

Auringonnousuista akselin kaltevuuteen

Korona-aika oli tähtitieteilijän unirytmille otollista aikaa. Viimeistelin noihin aikoihin väitöskirjaani, mikä oli hyvin itsenäistä työtä. Kotona eristyksissä saatoinkin tehdä töitä mihin kellonaikaan tahansa, ja samaten nukkua vaikka keskellä päivää. Tavallisesti en ole aamuihmisiä, mutta noihin aikoihin unirytmieni kävi niin epäsäännölliseksi, että olin useinkin hereillä auringonnousun aikaan – useammin vasta menossa nukkumaan kuin jo hereillä.

Tästä innostuin käymään toisinaan katselemassa auringonnousua. Lähellä kotiani Itä-Helsingissä on sopivan korkea mäki, Vuosaarenhuippu, josta on esteetön näkyvyys joka suuntaan. Ja upealtahan se nouseva aurinko näyttää pilvettömällä taivaalla. Katsellessani, miten kaikkea maapallon elämää ylläpitävä tähti lipui hitaasti esiin horisontista, keksin, että voisin huvin vuoksi mitata, miten paljon auringonnousun suunta vaihtelee vuoden mittaan. Niinpä otin projektikseni, että aina ollessani hereillä tähän aikaan vuorokaudesta, jos taivas näyttäisi aamun valjetessa riittävän pilvettömältä, tulisin tänne samaan paikkaan toistamaan mittauksen.

Seuraavalla kerralla mukana olikin kompassi, sekä kynä ja paperia, ja toki puhelimessa kello. Auringon nousuajat tiedetään tietysti tarkasti, mutta aina vain parempi jos varmistan, että sekin ennustetaan varmasti oikein. Niinpä jäin käyttämään punaista horisonttia, valmiina reagoimaan ensivilaukseen, joka lähitähtemme kiekosta erottuisi. Kun se lopulta nousi horisontin ylle, tarkistin suunnan kompassista, kirjasin sen ylös ja katsoin sitten kellonajan – kyllähän se oli aina ennustettu minuutilleen oikein. Ihailutani hetken kaunista näkymää kelpasi lähteä kotiin nukkumaan, uuden mittaussarjan ensimmäinen datapiste taskussa. Mitä näillä mittauksilla sitten voisi tehdä? Sitä en vielä tässä vaiheessa tiennyt, mutta luotin, että jotain mielenkiintoista niistä voisi keksiä.

Toistin mittauksia samanlaisina läpi kevään ja kesän. Kerran kävin myös mittaamassa auringonlaskun suunnan. Silloin paikalla oli kuitenkin huomattavan paljon väkeä. Tuntui lievästi kiusalliselta tihrustaa mittauskiveltäni, auringon kiekon näkymättömiin häviämistä odotellessani, suoraan kohti pariskuntaa, joka oli auringonlaskun edessä näkymää ihailemassa. Niinpä päätin, että tämä projekti on mukavampi toteuttaa aamutuimaan ylhäisessä yksinäisyydessä, jolloin harvat ovat jalkeilla. Auringonlaskut saivat osaltani jäädä.

Mittauksista matematiikkaan

Mittapisteitä auringonnousuista kertyi kaiken kaikkiaan seitsemän. Nämä ajoittuivat helmikuun ja syyskuun 2021 välille. Pyrin saamaan mittapisteitä mahdollisimman tasaisesti ympäri vuotta, vaikka lopulta kyllästyinkin ennen kuin koko vuosi oli täynnä – ja sää oli toki ratkaisevassa roolissa mittausajankohtien valinnan kannalta, kuten yleensäkin tähtitieteessä ja -harrastuksessa. Ylös kirjatut tiedot olivat jokaiselle mittauskerralle auringonnousun kompassisuunta sekä kellonaika. Kellosta täytyy vielä muistaa kesäaikana vähentää lukemasta yksi tunti.

Entä sitten, kun mittaukset olivat kasassa? Mihin voisin tätä havaintosarjaa käyttää? Mitä voisin aineistostani päätellä?

Aina välillä pohdiskelin asiaa, mutta vastaus ei tuntunut ilmiselvältä. Lopulta meni pari vuotta ennen kuin innostuin oikeasti hahmottelemaan tilannetta kynällä ja paperilla riittävän pitkälle, jotta keksin mitä näistä havainnoista voisi laskea. Tohtorin tutkintokaan ei tee Maan ja auringon välisen geometrian hahmottamisesta erityisen yksinkertaista, vaan tilannetta täytyi oikeasti miettiä ajan kanssa.

Mittauksistani pystyy kuitenkin laskemaan kaksi asiaa: joko Maan akselin kaltevuuden, kun tiedän sijaintini planeetallamme, tai vaihtoehtoisesti pohjoisen leveysasteeni, kun tiedän akselin kaltevuuden. Tämä vaati jonkin verran pätkäilyä, mutta näille voi johtaa seuraavanlaiset yhtälöt:

$$\theta = 90^\circ - \arcsin(\sin(\phi) / \cos(90^\circ - \alpha)).$$

sekä

$$\phi = \arcsin(\sin(90^\circ - \theta) \cdot \cos(90^\circ - \alpha)),$$

Tässä θ on leveyspiiri jolta mittaus tehdään, ϕ maapallon akselin kallistumiskulma ja α merkitsee suurinta mahdollista kulmaa auringonnousun suunnan ja idän välillä.

Mahtavaa! Ensin täytyy kuitenkin vielä laskea itse mittauksista lukuarvo sille, miten paljon auringonnousun suunta vuoden mittaan vaihtelee. Tämä onnistuu tietokoneelle ohjelmoidulla mallilla, joka sovittaa matemaattisen sinikäyrän havaintoihini. Kevät- ja syyspäiväntasauksen aikaan aurinko nousee suoraan idässä, muina aikoina idän ja auringonnousun välillä on tietty kulma. Tämä kulma on suurimmillaan kesä- tai talvipäivänseisauksen aikaan, joihin sovitettuna käyrän huippujen siten tulisi osua. Näin saan laskettua tarvitsemäni kulman α , joka osoittautuu olevan 64 astetta. Nyt on kasassa kaikki, mitä tarvitsen.

Tulos ainakin sinnepäin

Itse asiassa saman laskun voisi tehdä mittaamalla auringonnousun suunnan pelkästään kesä- tai talvipäivänseisauksena, sillä tästä saisi jo halutun kulman. Mutta aina vain parempi tehdä mittauksia ympäri vuoden, joista näkee, että aurinko todella liikkuu oletetulla tavalla.

Kokeillaan ensin laskea leveyspiiri, jolta mittaukset tein. Tämä tehdään sillä oletuksella, että Maan akseli on kallistunut tunnetut 23.5 astetta. Syöttämällä numerot sisään ensimmäiseen kaavaan, tulee tulokseksi 64 astetta pohjoista leveyttä. Melko lähelle!

Toiseen kaavaan taas syötetään Helsingin todellinen pohjoinen leveysaste, eli noin 60 astetta. Tästä saamme Maan akselin kaltevuudeksi noin 27 astetta. Taaskin melkoisen lähelle kaltevuuden todellisuutta!

Muutaman asteen poikkeamat todellisista arvoista selittynevät lukuisilla pieniä virheitä aiheuttavilla tekijöillä, joita tässä ei ole huomioitu. Mieleen tulevat ainakin epätarkat

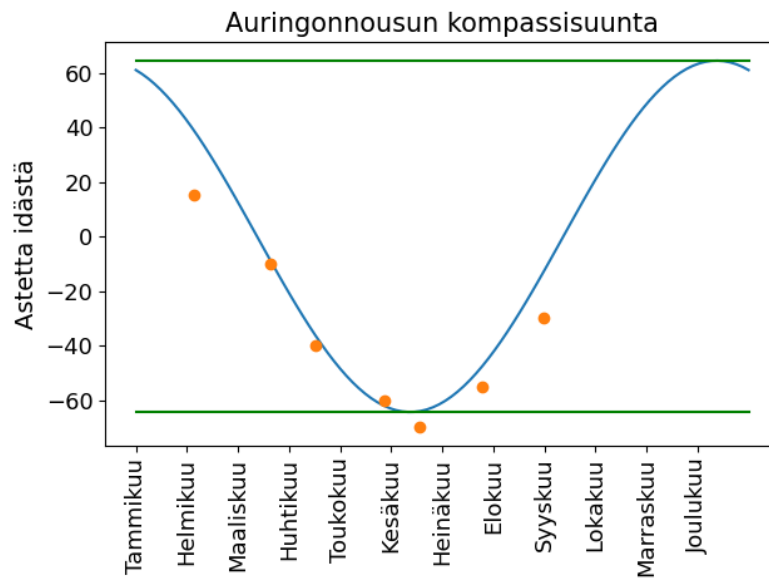
mittalukemat auringonnousun suunnalla (arvioin suunnan viiden asteen tarkkuudella, ja joissain tapauksissa arviointia vaikeuttavan ohuen pilviharson läpi), laskuissa oletetut täydelliset ympyräradat, kompassipohjoisen ja todellisen pohjoisen välinen ero sekä ilmakehän refraktio, joka taittaa horisontissa nousevan auringon valoa, jolloin me näemme auringonnousun jo hieman ennen kuin tähtemme todellisuudessa on horisontin suunnalla. Tällaiset tekijät olisi huomitoitava, jos tarkoitus olisi tehdä oikeasti tarkkaa tiedettä. Mittapisteitä ei myöskään ole erityisen paljon, ottaen huomioon, että mittaustarkkuus ei ole kummoinen. Tähän nähden olen jopa yllättynyt siitä, miten tarkan tuloksen laskuni antoi!

Koe siis toimi toivotulla tavalla. Mitäpä tästä nyt opin? Muutama aikainen aamuherätys tai aamuun asti valvottu yö, paljon selkeiden aamujen kyttäilyä, tervettä ulkoilua aamutuimaan sekä rutkasti aivonystyröiden vaivaamista – nämähän ovat jo itsessään kokeilemisen arvoisia. Mutta ennen kaikkea tulin osoittaneeksi itselleni, että maapallosta oppikirjoissa listattuja lukuarvoja on mahdollista tarkistaa itse – niinhän ne on alun perinkin laskettu. Kaiken kaikkiaan tähtitieteilijälle sopiva harrastusprojekti.

Taulukko mittauksista:

Päivämäärä Kellonaika (ilman kesäaikaa) Kompassisuunta (astetta idästä)

4.2.	8.27	15
22.3.	6.15	-10
18.4.	4.51	-40
29.5.	3.09	-60
19.6.	2.52	-70
26.7.	3.44	-55
1.9.	5.12	-30



Kuvateksti: Auringonnousun ilmansuunta Vuosaarenhuipulta nähtynä eri aikaan vuodesta. Idästä etelään päin mentäessä lukema on positiivinen, pohjoista kohti taas negatiivinen. Oranssit pallot osoittavat yksittäiset mittaukset, joihin on sovitettu sininen käyrä. Vihreät viivat osoittavat käyrän huippukohdat, jolloin auringonnousu on kauimmillaan idästä.



Kuvateksti: Auringonnousu Vuosaaren huipulta nähtynä. Edessä Vuosaaren satama.



Kuvateksti: Auringonnousun suunta mitataan kompassin avulla.