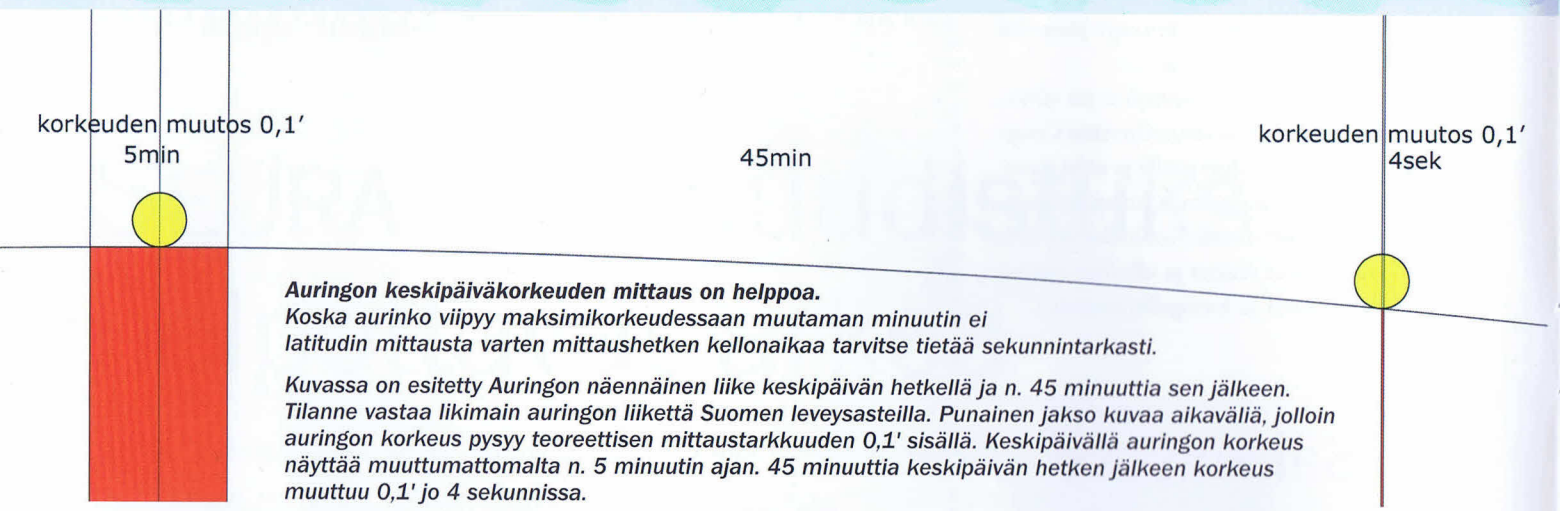


Auringon keskipäiväkorkeuden mittaus on helppoa.
Koska aurinko viipyy maksimikorkeudessaan muutaman minuutin ei latitudin mittausta varten mittaushetken kellonaikaa tarvitse tietää sekunnintarkasti.

Kuvassa on esitetty Auringon näennäinen liike keskipäivän hetkellä ja n. 45 minuuttia sen jälkeen. Tilanne vastaa likimain auringon liikettä Suomen leveysasteilla. Punainen jakso kuvaa aikaväliä, jolloin auringon korkeus pysyy teoreettisen mittaustarkkuuden 0,1' sisällä. Keskipäivällä auringon korkeus näyttää muuttumattomalta n. 5 minuutin ajan. 45 minuuttia keskipäivän hetken jälkeen korkeus muuttuu 0,1' jo 4 sekunnissa.

Tähtitieteellisen navigoinnin perusteista

Aimo Nissi

Osa 2

Latitudit - longitudit

Miksi latitudi on helpompi määrittää kuin longitudi? Selviääkö merellä ilman kronometria?

Artikkelisarjan 1. osassa Laivuri-lehden numerossa 1/2009 käsittelin taivaanmekaniikan perusteita ja lyhyesti paikanmääritystä asemaympyröiden perusteella, ns. korkeuslaskumenetelmällä. Korkeuslaskumenetelmä on nykyisin hyvinkin sovellettavissa paikanmäärityksen yleismenetelmänä, koska tarkka kellonaika on yleensä aina saatavilla. Halvatkin kellot ovat riittävän tarkkoja. Nykyajan avomerilaivuri saattaakin siksi olla vieraantunut latitudin ja longitudin määrityksen vaihtoehtoisista – latitudin osalta usein helpoistakin – käytännöistä.

Silloin kun laivat vielä olivat puuta ja miehet rautaa, ei kelloihin ollut liikaa luottamista. Siksi oli tapana selvittää latitudi erikseen aina sopivan tilaisuuden tullen esimerkiksi Pohjantähden korkeudesta tai taivaankappaleen meridiaaniohituksesta, yleensä auringon keskipäiväkorkeudesta. Longitudi selvitettiin sitten erikseen jos pystyttiin.

Paikallinen tosiaurinkoaika on melko yksinkertaisella trigonometrisella laskukaavalla tarkasti selvitettävissä aamu- tai iltapäivällä mitatun auringon korkeuden perusteella, kun latitudi merkinnänpidon perusteella tunnetaan. Tämän "Time sight" -nimellä tunnetun menetelmän käytännöllinen merkitys oli siinä, että

epätarkkojenkin kellojen avulla voitiin ylläpitää aluksella tietoa paikallisesta ajasta ja valmistautua latitudimittaukseen aina riittävän tarkasti keskipäivän hetkellä.

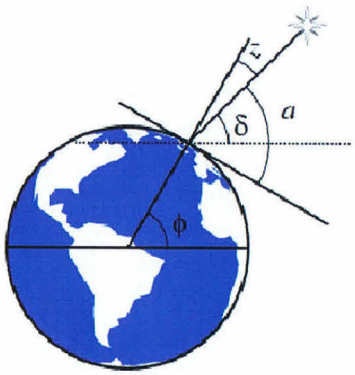
Kronometrien kehittyminen merkitsi sitä, että pystyttiin helposti vertaamaan paikallista tosiaurinkoaikaa Greenwichin keskiaurinkoaikaan (GMT). Tästä erotuksesta on longitudi suoraan laskettavissa (kun myös almanakkaan taulukoitu vuodenajasta johtuva ajantasaus eli tosiaurinkoajan ja keskiaurinkoajan erotus huomioidaan). Käytäntö mitata latitudi ja longitudi erikseen säilyi pitkään kronometrien yleistyttyäkin.

Latitudin määrittämisen helppous johti perinteisesti reitinvalinnassa latitudipurjehduksen nimellä tunnettuun käytäntöön. Hakeuduttiin hyvissä ajoin kohdesataman latitudille, minkä jälkeen jatkettiin itään tai länteen kunnes saavuttiin perille. Koska longitudia ei tiedetty, ei voitu tarkkaan ennakoida, milloin tullaan perille.

Ennen kronometrien käyttöä longitudin sai luotettavasti ja tarkasti vain tunnettujen saarten ohituksista. Hyvään merimiestapaan kuului, että alukset kommunikoivat kohdatessaan merellä. Vähintään päälliköiden tuli kertoa toisilleen käsityksensä longitudista, mikäli siitä oli olemassa luotettavaa tietoa.

Tämän artikkelin loppuun (katso sivu 13) on lainattu **Joshua Slocumin** tekstiä kirjasta "Yksinpurjehdus maapallon ympäri". Slocum kirjoittaa navigoinnista Spray-aluksellaan Tyynellä valtamerellä maailmanympäripurjehduksellaan vuosina 1895–1898.

Tekstiä analysoitaessa huomataankin, että Slocum ei käyttänyt korkeuslaskumenetelmää siten kuin nykyään tavataan tehdä. Hänellä oli matkassaan melko surkea, pari dollaria maksanut "peltikello" toimittamassa kronometrin virkaa. Hän ei sen tarkkuuteen liiemmin luottanut.



$$a + z = 90^\circ$$
$$\phi = \delta + z$$
$$\Rightarrow$$
$$\phi = \delta - a + 90^\circ$$

Laskelmat ovat helppoja. *Latitudin määrääminen taivaankappaleen meridiaaniohitushetken korkeuden perusteella. Laskukaava koskee tätä esimerkkitapausta, jossa havaitsijan latitudi on suurempi kuin taivaankappaleen deklinaatio ja taivaankappale havaitaan yläkulminaatiossa.*

Meridiaaniohitustilanteessa laskelmia ei tarvitse perustaa kolmiulotteiseen pallotrigonometriaan, vaan tilanne pelkistyy kaksiulotteiseksi tasogeometriaksi ja kulmien aritmeettiseksi yhteen- ja vähennyslaskuksi.

Taivaankappaleen deklinaatio tarkoittaa taivaankappaleen kulmaetäisyyttä taivaan ekvaattorista pohjoiseen tai etelään. Tämä vastaa suoraan latitudia maapallon pinnan koordinaatistossa. Käytännössä se tarkoittaa sitä, että kukin taivaankappale näennäisesti kiertää vuorokaudessa maapallon ympäri pitkin omaa latitudiaan.

Taivaankappaleen deklinaatio muuttuu hitaasti. Kiintotähdillä tämä se ei muutu käytännöllisesti katsoen lainkaan. Auringon deklinaatio muuttuu ääriarvosta toiseen puolessa vuodessa. Ajanlaskussa riittää tunnin tarkkus hyvinkin, että auringon keskipäiväkorkeudesta saa määrättyä latitudin yhden kulmaminuutin tarkkuudella, mikä vastaa navigointia yhden meripeninkulman tarkkuudella.

Kuvan lähde: Turun yliopisto, Tuorlan observatorio http://www.astro.utu.fi/IYA/posdet/loc-f.htm

Slocumin navigointi perustui ensinnäkin huolelliseen merkinnänpitoon, jossa otettiin kokemuksen perusteella huomioon sorron ja virran huomattava vaikutus. Merkinnänpitoa hän tarkensi tähtitieteellisen navigoinnin keinoin.

Slocumin navigoinnissa on tyypillisen latitudipurjehduksen piirteitä. Matkattaessa valtameren yli idästä länteen ohjailun perustana on se, että aurinko nousee perän suunnalta ja laskee keulan suuntaan. Yöllä kontrolloidaan suuntaa tähtitaivaan perusteella. Etelän risti tulee olla melko suoraan sivulla vasemmalla. Koska Etelän risti on melko lähellä taivaan etelänapaa, ei sen suuntima yön aikana kovinkaan

paljon muutu. Myös Etelän ristin korkeudesta voi päätellä latitudin likimääräisesti.

Näillä perusteilla suunnan pito saattaa todellakin olla yhtä luotettavaa kuin kompassiin tukeutuminen erannon vaihdellessa valtameren eri alueilla.

Slocum ei tekstissään juurikaan kerro latitudimäärityksistä esim. auringon meridiaaniohituksen mukaan, koska se on niin rutiininomaista, ettei se juuri kiinnostane lukijaa. Sen sijaan hän kuvaa sitä, mistä hän kokee hienoista ylpeyttä: Longitudin määrityksestä kuuhavaintojen perusteella.

Nautical Almanacin tärkeänä sisältönä – ennen kronometrien kehitystä riittävän luotettaviksi – oli taulukot, joiden avulla kellonajan saattoi määrittää kohtalaisen tarkasti kuun sijainnin perusteella. Näiden kuutaulukoiden julkaiseminen lopetettiin 1800-luvun loppuvuosina, juuri Slocumin purjehduksen aikoihin. Slocum ei liiemmin arvosta tätä merenkulun käytännön murrosta. Ilmeisesti hänen mielestään ei pitäisi liikaa luottaa kronometriin. Merenkulkijan pitäisi selvitä paikanmäärityksestä ilman haavoittuvaa tekniikkaa.

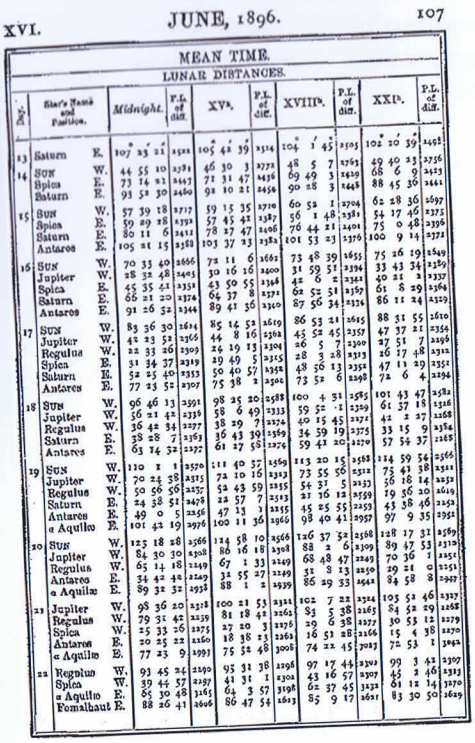
Tässä pohdinnassa on selvä analogia meidän aikaamme. Meillä tosin yleensä pohditaan, voiko turvallisuutensa perustaa sähkötoimisiin laitteisiin. Slocum ei täysin luota edes vieterivetoisiin mekaanisiin kronometreihin.

Kellonajan määrittäminen kuun avulla perustuu kuun nopeaan liikkeeseen. Kuu on ikäänkuin kellon viisari, joka kiertää maan – ja siis myös taivaanpallon – ympäri n. 28 vuorokaudessa. Jos kuun sijainti kyetään mittaamaan tarkasti, saadaan kellonaika selville. Teoreettinen 0,1' tarkkuus, johon hyvälaatuisen sekstantin asteikko antaa mahdollisuuden, tuottaisi n. 12 sekunnin tarkkuuden ajanmääritykseen. Tähän ei käytännössä pysty. Slocumin hyväksi mainitsema 8 mpk:n tarkkuus navigoinnissa tarkoittaa n. 1/4 kulmaminuutin tarkkuusvaatimusta sekstantin luvussa ja siten n. 30 sekunnin tarkkuutta kellonajan määrittämisessä, mikäli laskelmat tehdään muutoin moitteettomasti.

Myös **James Cook** perusti navigoinnissaan pituuspiirin määrityksen kuunavigointiin. Cook liikkui 1770-luvulla kartoittamattomilla vesillä ja hänen paikanmäärityshavaintojensa perusteella piirrettiin maailmankarttaa. James Cook arvioi kuun etäisyysmittausten perusteella päästävän n. 1/2 asteen tarkkuuteen longitudin määrityksessä (2 minuutin tarkkuteen kellonajassa). Tätä hän piti merenkulun tarpeisiin riitävänä.

Kuunavigoinnissa mitataan kuun kulmaetäisyys ekliptikan suunnassa johonkin ekliptikalla sijaitsevaan taivaankappaleeseen – kysymykseen tulee siis aurinko, planeetat ja ekliptikan tuntumassa sijaitsevat kiintotähdet. Näin siis periaatteessa. Käytännössä tässä on kuitenkin koko joukko korjauksia huomioitava. Koska kuu on niin lähellä maata, on parallaksi-ilmiön huomioon ottaminen tärkeää (Kuu näyttää olevan eri kohdassa tähtitaivasta, jos sitä katsoo samaan aikaan eri puolelta maapalloa.) Samoin on tarkkaan tiedettävä kuun näennäinen koko, jotta se voidaan ottaa huomioon mittauksissa.

Tästä aiheesta ei hyödyttäne tässä kirjoittaaa enempää, mutta olkoon tämä kuitenkin vihjeenä niille asianharrastajille, joiden tavoitteena on opiskella tähtitieteellisen navigonnin perinteisimpiä menetelmiä.



XVI. JUNE, 1896. 107

MEAN TIME.

LUNAR DISTANCES.

Day.	Star's Name and Position.		Midnight.	P.L. of dist.	XV h.	P.L. of dist.	XVIII h.	P.L. of dist.	XXI h.	P.L. of dist.
			° ′ ″	″	° ′ ″	″	° ′ ″	″	° ′ ″	″
13	Saturn	E.	107 23 21	2522	105 42 39	2514	104 1 45	2505	102 20 39	2495
14	SUN	W.	44 55 10	2381	46 30 3	2372	48 5 7	2363	49 40 23	2356
	Spica	E.	73 14 21	2447	72 31 47	2436	69 49 3	2429	68 6 9	2423
	Saturn	E.	93 52 30	2460	92 10 21	2456	90 28 3	2446	88 45 30	2441
15	SUN	W.	57 39 18	2717	59 15 35	2710	60 52 1	2704	62 28 36	2697
	Spica	E.	59 29 28	2392	57 45 42	2387	56 1 48	2381	54 17 46	2375
	Saturn	E.	80 11 6	2412	78 27 47	2406	76 44 21	2401	75 0 48	2396
	Antares	E.	105 21 15	2382	103 37 23	2382	101 53 23	2376	100 9 14	2372
16	SUN	W.	70 33 40	2666	72 11 6	2662	73 48 39	2655	75 26 19	2649
	Jupiter	W.	28 32 48	2405	30 16 16	2400	31 59 51	2394	33 43 34	2389
	Spica	E.	45 35 42	2352	43 50 55	2348	42 6 2	2342	40 21 2	2337
	Saturn	E.	66 21 20	2324	64 37 8	2371	62 52 51	2357	61 8 29	2364
	Antares	E.	91 26 52	2344	89 41 36	2340	87 56 34	2336	86 11 24	2329
17	SUN	W.	83 36 30	2614	85 14 52	2619	86 53 21	2615	88 31 55	2610
	Jupiter	W.	42 23 52	2366	44 8 16	2362	45 52 45	2357	47 37 21	2354
	Regulus	W.	22 33 26	2309	24 19 13	2304	26 5 7	2300	27 51 7	2298
	Spica	E.	31 34 37	2319	29 49 5	2315	28 3 28	2313	26 17 48	2312
	Saturn	E.	52 25 40	2333	50 40 57	2332	48 56 13	2332	47 11 29	2332
	Antares	E.	77 23 52	2307	75 38 2	2302	73 52 6	2298	72 6 4	2294
18	SUN	W.	96 46 13	2591	98 25 20	2588	100 4 31	2585	101 43 47	2582
	Jupiter	W.	56 21 42	2338	58 6 49	2333	59 52 -1	2329	61 37 18	2326
	Regulus	W.	36 42 34	2277	38 29 7	2274	40 15 45	2272	42 2 27	2268
	Saturn	E.	38 28 7	2363	36 43 39	2369	34 59 19	2375	33 15 9	2382
	Antares	E.	63 14 32	2297	61 27 58	2274	59 42 20	2270	57 56 37	2268
19	SUN	W.	110 1 1	2570	111 40 57	2569	113 20 15	2568	114 59 54	2566
	Jupiter	W.	70 24 38	2375	72 10 16	2372	73 55 56	2372	75 41 38	2372
	Regulus	W.	50 56 56	2235	52 43 59	2235	54 31 5	2233	56 18 14	2232
	Saturn	E.	24 38 52	2478	22 57 7	2503	21 16 12	2530	19 36 20	2619
	Antares	E.	49 0 5	2256	47 13 1	2255	45 25 55	2253	43 38 46	2252
	α Aquilæ	E.	101 42 19	2976	100 11 36	2966	98 40 41	2957	97 9 35	2952
20	SUN	W.	125 18 28	2566	124 58 10	2566	126 37 32	2568	128 17 31	2569
	Jupiter	W.	84 30 30	2408	86 16 18	2398	88 2 6	2389	89 47 53	2370
	Regulus	W.	65 14 18	2249	67 1 33	2249	68 48 47	2249	70 36 1	2251
	Antares	E.	34 42 42	2247	32 55 27	2249	31 8 13	2250	29 21 0	2251
	α Aquilæ	E.	89 32 32	2958	88 1 2	2939	86 29 33	2942	84 58 8	2907
22	Jupiter	W.	98 36 20	2328	100 21 53	2321	102 7 22	2324	103 52 46	2337
	Regulus	W.	79 31 42	2239	81 18 42	2261	83 5 38	2265	84 52 29	2268
	Spica	W.	25 33 26	2275	27 20 3	2276	29 6 38	2277	30 53 12	2279
	Antares	E.	20 25 22	2260	18 38 23	2262	16 51 28	2266	15 4 38	2270
	α Aquilæ	E.	77 23 9	2997	75 52 48	3008	74 22 45	3023	72 53 1	3042
23	Regulus	W.	93 45 24	2290	95 31 38	2296	97 17 44	2302	99 3 42	2307
	Spica	W.	39 44 57	2297	41 31 1	2302	43 16 57	2307	45 2 46	2313
	α Aquilæ	E.	65 30 48	3185	64 3 57	3198	62 37 45	3221	61 11 14	3270
	Fomalhaut	E.	88 26 41	2606	86 47 54	2613	85 9 17	2621	83 30 50	2629

Lainaukset suom. laitoksesta: Joshua Slocum
Yksinpurjehdus maapallon ympäri sekä Purjehdus Liberdadella Brasiliasta Amerikkaan, käännös Heikki Karkkolainen, kustantaja John Nurmisen säätiö 2005

(Huomaa, että Slocumin tekstissä käsite "standardiaika" tarkoittaa Greenwichin keskiaikaa GMT eli samaa kuin Universal Time UT nykyisessä kielenkäytössä.)

...Hitaasti, mutta varmasti pienen alukseni merkki liikkui kartalla pitkin merta sen yli vaeltaessaan, vaikka Sprayn köli suurimmalla nopeudellakin halkoi alusta kantavaa merta hyvin hitaasti. 43. päivänä maan jätettyäni - se on pitkä aika olla yksin merellä - ilma oli kirkkaan kaunis ja kuu "etäällä" auringosta, joten otin kuun korkeuden sekstantillani. Kolmen eri mittauksen perusteella, ja painittuani pitkään kuutaulukkojen kanssa, sain havainnon perusteella lasketuksi sen [Sprayn] sijainnin pituuspiirillä vain viiden mailin päähän merkintälaskun osoittamasta sijainnista.

Tulos oli loistava - vaikka kumpikin lasku saattoi olla väärin - mutta jotenkin olin varma, että molemmat laskut olivat lähes oikeita, ja että parin tunnin sisällä saisin maan näkyviini. Niin kävikin, sillä silloin sain kirkkaasti erottuvana ja korkeana näkyviini Nukahivan, joka on Marquesassaarista eteläisin. Ollessani saaren tasalla, varmistettu pituuspiiri asettui kahden aiemman arvioni väliin, mikä on kerrassaan poikkeuksellista. Kuka tahansa navigaattori voi todistaa, että alus saattaa päivästä uuteen päivään kulkiessaan edistää tai jätättää kirjanpidossaan yli viisi mailia, ja mitä kuupurjehtijoihin tulee, pidetään kuunavigoinnin asiantuntijoitakin erittäin tarkkoina, jos heidän keskierheensä pysyy kahdeksan mailin päässä todellisesta sijainnista.

Toivon olevan selvää, etten laskutulosteni perusteella pyri näyttämään liian pystyvältä tai ahkeralta kaskijalta. Olen jo tainnut todeta, että ainakin pituuspiirin pidin pääosin intuition varassa. Minulla oli koko ajan meressä loki, mutta merivirtauksille ja sivupoikkeamalle on annettava niin suuri tulkintavara, jota loki ei koskaan osoita, että parhaimmillaankin sen näyttö on vain likiarvo, joka on korjattava tuhansien matkojen tuomalla kokemuksella. Vielä silloinkin aluksen päällikkö, jos hänellä on älliä päässään, määrää keulaan luotiliinan ja mastoon tähystäjän.

...Olin nyt "en rapport" ympäristöni kanssa ja tunsin kulkevani suuressa virrassa hänen kätensä kannattelemana, joka loi kaikki maailmat. Ymmärsin niiden liikkeiden matemaattiset lainalaisuudet, joiden perusteella matemaatikot voivat laatia taulukot niiden [taivaankappaleiden] asemasta halki vuosien ja päivien ja päivän minuuttien niin tarkasti, että viidenkin vuoden kuluttua purjehtija voi merellä niiden avulla määrittää minkä tahansa meridiaanin standardiajan.

Paikallisen ajan määrittäminen on yksinkertaisempi asia. Paikallisen ajan ja standardiajan ero on longitudi aikana ilmaistuna - neljä minuuttia, kuten tiedetään edustaa yhtä astetta. Tämä on lyhyesti sanottuna periaate pituuspiirin määrittämiseksi ilman kronometria. Kuunavigointi, vaikka sitä harvoin harrastetaankin näinä kronometrin valta-aikoina, on hieno ja mieltäylentävä kokemus, eikä mikään navigoinnin alalla lämmitä sydäntä tai anna aihetta riemuun, niin kuin se.

Alkuteos:
Joshua Slocum
Sailing alone around the world
Century Company, New York, 1900