

# Miten GPS-korkeudet eroavat vaaituista?

**GPS on viimeisen kahden vuosikymmenen aikana korvannut kiihtyvällä vauhdilla perinteisiä maanmittausmenetelmiä sijainnin ja korkeuden määrittämisessä. GPS-korkeudet ovat kuitenkin luonteeltaan erilaisia kuin perinteiset vaaitut korkeudet.**

Onkin hyvä perehtyä tarkemmin GPS:llä mitattuihin korkeuksiin: Minkälaisia korkeuksia GPS antaa? Kuinka tarkkoja nämä korkeudet ovat ja miten ne liittyvät kansallisiin korkeusjärjestelmiin kuten N60- ja N2000-korkeuksiin?

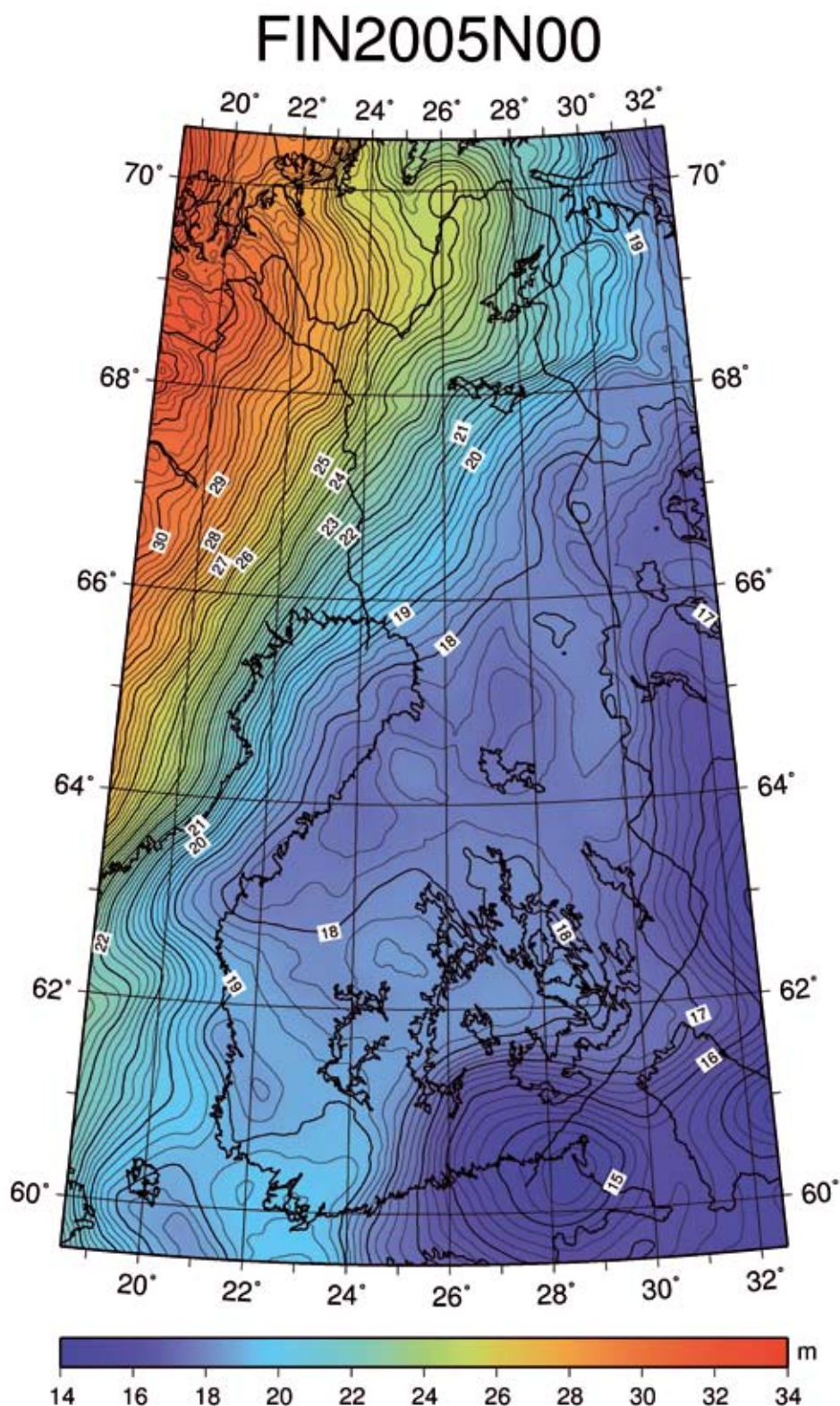
GPS:llä koordinaatit mitataan kolmiulotteisessa koordinaattijärjestelmässä (X,Y,Z). Tavallisesti nämä muunnetaan maantieteelliseksi koordinaateiksi, joiden komponentit ovat leveysaste ( $\phi$ ), pituusaste ( $\lambda$ ) ja korkeus ( $h$ ) vertausellipsoidista. GPS:llä mitattu korkeus on siis mittauspisteen ja vertausellipsoidin välinen etäisyys.

## Virhe-ellipsi muistuttaa kananmunaa

GPS-koordinaattien kolmesta komponentista korkeus on heikoimmin määritetty. Suurin syy tähän on GPS-satelliittien sijainti taivaalla eli satelliittigeometria. Kaikki satelliitit ovat yläpuolellamme, joka johtaa

*GPS-korkeuksilla ei ole fyysikaalista merkitystä ja ne eivät liity mitenkään meren pintaan, jonka suhteen perinteiset korkeudet yleensä mitataan.*

yksipuoliseen geometriaan. Lisäksi muun muassa ilmakehän vaikutus mittaustarkkuuteen on suurin juuri korkeuskomponentissa. Korkeus-tarkkuus olisi paljon parempi, jos voisimme havaita satelliitteja myös



Suomen uusiin geoidimalli FIN2005N00 on muunnospinta, jolla GPS-korkeuksia voidaan muuntaa N2000-korkeuksiksi. (Kuva: Mirjam Bilker-Koivula.)

alhaalta maapallon läpi.

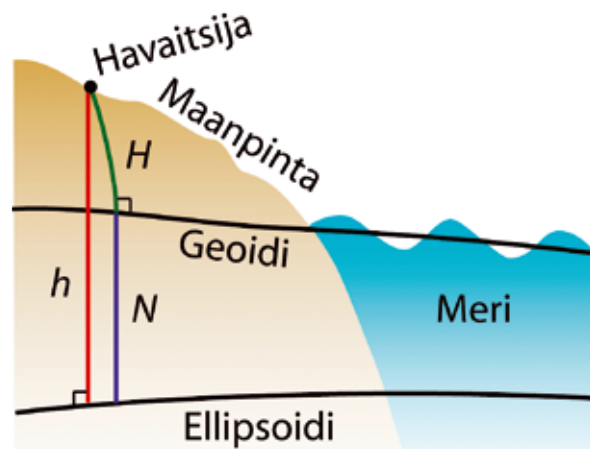
GPS-koordinaattien kolmiulotteinen tarkkuus korkeussuunnassa

on puolitoista tai kaksi kertaa huonompi kuin itä- ja pohjoissuunnassa. Virhe-ellipsi muistuttaa siis muodol-



KUVA: PASI HÄKLI

Staattista GPS-mittausta Ahvenanmaalla.



KUVA: MIRJAM BILKER-KOIVULA

GPS:llä mitattu ellipsoidikorkeus ( $h$ ), korkeus merenpinnasta ( $H$ ), ja geoidikorkeus ( $N$ ).

taan kananmunaa.

Paras mahdollinen GPS:llä mitattujen korkeuksien tarkkuus saavutetaan, kun käytettävissä on paljon satelliitteja. Tarkkuus huononee nopeasti, kun näkyvissä olevien satelliittien määrä vähenee esimerkiksi rakennusten tai puiden estäessä satelliittisignaalin kulkua.

Käsi-GPS:llä saavutettava korkeustarkkuus on parhaassakin tapauksessa vain muutamia metrejä. Käyttämällä staattista relatiivista GPS-mittausta voidaan pitkillä havaintojaksoilla ja avoimilla paikoilla saavuttaa jopa alle senttimetrin korkeustarkkuus. Sekä reaaliaikainen kinemaattinen mittaus RTK (Real-Time Kinematic) että pysyvien GPS-tukiasemien verkon avulla toimiva virtuaalitukiasemamenetelmä (VRS™) antavat korkeuksia, joiden tarkkuusvirhe jää yleensä alle viiden senttimetrin.

### GPS-korkeus ei kerro, mihin suuntaan vesi valuu

GPS:llä mitattujen pisteiden väliset korkeuserot kertovat, mikä piste on kauempana vertausellipsoidista, mutta eivät sitä, mitkä pisteistä ovat lähempänä merenpintaa, tai mihin suuntaan vesi valuu.

Vertausellipsoidi on geometrinen muoto, joka on sijoitettu siten, että se kuvaa mahdollisimman tarkasti maapallon muotoa. GPS-korkeuksilla ei siis ole fyysikaalista merkitystä ja ne eivät liity mitenkään meren pintaan, jonka suhteen perinteiset korkeudet yleensä mitataan.

Maanmittarit ovat mitanneet korkeuksia vaaitsemalla. Vaaitsemalla voidaan korkeuksia määrittää erittäin tarkasti. Kun vaaitusverkot liitetään mareografeihin, saadaan korkeuksia merenpinnasta. Tällainen on esimerkiksi Suomen N60-korkeusjärjestelmä. N60-korkeusjärjestelmän lähtötaso on Helsingin mareografien vuosien 1935–1954 havaintojen perusteella määritetty teoreettinen keskivedenpinta vuoden 1960 alussa. Uuden N2000-korkeusjärjestelmän lähtötaso on määritetty eurooppalaisen korkeusjärjestelmän lähtötason mukaan NAP (Normaal Amsterdams Peil).

Vapaa valtameri asettuu lepotilanteessa muotoon, jota kutsutaan geoidiksi. Geoidi on jatkuva pinta, joka yhdistää valtameret ja jatkuu myös mantereiden ali. Voimmekin sanoa että N60- ja N2000-korkeudet liittyvät lähtötasoihin, jotka muistuttavat geoidipintaa.

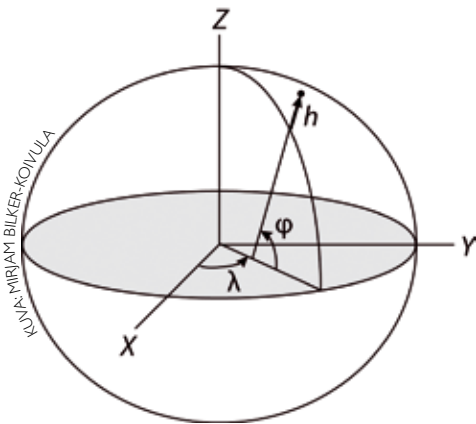
Geoidi on fyysikaalinen pinta, jonka tarkka muoto ja paikka kolmiulotteisessa avaruudessa on vaikea määrittää. Geoideja voidaan kuvata geoidimalleilla, joissa annetaan geoidipinnan ja vertausellipsoidin väliset etäisyydet. Geoidimallit lasketaan painovoimahavainnoista, jotka voivat olla satelliitti-, ilma-, laiva- ja maanpäällisiä mittauksia.

Kun tunnetaan geoidinkorkeus ( $N$ ) eli geoidipinnan etäisyys ellipsoidista, voidaan GPS:llä mitatut ellipsoidiset korkeudet ( $h$ ) muuntaa esimerkiksi vaaituiksi N60- tai N2000-korkeuksiksi ( $H$ ) seuraavalla kaavalla:

$$H_{\text{vaaitus}} = h_{\text{GPS}} - N_{\text{geoidimalli}}$$

### Kansainväliset ja kansalliset geoidimallit

Geoidimalleja on saatavissa eri mitataavoissa. On olemassa globaaleja malleja, kuten esimerkiksi laajasti käytetty EGM96-malli, jonka tarkkuus on maailmanlaajuisesti noin metri mutta Suomessa noin 20 cm. Alueellisia geoidimalleja ovat esimerkiksi eurooppalainen EGG97 ja pohjoismaiset NKG96 ja NKG2004. Näiden mallien tarkkuus on viiden ja kymmenen senttimetrin välillä.



Kolmiulotteiset koordinaatit  $(X, Y, Z)$  ja maantieteelliset koordinaatit  $(\varphi, \lambda, h)$ .

Kansainvälisten mallien lisäksi on myös kansallisia malleja, joita käytetään kansallisten korkeusjärjestelmien yhteydessä. Suomessa on kaksi geoidimallia: N60-korkeus-

järjestelmän yhteydessä käytettävä FIN2000 ja uuden N2000-korkeusjärjestelmän kanssa käytettävä FIN2005N00. FIN2000-mallilla voidaan GPS:llä mitatut EUREF-FIN ellipsoidikorkeudet muuntaa N60-korkeuuksiksi kolmen senttimetrin tarkkuudella. Uusin geoidimalli on FIN2005N00, jolla EUREF-FIN ellipsoidikorkeudet voidaan muuntaa N2000-korkeudeksi noin kahden senttimetrin tarkkuudella. Suurimmat muunnosvirheet molemmilla malleilla ovat alle 10 cm.

Suomen geoidimallit ovat pistehiloja, joissa jokaiselle hilapisteelle annetaan geoidinkorkeus. Hiloista voidaan interpoloida geoidikorkeudet havaintopaikoille. Havaintopaikan GPS:llä mitattu ellipsoidikor-

keus voidaan sitten interpoloidulla geoidikorkeudella muuntaa N60- tai N2000-korkeudeksi yllä olevan kaavan avulla.

Käytännössä geoidimallit on usein integroitu GPS-laitteisiin ja -ohjelmiin. Riippuen asetuksista käyttäjät voivat saada suoraan laitteista tai ohjelmasta tasolle projisoituja koordinaatteja sekä N60- tai N2000-korkeuksia. Tällöin on hyvä muistaa, että mitatun korkeuden tarkkuus on kombinaatio GPS:n korkeusmäärittelyn ja geoidimallin tarkkuudesta.

MIRJAM BILKER-KOIVULA  
GEODEETTINEN LAITOS

Kirjoittaja työskentelee Geodeettisella laitoksella vanhempana tutkijana.  
Sähköposti: Mirjam.Bilker@fgi.fi

> 24/7 lupa rakentaa

> Tekla Xcityn rakennusvalvonnan sähköinen asiointi pitää toimiston avoinna 24/7.

[www.tekla.com](http://www.tekla.com)

 **TEKLA**  
Xcity