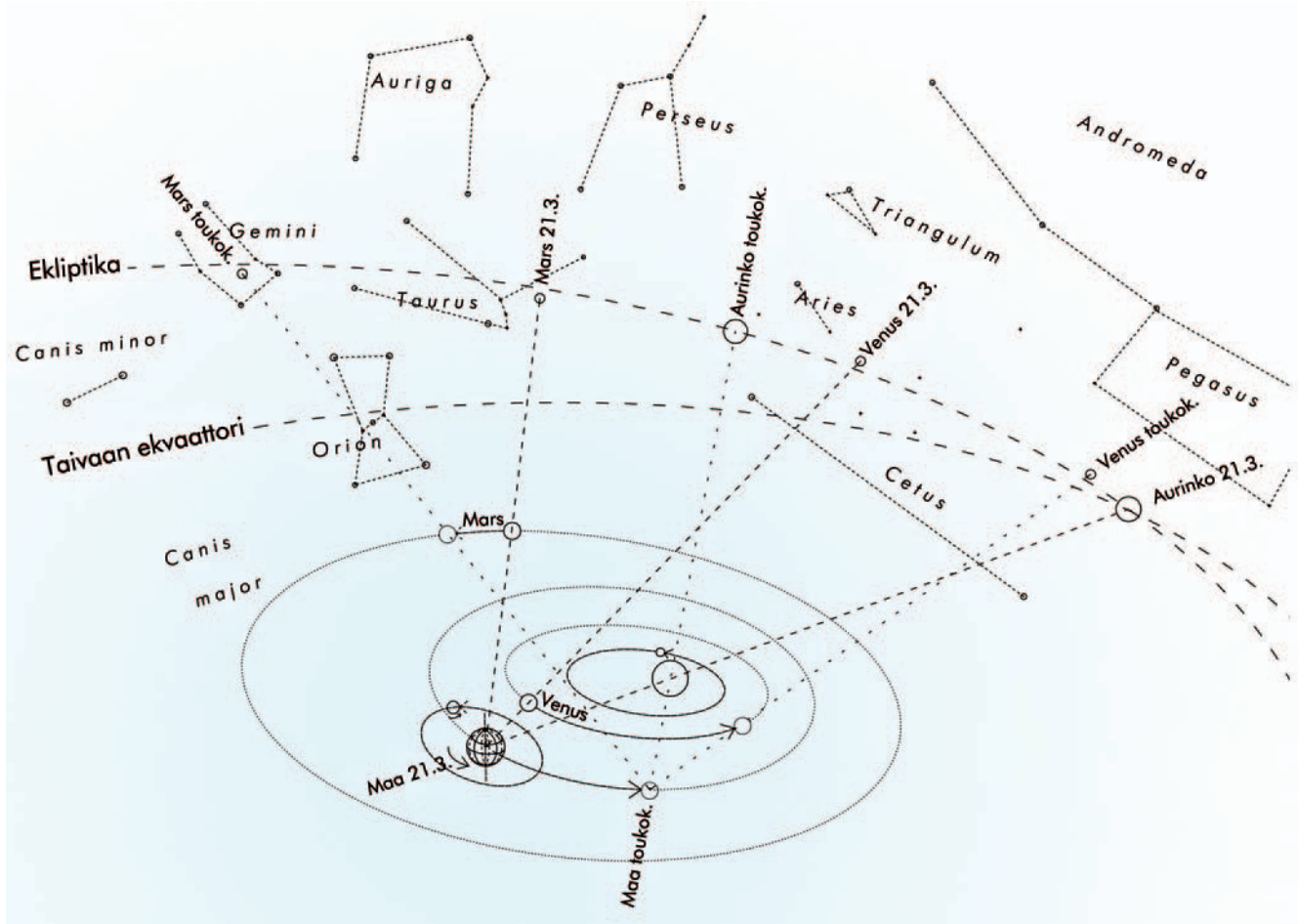


Deklinaatio (Dec) ja sideerinen tuntikulma (SHA) esitettynä taivaanpallolla. Aries-pisteestä myötäpäivään mitattavan sideerisen tuntikulman (yksikkönä asteet 0-360) sijasta tähtitieteilijät käyttävät käsitettä rektaskensio (right ascension, RA), joka mitataan Arieksestä vastapäivään (yksikkönä tunnit 0-24).

**N = taivaan pohjoisnapa,
N' = taivaan etelänapa.**



Taivaan ekvaattori ja ekliptika taivaanpallolla. Aries-piste eli keväntasauspiste on se taivaan ekvaattorin ja ekliptikan leikkauskohta, jossa aurinko vuotuisella kierrollaan nousee eteläisestä deklinaatiosta pohjoiseen.



Aurinkokuntasysteemi taivaanpallon sisältä katsottuna. Aurinko ja planeetat projisoituvat taivaanpallon sisäpinnan kiintotähtitaustalle, Aurinko tarkasti ekliptikalle ja planeetat ekliptikan tuntumaan. Kuvaa on yksinkertaistettu niin, että vain sisimmät planeetat on piirretty näkyviin. Huomaa, että Venus Maata sisemmällä kiertoradallaan saattaa, kuten tässä esimerkissä, siirtyä taivaalla myös myötäpäivään. Planeettojen sijainti tässä on vain esimerkki, niiden sijainti ei seuraa vuosirytmää. Huomaa myös, että kevättasauspiste (Aries-piste) on siirtynyt pois Aries-tähtikuvioista niiden parin tuhannen vuoden aikana, mitä on kulunut tähdistönimien vakiintumisesta.

kun systeemiä tarkastellaan pohjoisen puolelta. Kaikki planeetat kiertävät aurinkoa ellipsiradoillaan vastapäivään ja myös kuu kiertävät emoplaneettojaan vastapäivään. Planeetat pyörivät akseliensa ympäri vastapäivään (poikkeuksena Venus, joka pyörii myötäpäivään). Myös meidän Kuumme siis kiertää Maata vastapäivään. Kuu itse myös pyörii akselinsa ympäri vastapäivään sellaisella nopeudella, että se aina kääntää saman naamapuolensa maata kohti. Tämä ei ole sattumaa, vaan vuorovesi-ilmiötä vastaava voima on aikojen saatossa synkronoinut Kuun pyörimisliikkeen tähän nopeuteen.

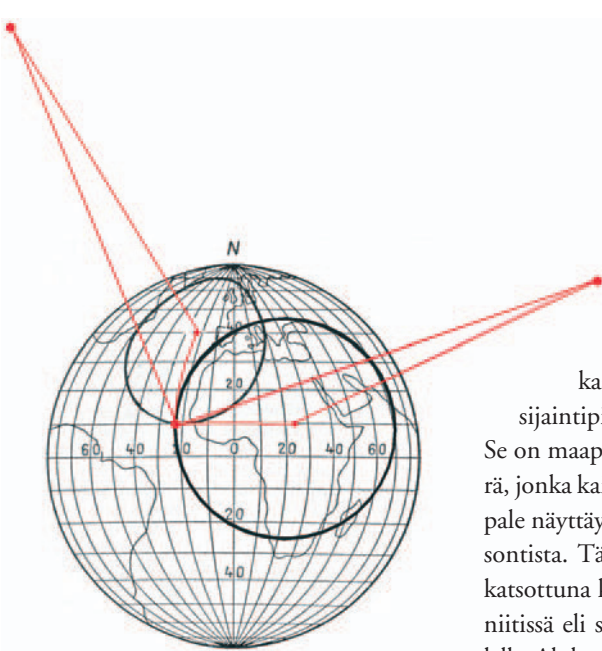
Maan ja kaikkien muiden planeettojen radat sekä myös Kuun rata Maan ympäri sijaitsevat muutaman asteen tarkkuudella samassa tasossa, muodostaen lähes kaksiulotteisen levymäisen systeemin kolmiulotteisen taivaanpallon sisällä. Tämä ilmenee maan pinnalta tarkkailtuna vuoden kierrossa siten, että Aurinko,

Kuu ja planeetat näyttävät liikkuvan taivaalla pitkin lähes samaa rataa, ekliptikaa. Auringon sijaintia tähtitaivastaustaa vasten ei tietenkään suoraan näe, koska auringon valaisema kirkas ilmakehä peittää tähdet näkyvistä. Öisellä taivaalla Kuu ja planeetat paljastavat sijainnillaan tämän ekliptikan likimääräisesti. Tarkkaan ottaen Ekliptika on Maan radan projektio taivaanpallolla. Tämä on helppo kuvitella, kun ajatellaan aurinko lamppuna. Maan varjo piirtää silloin vuoden aikana ekliptikan taivaanpallolle. Vastaavasti Aurinko vuotuisella kierrollaan kulkee maasta katsottuna tätä viivaa pitkin (lännessä itään eli oikealta vasemmalle, kun asiaa katsotaan pohjoisen puolelta).

Ekliptikan tason, eli maan radan tason ja taivaan ekvaattorin tason, eli maapallon akselia vastaan kohtisuoran tason välinen kaltevuuskulma on nykyään n. 23,4 astetta. Kaltevuuskulma ei ole vakio vaan se vaihtelee pitkien ajanjaksojen kulu-

sa. Maapallon liikettä ekliptikan suhteen voisi verrata lattialla pyörivään hyrrään, joka kiertää radallaan hitaasti huojuen. Tästä huojumisesta johtuu siten myös kiintotähtien deklinaation ja sideerisen tuntikulman vähäinen vuosittainen muutos, se ei siis johdu tähtien liikkeestä, jota kyllä tapahtuu, mutta vielä paljon hitaammin.

Mitään näistä hitaista liikkeistä, joita taivaalla tapahtuu, ei pidä sekoittaa siihen nopeaan vuorokautiseen taivaankappaleiden näennäiseen liikkeeseen, joka johtuu maapallon pyörimisestä. Siinä näennäisessä liikkeessä sekä kiintotähdet, planeetat, Aurinko ja Kuu näyttävät kaikki liikkuvan samalla nopeudella. Maan pyöriminen on taivaanmekaniikan liikkeistä nopein ja hallitsevin. Muista liikkeistä ainoastaan Kuun liike ympäröiviin tähtiin nähden saattaa olla paljain silmin tarkkailtaessa havaittavissa.



Kaksi asemaympyrää.

Tässä aluksen sijainti Atlantilla on siinä asemaympyröiden leikkauspisteessä, jossa toinen taivaankappale näkyy pohjoisessa korkeudella n. 60 astetta ja toinen idässä korkeudella n. 40 astetta.

Tähtitieteellinen paikanmääritys, asemaympyrä

Maapallon pinnalla olevan havaitsijan perspektiivissä taivaankappaleen sijainnin määrittelee kaksi mitattavissa olevaa asiaa, suuntima ja korkeus horisontista. Jos nämä molemmat olisivat tarkasti mitattavissa, voisi yhden taivaankappaleen havainnon, tarkan kellonajan ja almanakkatietojen perusteella määrittää aluksen sijainnin. Tämä ei kuitenkaan toimi käytännössä. Aluksesta käsin ei merellä pysty määrittelemään taivaankappaleen suuntimaa riittävän tarkasti. Kompassin avulla yhden asteen tarkkuuteenkaan harvoin pystyy, ja sekin tarkoittaisi vasta n. 60 meripeninkulman (yhden asteen) tarkkuutta paikanmäärityksessä.

Taivaankappaleen korkeus horisontista sen sijaan voidaan mitata hyvin tarkasti sekstantilla. Hyvä tavoitetarkkuus mitauksessa on yhden kulmaminuutin tarkkuus, joka paikanmäärityksessä vastaa yhtä meripeninkulmaa. Tarkan kellonajan, al-

Esimerkki sijoittajapiirroksesta mercatorin projektiossa olevalla tyhjällä kartta-pohjalla. Sijoittajat ovat asemaympyröiden tangentteja. Esimerkissä aamuhämärässä havaitusta Jupiterista saatu sijoittaja on siirretty aluksen kulkeman suunnan ja matkan mukaan ja yhdistetty aamupäivän aurinkohavainnosta saatuun sijoittajaan. Näiden leikkauspisteessä on havaittu paikka FIX jälkimmäisen havainnon hetkellä. DR = merkintäpaikka, AP1 ja AP2 = eri havaintojen oletuspaikat, joille almanakkatiedoista on laskettu taivaankappaleen korkeus ja suuntima.

manakkatietojen ja yhden taivaankappaleen korkeuden perusteella ei kuitenkaan vielä saada selville aluksen sijaintipistettä vaan ns. asemaympyrä. Se on maapallon pinnalle piirtyvä ympyrä, jonka kaikista pisteistä ko. taivaankappale näyttäytyy samalla korkeudella horisontista. Tämän ympyrän keskipisteestä katsottuna ko. taivaankappale näkyisi zenitissä eli suoraan havainnoijan yläpuolella. Aluksen sijainti on jossain tämän asemaympyrän kaarella. Asemaympyrä on sitä suurempi, mitä lähempänä horisonttia kohde on ja sitä pienempi, mitä lähempänä zenittiä se on. Esimerkki hyvin suuresta asemaympyrästä on yön ja päivän rajakohta maapallolla. Se on isoympyrä, jonka jokaisessa kohdassa auringon yläreunan korkeus horisontista on tasan nolla.

Jotta voidaan määritellä aluksen sijainti, pitää havainnoida vähintään kahden taivaankappaleen korkeus horisontista. Näin saadaan piirrettyä vähintään kaksi eri asemaympyrää. Näiden ympyröiden leikkauspisteessä on aluksen sijainti. Kaksi asemaympyrää leikkaa toisensa itse asiassa kahdessa pisteessä. Näistä osataan valita oikea piste taivaankappaleiden likimääräisten suuntimien perusteella. Sitäpaitsi aluksen merkinnänpidon perusteella ei yleensä ole epäselvää kumpi asemaympyröiden leikkauspiste on oikea. Käytännön työskentelyssä, kun aluksen likimääräinen sijainti on tiedossa ei edes jouduta toteamaan sitä toista asemaympyröiden leikkauspistettä. Karttaan tehtäviin sijoittajapiirroksiin ei myöskään käytännössä piirretä asemaympyrän kaaria, vaan asemaympyrän kaarta sivuavia suoria eli tangentteja.

Aluksen sijaintitieto avomerellä perustuu perinteisesti suunnan ja nopeuden perusteella tehtävään jatkuvaan merkinnänpitoon ja mahdollisimman usein teh-

täviin paikanmäärityksiin, jolla merkinnänpitoa tarkistetaan.

Käytännössä paikanmäärityksessä menetellään siten, että aluksen merkinnänpidon perusteella valitaan ns. oletuspaikka ja almanakkatietojen perusteella lasketaan mikä olisi taivaankappaleen korkeus ja suuntima oletuspaikassa. Kun sitten mitataan sekstantilla taivaankappaleen todellinen korkeus, havaitaan jonkinasteinen poikkeama laskettuun korkeuteen. Tämän poikkeaman suuruus kulmaminuuteissa tarkoittaa aluksen todellista sijaintia vastaavan asemaympyrän kaaren etäisyyttä oletuspaikasta meripeninkulmissa. Koska almanakkatiedoista saadaan laskettua myös taivaankappaleen tarkka suuntima oletuspaikassa, voidaan asemaympyrä, tai käytännössä sen tangentti, piirtää nyt sijoittajana karttaan kohtisuorassa taivaankappaleen suuntimaan nähden.

Toinen havaittava taivaankappale valitaan siten että sijoittajat leikkaavat toisensa kartalla riittävän suuressa kulmassa, mieluiten lähes kohtisuoraan, jotta paikanmääritys olisi tarkka. Myös siirrettyä sijoittajaa voidaan käyttää. Esimerkiksi aamupäivällä tehdään aurinkohavainto ja iltopäivällä havaitaan aurinko uudelleen kun se on siirtynyt selvästi uuteen suuntaan ja näin saadaan selvästi erisuuntaiset sijoittajat karttaan.

Pilvisuus saattaa estää paikanmäärityshavainnot useiden vuorokausien ajan ja samalla myrskyolosuhteet saattavat aiheuttaa merkinnänpitoon epätarkkuutta. Sellaisissakaan oloissa merkinnänpito harvoin kuitenkaan on useita asteita virheelinen. Siten käyttökelpoisen oletuspaikan valinta ei yleensä tuota ongelmia.

