

JHS 163 Suomen korkeusjärjestelmä N2000

Versio: 2.1

Julkaistu: 10.10.2019

Voimassaoloaika: toistaiseksi

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Soveltamisala	2
3	Termit ja lyhenteet	3
4	Suosittelavat korkeusjärjestelmät	8
4.1	EVRS-korkeusvertausjärjestelmä	8
4.2	EVRS-korkeusvertausjärjestelmän Euroopan laajuinen realisoiminen	9
4.3	EVRS-korkeusvertausjärjestelmän realisoiminen Suomessa, N2000	10
4.4	Kiintopisteiden käyttö	15
5	N2000-korkeusjärjestelmään liittyvät muunnokset	16
5.1	Geoidimallit	16
5.2	Muunnokset muista korkeusjärjestelmistä	17
6	Opastavat tiedot	17
6.1	Lähteet	17
7	Viittaukset	18
8	Liitteet	19

1 Johdanto

Suosituksessa määritellään Suomen valtakunnallinen korkeusjärjestelmä N2000. Suositus on luonteeltaan tekninen ja se on tarkoitettu paikkatietoaineistojen ja -järjestelmien tuottajille ja käyttäjille. N2000-korkeusjärjestelmää suositellaan käytettäväksi valtakunnallisissa ja paikallisissa kartastotöissä ja paikkatietopalveluissa.

Korkeusjärjestelmän määrittely koostuu joukosta vakioita, joiden avulla luodussa realisaatiossa pisteen korkeus voidaan ilmoittaa yksikäsitteisesti. Korkeusjärjestelmä määrittelee korkeuden nollatason eli vertauspinnan ja se realisoidaan maastoon mitattujen korkeuskiintopisteiden avulla. Korkeusjärjestelmät liittyvät painovoimaan, jolloin korkeuden vertauspintana on paikallisen keskimerenpinnan tai nollatason määrittelevän lähtöpisteen kautta kulkeva geoidi tai sitä läheisesti approksimoiva kvasigeoidi. Geoidi on maan painovoimakentän potentiaalin eli geopotentialin tasa-arvopinta, jonka mukaisesti vapaa vedenpinta asettuu. Geopotentialiin sidottu järjestelmä on luonnollinen, koska veden virtaus tapahtuu potentiaalierojen mukaisesti. Korkeuksista puhuttaessa käytetäänkin usein sanontaa ”korkeus merenpinnasta”. Suomen aiemmat valtakunnalliset korkeusjärjestelmät NN, N43 ja N60 on sidottu Helsingin keskivedenpintaan. N2000 on sidottu yleiseurooppalaisen EVRS-korkeusvertausjärjestelmän määrittelyjen mukaisesti Normaal Amsterdams Peil (NAP) -lähtötasoon joka viittaa merenkorkeuteen Amsterdamissa.

Jääkauden jälkeisen maannousun takia korkeudet ja korkeussuhteet muuttuvat, joten korkeusjärjestelmä on uusittava aika ajoin. N60-korkeusjärjestelmän käyttöönoton jälkeen maa on noussut Pohjanmaalla enimmillään yli 40 cm. Kiintopisteiden väliset korkeuserotkaan eivät vanhoissa järjestelmissä ole enää oikeita maankuoren kallistumisen johdosta. Satamien vedenkorkeudet, vesiväylät ja muu vesirakentaminen

JUHTA - Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta

ovat esimerkkejä tarkkoja ajantasaisia korkeuksia ja korkeussuhteita vaativista asioista. Myös yhteydet eurooppalaisiin järjestelmiin sekä paikkatietoon liittyvä EU:n direktiivi (INSPIRE) edellyttävät modernia ajantasaista korkeusjärjestelmää.

Suomen ensimmäinen tarkkavaaitus (1892-1910) kattoi maan eteläpuolisen osan Kajaani-Oulu-Tornio-linjan tasalle. Siihen perustuvan NN-järjestelmän lähtötasona oli Helsingin Katajanokan siltaan kiinnitetyn vesiasteikon nollapiste. Se vastasi Helsingin keskivedenpinnan tasoa vuonna 1943. Korkeusjärjestelmässä ei ollut mahdollista ottaa huomioon maannousua. Kiintopisteiden väliset korkeuserot vastaavat likimain maannousun tilannetta vuonna 1900, mikä oli vaaituksen keskimääräinen suoritusajankohta.

Toinen valtakunnallinen tarkkavaaitus mitattiin useammassa vaiheessa vuosina 1935-1975. Tarkkavaaituksen edetessä maahan luotiin tilapäiseksi tarkoitettu korkeusjärjestelmä N43, jolla on sama lähtötaso kuin NN-järjestelmällä. Mittauksen aikana tapahtunutta maannousua ei ole laskennassa otettu huomioon, mutta myös kiintopisteiden väliset korkeuserot vastaavat likimain tilannetta vuonna 1943.

N60-korkeusjärjestelmä luotiin tasoittamalla toisen tarkkavaaituksen vaaitusverkko geopotentialilukuja käyttäen. Eri aikoina suoritettujen vaaitusten avulla laskettiin maannousuluvut, joita käyttäen kiintopisteiden korkeuserot redukoitiin epookkiin 1960.0. Lähtökorkeudeksi valittiin Helsingin vuosien 1935-1954 havaintojen perusteella laskettu keskivedenpinta samoin epookissa 1960.0.

N2000-korkeusjärjestelmä pohjautuu kolmanteen tarkkavaaitukseen, joka on tehty vuosina 1978-2006. Kiintopisteiden korkeuserot on redukoitu epookkiin 2000.0 käyttäen yhteispohjoismaista maannousumallia. Järjestelmä on eurooppalaisen EVRS-järjestelmän realisaatio, ja täyttää siten EU:n INSPIRE-direktivin toimeenpanoasetuksen vaatimukset.

2 Soveltamisala

Tämä julkisen hallinnon suositus on tarkoitettu paikkatietoaineistojen ja -järjestelmien tuottajille ja käyttäjille. Suositus on luonteeltaan tekninen ja siinä määritellään Suomen valtakunnallinen korkeusjärjestelmä N2000. Suosituksen tarkempien osioiden ymmärtäminen ja käyttö edellyttävät perustietoja geodesiasta.

N2000-korkeusjärjestelmää suositellaan käytettäväksi valtakunnallisissa kartastotöissä ja paikkatietopalveluissa. N2000-korkeusjärjestelmää suositellaan käytettäväksi myös alueellisissa ja paikallisissa kartastotehtävissä, paikkatietopalveluissa ja hankkeissa, joissa käsitellään korkeustietoja tai laaditaan korkeusasemaan sidottuja suunnitelmia tai päätöksiä. Korkeusjärjestelmään liittyvää geoidimallia FIN2005N00 pitää käyttää GNSS-havaintojen (Global Navigation Satellite System) yhteydessä, kun satelliittipaikannuksella havaittuja korkeuksia muunnetaan N2000-korkeusjärjestelmään.

Suosituksen tavoitteena on yhtenäistää korkeusjärjestelmien käyttöä Suomessa. Tässä suosituksessa annetaan ohjeita ja muunnosmenettelyjä, jotka helpottavat siirtymistä aiemmista järjestelmistä N2000-korkeusjärjestelmään.

3 Termit ja lyhenteet

Geodeettisten järjestelmien kuvaamiseksi on käytettävissä kaksi käsitteistöä ja niitä vastaavaa termikokoelmaa: IAG:n ja IAU:n luoma geodesian terminologia, ja toisaalta paikkatiedon standardi ISO19111. IAG-IAU:n käsitteistössä geodeettisten järjestelmien teoreettiset periaatteet ja toisaalta näiden periaatteiden käytännön realisaatio erotetaan eri käsitteiksi. Edellisestä käytetään yleistermiä *vertausjärjestelmä* ja jälkimmäisestä *vertauskehys*; korkeuksiin sovellettuna *korkeusvertausjärjestelmä* ja *korkeusvertauskehys*. ISO19111 ei erottele teoriaa ja sen realisaatiota, vaan korkeusjärjestelmä sisältää molemmat aspektit. IAG-IAU:n käsitteistö on rakennettu geodeettisten järjestelmien luomista ja ylläpitoa varten. ISO19111:n näkökulma taas on geodeettisten järjestelmien hyödyntäminen paikkatiedossa. **Voidaan sanoa, että IAG-IAU:n ja ISO19111:n geodesian sanastojen rajapinta on datumi: IAG-IAU:n käsitteistöllä kuvataan sitä, miten datumi (korkeuksien yhteydessä korkeusdatumi) luodaan, ja ISO 19111:n käsitteistöllä sitä, miten datumin ja koordinaatistojen yhdistelmiä sovelletaan paikkatiedossa.** Tässä suosituksessa käytetään molempia käsitteistöä. Seuraavassa sanastossa on käsitteille jotka kuuluvat erityisesti IAG-IAU-termistöön annettu aihepiiritunniste <geodesia>. Vastaavasti ISO19111-standardiin pohjautuville termeille on annettu aihepiiritunniste <paikkatietotekniikka>.

epookki

sv: epok
en: epoch

ajanhetki, johon ajallisesti muuttuva suure tai ilmiö kiinnitetään

geoidi

sv: geoid
en: geoid

Maan painovoimakentän potentiaalin tasa-arvopinta, joka parhaiten yhtyy meren keskivedenpintaan joko globaalisti tai paikallisesti

geoidimalli

sv: geoidmodell
en: geoid model

geoidin numeerinen estimaatti

geopotentialiaali

sv: geopotential
en: geopotential

maan painovoimakentän potentiaali

geopotentialiluku

sv: geopotentialtal
en: geopotential number

havaintopisteen ja geoidin potentiaalien välisen erotuksen vastaluku

Geodesiassa geopotentialiaali määritellään siten, että se pienenee ylöspäin. Geopotentialiluku on nolla geoidilla ja kasvaa ylöspäin.

keskivuoksijärjestelmä

sv: medeltidjord
en: mean-tide system

pysyvän vuoksen järjestelmä, jossa geodeettinen suure sisältää vuoksivoimien pysyvän osan, sen aiheuttamaa Maan pysyvän deformaation sekä pysyvän deformaation aiheuttaman pysyvän muutoksen Maan painovoimakentässä

<paikkatietotekniikka>

korkeusdatumi

sv: vertikalt datum, höjddatum
en: vertical datum

datumi, joka määrittelee painovoimaan liittyvien korkeuksien tai syvyyksien suhteen Maahan

Etenkin vanhemmassa kirjallisuudessa datumilla korkeusjärjestelmän yhteydessä tarkoitetaan usein vain lähtötasoa. Edellä mainitun suhteen määrittelemiseen tarvitaan kuitenkin muutakin kuin lähtötaso.

<paikkatietotekniikka>

korkeusjärjestelmä

sv: höjdsystem
en: vertical coordinate reference system

yksiulotteinen koordinaattijärjestelmä, joka perustuu korkeusdatumiin

N2000 on Suomen valtakunnallinen korkeusjärjestelmä.

korkeusmuunnospinta; geoidimalli

sv: geoidmodell, höjdkorrektionsmodell
en: height transformation surface; height correction surface; height corrector surface; geoid model; fitted geoid

pinta, jonka avulla painovoimaan liittyvä korkeus voidaan laskea ellipsoidisesta korkeudesta

FIN2000 ja FIN2005N00 ovat korkeusmuunnospintoja.

<geodesia>

korkeusvertausjärjestelmä

en: vertical reference system

yksiulotteinen, korkeussijainnin ilmaisemiseen käytettävä vertausjärjestelmä

Korkeusvertausjärjestelmässä käytetään geopotentialilukuja ja/tai painovoimaan liittyviä korkeuksia (normaalikorkeus, ortometrinen korkeus tai dynaaminen korkeus).

Esimerkki korkeusvertausjärjestelmästä on Euroopan korkeusvertausjärjestelmä EVRS.

<geodesia>

korkeusvertauskehys

en: vertical reference frame

korkeusvertausjärjestelmän realisaatio

Korkeusvertauskehys voidaan realisoida käyttäen vaaitusta ja kiintopisteistöä tai terrestrisen vertauskehyksen ja korkeusmuunnospinnan avulla.

Korkeusvertauskehys on käsitteellisesti lähellä paikkatietotekniikan käsitettä korkeusdatumi.

JUHTA - Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta

N2000 on Suomen kansallinen korkeusvertauskehys, joka on EVRS-korkeusvertausjärjestelmän realisaatio Suomessa.

kvasigeoidi

sv: kvasigeoid
en: quasi-geoid

maanpinnalta alaspäin mitattujen normaalikorkeuksien päätepisteiden muodostama pinta

Kvasigeoidi on normaalikorkeuksien lähtötaso.

Kvasigeoidi yhtyy geoidiin merenpinnan tasolla, mutta muuten saattaa poiketa siitä; sitä enemmän, mitä korkeammalla merenpinnan tasosta ollaan.

Suomessa kvasigeoidi poikkeaa geoidista korkeintaan 11 cm.

kvasigeoidimalli

sv: kvasigeoidmodell
en: quasi-geoid model

kvasigeoidin numeerinen estimaatti

NKG2004 ja NKG96 ovat kvasigeoidimalleja.

nollavuoksijärjestelmä

sv: nolltidjord
en: zero-tide system

pysyvän vuoksen järjestelmä, jossa geodeettinen suure ei sisällä vuoksivoimien pysyvää osaa, mutta kylläkin pysyvän osan aiheuttaman Maan pysyvän deformaation ja Maan pysyvän deformaation aiheuttaman pysyvän muutoksen painovoimakentässä

normaalikorkeus

sv: normalhöjd
en: normal height

havaintopisteen kanssa samalla ellipsoidin normaalilla sijaitsevan hypoteettisen vastinpisteen korkeus vertausellipsoidista, kun vertausellipsoidin ja vastinpisteen potentiaaliero normaalipainovoimakentässä on sama kuin havaintopisteen geopotentialiluku

Normaalikorkeus lasketaan havaintopisteen ja korkeusdatumien nollatason välisestä geopotentialierosta. Tämä geopotentialiero jaetaan keskimääräisellä normaalipainovoimalla vastinpisteen ja ellipsoidin välillä.

Kvasigeoidi määritellään normaalikorkeuden avulla, jolloin normaalikorkeus on havaintopisteen ja kvasigeoidin välinen etäisyys.

Normaalikorkeus poikkeaa hieman samasta geopotentialierosta lasketusta ortometrisestä korkeudesta. Ero on tavallisesti sitä suurempi mitä korkeammalla merenpinnan tasosta ollaan. Etelä-Suomessa ero on muutamia millimetrejä, Käsivarressa korkeintaan 11 cm.

normaalipainovoima

sv: normaltyngdkraft
en: normal gravity

matemaattinen malli painovoiman suuruudelle

Normaalipainovoima määritellään yleensä osana normaalipainovoimakenttää.

normaalipainovoimakenttä

sv: normaltyngdkraftfält n

en: normal gravity field

matemaattinen malli Maan painovoimakentälle

Yleensä normaalipainovoimakenttä pohjautuu geodeettiseen vertausjärjestelmään.

ortometrinen korkeus

sv: ortometrisk höjd

en: orthometric height

pisteen ja geoidin välinen etäisyys

Ortometrinen korkeus lasketaan pisteen ja korkeusdatumin nollatason välisestä geopotentialierosta. Tämä geopotentialiero jaetaan keskimääräisellä painovoimalla, joka lasketaan pitkin pisteen ja (nollatason kautta kulkevan) geoidin välistä luotiviivaa. Ortometrisen korkeuden laskeminen edellyttää oletuksia painovoima-arvoista tällä luotiviivalla.

Ortometrinen korkeus on käytössä N60-korkeusjärjestelmässä.

painovoima

sv: tyngdkraft

en: gravity

Maan vetovoiman ja Maan pyörimisliikkeen keskipakoisvoiman yhteisvaikutus kappaleisiin, jotka osallistuvat Maan pyörimisliikkeeseen

painovoimakenttä

sv: tyngdkraftfält n

en: gravity field

painovoiman suuruus ja suunta paikan funktiona

painovoimaan liittyvä korkeus

sv: tyngdkraftsrelaterad höjd

en: gravity-related height

korkeus, joka riippuu Maan painovoimakentästä

pysyvän vuoksen järjestelmä

sv: permanent tidjordssystem n; tidjordssystem n

en: system of permanent tide

periaate, jolla käsitellään Auringon ja Kuun vuoksivoimien ajasta riippumattoman osan vaikutusta geodeettisiin suureisiin

Geodeettisia suureita ovat painovoima, geoidi, korkeus 3-D sijainti jne.

Pysyvän vuoksen järjestelmät käsittelevät kolmea ajasta riippumatonta vaikutusta:

- (1) *vuoksivoimien pysyvä osa*, joka aiheuttaa
- (2) *Maan pysyvän deformaation*, joka puolestaan aiheuttaa
- (3) *pysyvän deformaation Maan painovoimakentässä*.

Eri järjestelmien väliset erot riippuvat vain leveysasteesta.

vertausellipsoidi

sv: referenssellipsoid; jordellipsoid

en: reference ellipsoid

Maan muotoa kuvaava pyörähdysellipsoidi

<geodesia>

vertausjärjestelmä

sv:

en: reference system

joukko matemaattisia ja fysikaalisia määritelmiä, joiden avulla sijainti on teoreettisesti kuvattavissa

Määritelmät koostuvat käytettävistä teorioista ja periaatteista. Periaatteet voivat mm. kiinnittää sijainnin kuvaamiseen käytettävät suureet, näiden mittayksiköt, ajanhetket ja joukon vakioita. Vakiot voivat sisältää jonkin toisen vertausjärjestelmän realisoituja arvoja. Määritelmät eivät kuitenkaan sisällä mitattuja havaintoarvoja sijainnista (eli fysikaalisesti realisoitua sijaintia).

Vertausjärjestelmiä ovat esimerkiksi Kansainvälinen terrestrinen vertausjärjestelmä (ITRS) ja Euroopan korkeusvertausjärjestelmä (*EVR*S).

Vertausjärjestelmän realisaatio on vertauskehys.

Vertausjärjestelmässä ei (nimityksestään huolimatta) varsinaisesti verrata mitään.

vuoksikorjaus

sv: tidjordskorrektion

en: tidal correction

korjaus Maan muodon ja painovoimakentän vaihteluun, jonka aiheuttavat Auringon ja Kuun vuoksivoimat

Osa vuoksivoimista on ajallisesti vaihtelevia, osa ajasta riippumattomia. Vuoksikorjauksessa tämä voidaan ottaa huomioon eri tavoin, ks. pysyvän vuoksen järjestelmä.

Ajasta riippuva korjaus tehdään geodeettisiin havaintoihin tavallisesti niiden käsittelyvaiheessa. Pysyvän vuoksen järjestelmää voidaan muuttaa myöhemminkin.

4 Suositeltavat korkeusjärjestelmät

Suomen valtakunnallinen korkeusjärjestelmä on N2000. N2000-korkeusjärjestelmä **pitää** olla tuettuna Suomessa valtakunnallisissa kartastotöissä ja paikkatietopalveluissa.

Geodesian terminologiassa N2000 on korkeusvertauskehys, joka on EVRS-korkeusvertausjärjestelmän realisaatio Suomessa. N2000-korkeusvertauskehys määrittelee N2000-korkeusjärjestelmän korkeusdatumin. Geodesian näkökulmasta vanhemmat suomalaiset korkeusjärjestelmät (kuten N60, N43 ja NN) ovat korkeusvertausjärjestelmän ja korkeusvertauskehysten yhdistelmiä.

4.1 EVRS-korkeusvertausjärjestelmä

Eurooppalaisen paikkatiedon yhteiskäytön edistäminen on ollut 1990-luvulta alkaen monien hankkeiden päämääränä (mm. INSPIRE). Yhtenä tavoitteena on luoda yhteinen korkeusvertausjärjestelmä. Kansainvälisen geodeettisen assosiaation (IAG) eurooppalaisten vertauskehysten alakomission (EUREF) Tromssan kokouksen päätöslauselma vuodelta 2000 otti käyttöön Euroopan korkeusvertausjärjestelmän (EVRS, European Vertical Reference System) ja sen ensimmäisen realisaation (korkeusvertauskehysten) EVRF2000 (European Vertical Reference Frame) (EUREF, 2000). Tarkemmat määrittelyt ja kuvaukset julkaisivat kokouksen toimeksiannosta Ihde ja Augath (2000). On huomattava, että päätöslauselmassa mainitaan NAP (Normaal Amsterdams Peil) EVRS:n lähtötasona, kun taas Ihde ja Augath (2000) määrittelevät EVRS:n lähtötasoksi globaalin geoidin potentiaalitason, ja NAP on vain sen realisaatio EVRF2000:ssä.

Kokouksia seuraavina vuosina käytiin keskustelua yleiseurooppalaiselle korkeusjärjestelmälle asetettavista vaatimuksista, mm. siitä olisiko mahdollista tai suotavaa aidosti kytkeä sen lähtötaso globaalin geoidin potentiaalitasoon. Yleisesti hyväksyttyä realisaatiota tälle potentiaalitasolle ei tuolloin kuitenkaan saavutettu, ja laajalti pidettiin lähtötasossa määrittelyn jatkuvuutta tärkeämpänä. Tässä yhteydessä on mainittava Euroopan komission tutkimuskeskuksen yhdessä Eurogeographics'in ja EUREFin kanssa järjestämä työkokous Frankfurtissa (am Main) huhtikuussa 2004.

EUREF:n yleiskokouksien 2007 ja 2008 päätöslauselmien (EUREF, 2007, 2008); seurauksena EVRS:n määrittelyä päivitettiin (Ihde et al. 2008). Samalla otettiin käyttöön uusi realisaatio EVRF2007 Sacher et al., 2009.

EVRS on painovoimaan liittyvä kinemaattinen korkeusvertausjärjestelmä. Se on määritelty seuraavasti (Ihde et al., 2008):

1. Lähtötaso ¹on määritelty potentiaalin tasa-arvopintana, jolle Maan painovoimakentän potentiaali on vakio:

$$W_0 = W_{0E} = \text{vakio}$$

ja joka kulkee tason Normaal Amsterdams Peil (NAP) kautta.

2. EVRS:n pituusyksikkö on metri (SI) ja aikayksikkö on sekunti (SI). Mittakaava on yhtenevä TCG:n aikakoordinaatin kanssa geosentrisessä paikallisessa vertauskehyksessä Kansainvälisen astronomisen unionin (IAU) ja Kansainvälisen geodesian ja geofysiikan unionin (IUGG) päätöslauselmien (1991) mukaisesti. Tähän päästään soveltuvalla relativistisella mallinnuksella.

3. Korkeus on Maan painovoimakentän potentiaaliero ΔW_P pisteen P potentiaalin W_P ja EVRS:n nollatason W_{0E} välillä. Potentiaaliero $-\Delta W_P$ voidaan ilmoittaa geopotentialilukuna c_P :

$$-\Delta W_P = W_{0E} - W_P = c_P.$$

¹ (Ihde et al., 2008) käyttää termiä korkeusdatumi sen vanhassa merkityksessä, vrt. korkeusdatumin määritelmä

Normaalikorkeus on ekvivalentti geopotentialiluvun kanssa kun referenssipainovoimakenttä on määritetty.

4. EVRS on IAG:n päätöslauselman (1983) mukaisesti nollavuoksijärjestelmässä.

Merkittävin ero v. 2000 määritelmiin on että v. 2007 lähtötaso on jo EVRS:ssä (eikä vasta sen realisaatiossa EVRF2007) sidottu NAP:iin. Selvyyden vuoksi lisätään siksi EVRS:n määritelmään joskus vuosiluku: EVRS2000, EVRS2007.

On huomattava, että EVRS ei ole korkeusjärjestelmä ISO 19111:n mielessä; sen sijaan jokainen sen realisaatio määrittelee korkeusdatumia ja sen kautta korkeusjärjestelmän.

Komission asetuksen (EU) N:o 1089/2010 (INSPIRE) liite 2 määrittelee ensin koordinaattijärjestelmät ISO 19111:n mukaisesti ja määrää sitten, että pystykomponentissa on käytettävä Euroopan korkeusvertausjärjestelmää sen kattamalla maantieteellisellä alueella.

On ilmeistä, että em. muotoilun tarkoituksena on mahdollistaa useiden EVRS-realisaatioiden käyttö INSPIREssä.

4.2 EVRS-korkeusvertausjärjestelmän Euroopan laajuinen realisoiminen

EUREF ja sen edeltäjät ovat suorittaneet useita Euroopan tarkkavaaitusverkkojen (United European Levelling Network UELN) yhteistasoituksia: UELN-55, UELN-73/86, ja UELN-95:n eri versiot. Niiden lähtötaso on ollut NAP (Normaal Amsterdams Peil) ja niitä on käytetty lähinnä tieteellisiin tarkoituksiin.

EVRF2000-realisaatio pohjautuu tasoitukseen UELN-95/98 (Augath ja Ihde, 2000). Sen lähtötasona on NAP realisoituna yhden Alankomaissa sijaitsevan pisteen (000A2530/13600) avulla. Sama piste oli lähtötasona myös aiemmissa UELN-tasoituksissa. Vaikka EVRS:n määritelmään sisältyy nollavuoksi, ovat UELN-95/98 havainnot maittain eri vuoksijärjestelmissä, enimmäkseen keskivuoksijärjestelmässä. Jääkauden jälkeisen maannousun vuoksi on pohjoismaiden vaaitushavainnot redukoitu epookkiin 1960.0. Suomesta tasoituksessa oli mukana Toisen tarkkavaaituksen tulokset.

EVRS:n viimeisin Euroopan laajuinen realisaatio on EVRF2007. Ihde et al. (2008) määrittelee sen periaatteet. EVRF2007 perustuu kolmen asian yhdistämiseen:

1. havaintoverkko,
2. lähtötaso ja
3. havaintojen aikariippuvuus vertauskehyksessä.

Havaintoverkko

EVRF2007 perustuu UELN-tasoitukseen, jossa on mukana vuoteen 2007 mennessä toimitetut vaaitushavainnot (Sacher et al., 2009). UELN-verkkoa ja sen havaintoja on sen jälkeen täydennetty jatkuvasti ja uusintatasoituksia suoritettu sitä mukaa (Sacher 2018). Näille ei ole annettu EVRF-statusta. Aikanaan työ johtaa uuteen EVRS:n realisaatioon.

Lähtötaso

EVRS:n lähtötaso on NAP. Aiemmissa UELN-tasoituksissa NAP on realisoitu yhden pisteen 000A2530/13600 avulla. Tämä piste ei kuulu EVRF2007:n verkkoon. EVRF2007:ssä NAP on sen sijaan realisoitu 13 Euroopassa sijaitsevan pisteen avulla, jotka kuuluivat jo EVRF2000:een. Yhteensopivuus EVRF2000:n kanssa varmistettiin sovittamalla lähtötaso vapaan verkon tasoituksella näiden pisteiden EVRF2000 -geopotentialilukuihin. Sitä ennen pisteiden geopotentialierot pisteeseen 000A2530/13600 nähden EVRF2000:ssa korjattiin keskivuoksijärjestelmästä nollavuoksijärjestelmään (Ihde et al., 2008; Sacher et al., 2009).

Aikariippuvuus

EVRF2007:n määritelmässä aikariippuvuus huomioidaan redukoimalla havainnot epookkiin 2000.0 mikäli vain mahdollista. Jääkauden jälkeisen maannousun vuoksi EVRF2007-tasoituksessa Pohjoismaiden, Baltian ja osa Puolan ja Saksan vaaitushavainnoista redukoitiin epookkiin 2000.0 käyttämällä pohjoismaista NKG2005LU-mallia (Ågren ja Svensson, 2007; Ihde et al, 2008; Sacher et al, 2009). Suomesta EVRF2007-tasoituksessa oli mukana Kolmannen tarkkavaaituksen havainnot.

EVRS on määritetty geopotentialin avulla ja realisoidaan geopotentialilukujen avulla. Geopotentialiluvut konvertoidaan normaalikorkeuksiksi normaalipainovoimakentän ja geodeettisen leveysasteen avulla.

EVRS:n yhteydessä normaalipainovoima γ_o vertausellipsoidin pinnalla (yksikkönä m/s²) lasketaan GRS80-vertausjärjestelmän mukaisesti leveydellä ϕ (ETRS89-järjestelmässä) kaavasta:

$$\gamma_o = 9,7803267715 \cdot (1 + 0.0052790414 \sin^2 \phi + 0.0000232718 \sin^4 \phi + 0.0000001262 \sin^6 \phi + 0.0000000007 \sin^8 \phi)$$

Keskimääräinen normaalipainovoima $\bar{\gamma}$ lasketaan normaalipainovoimakentän luotiviivaa pitkin vertausellipsoidin ja sen pisteen välillä, jossa normaalipainovoimakentän potentiaaliero ellipsoidiin on sama kuin havaintopaikan todellisen potentiaaliero nollatason potentiaaliin. Ihde et al. (2008) käyttää kaavaa:

$$\bar{\gamma} \approx \bar{\gamma}_{H_m} = \gamma_o \left[1 - \left(1 + f + m - 2f \sin^2 \phi \right) \frac{H_m}{a} + \frac{H_m^2}{a^2} \right]$$

missä H_m on normaalikorkeuden H^N likiarvo, γ_o saadaan edellä olevasta kaavasta ja muut merkinnät ja niiden numeeriset arvot ovat Moritz (1980) mukaisia. N2000:n yhteydessä keskimääräinen normaalipainovoima on laskettu yksinkertaisemman kaavan avulla:

$$\bar{\gamma} \approx \gamma_o - \frac{1}{2} k H_m$$

missä $k = 0.3086 \times 10^{-5} \text{ s}^{-2}$. Normaalikorkeuksien lähtötaso on *kvasigeoidi*, joka yhtyy geoidiin merenpinnan tasolla, mutta poikkeaa geoidista sitä enemmän mitä korkeammalla merenpinnasta havaintopaikka sijaitsee.

Normaalikorkeus H^N saadaan iteratiivisesti jakamalla geopotentialiluku c keskimääräisellä normaalipainovoimalla $\bar{\gamma}$:

$$H^N = \frac{c}{\bar{\gamma}}$$

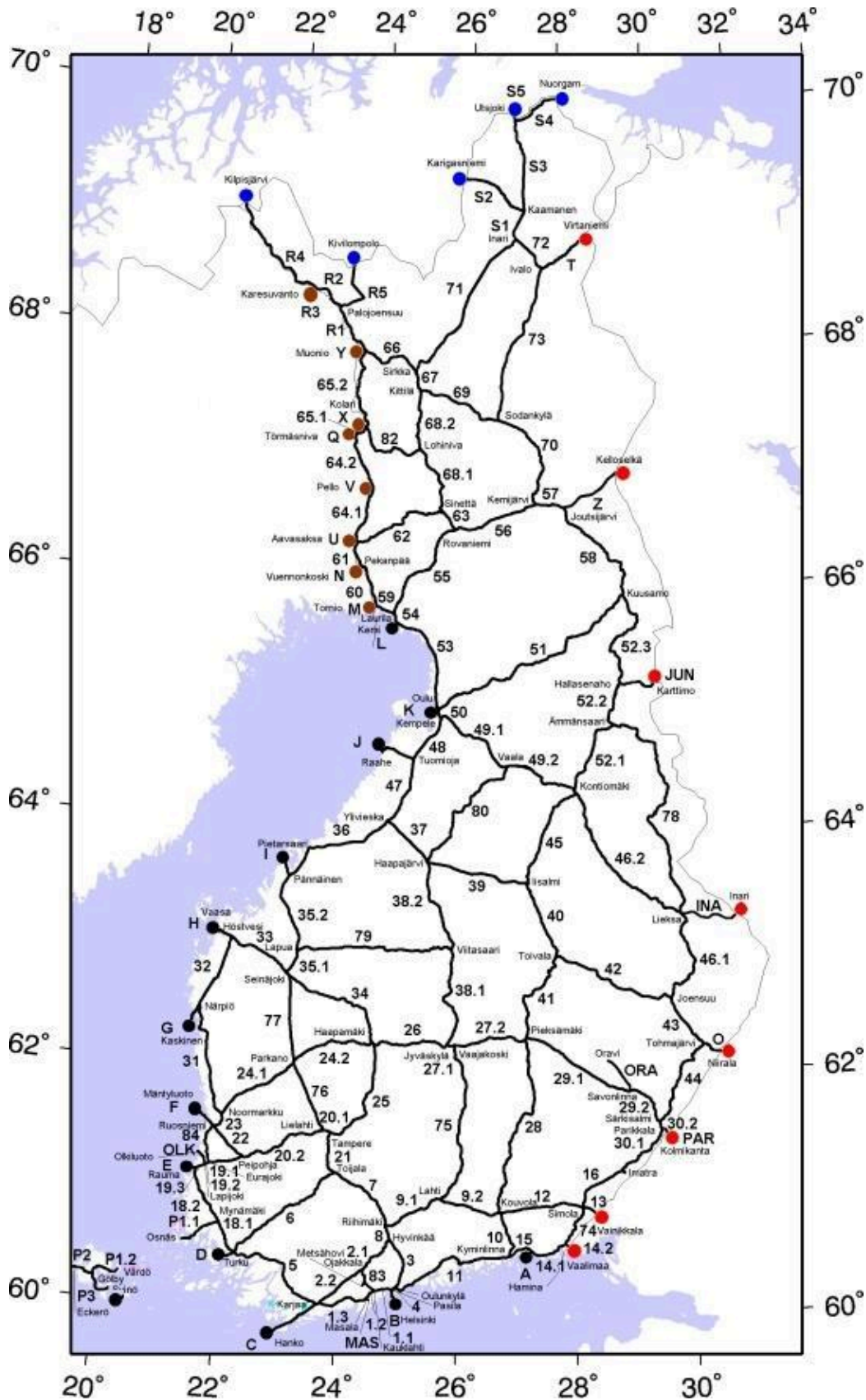
Liitteessä 1 esitetään EVRF2007:n kuvaukset ISO 19111 standardin (Spatial referencing by coordinates) mukaisesti määriteltynä.

4.3 EVRS-korkeusvertausjärjestelmän realisoiminen Suomessa, N2000

N2000-korkeusvertauskehys (geoinformatiikan terminologiassa korkeusjärjestelmä) on Suomen EVRS-realisaatio ja yhteensopiva EVRF2007-korkeuksien kanssa. N2000 perustuu Suomen kolmanteen tarkkavaaitukseen, joka aloitettiin vuonna 1978 ja päätettiin vuonna 2006. Linjojen yhteispituus on 9158 km

JUHTA - Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta

ja kiintopisteitä 6092. Kolmannen tarkkavaaituksen linjat on esitetty kuvassa 1. N2000-korkeusjärjestelmän periaatteet on sovittu korkeustyöryhmän mietinnössä vuodelta 2004 (Korkeustyöryhmä, 2004).



Kuva 1. Suomen Kolmannen tarkkavaaituksen linjasto numeroineen ja haaralinjojen kirjaintunnuksin. Mustat pallot näyttävät mareografien paikat ja punaiset pallot liitokset naapurimaiden vaaitusverkkoihin (Lehmuskoski et al, 2008). N2000-korkeuksien laskemiseksi Ahvenanmaalla on sen verkko liitetty mantereeseen käyttäen Toisen tarkkavaaituksen linjaa Osnäs-Vårdö.

4.3.1 Lähtötaso ja epookki

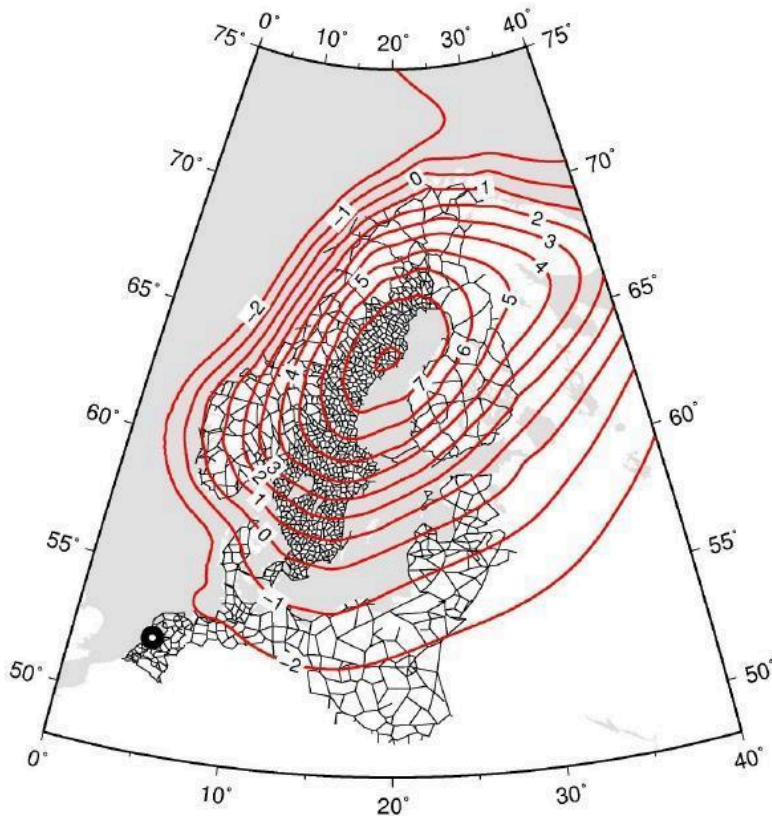
Pohjoismaisen Geodeettisen Komission (NKG) yleiskokous Helsingissä 2002 hyväksyi päätöslauselman (No.2), jossa korostettiin korkeusjärjestelmien yhtenäistämisen tärkeyttä niin pohjoismaisella kuin eurooppalaisellakin tasolla (NKG, 2002). EVRF2000 oli tähän tarkoitukseen sopimaton sillä Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa se perustuu vanhoihin vaaituksiin ja sen epookki on 1960.0. Seuraavaa EVRS:n eurooppalaista realisaatiota ei voitu odottaa, koska uudet kansalliset korkeusjärjestelmät oli omaksuttava sitä ennen. Siksi NKG käynnisti EUREF:n tuella hankkeen Baltic Levelling Ring (BLR) jonka tavoitteena oli uusi EVRS:n realisointi pohjoismaissa.

EUREF:n avulla saatiin käytettäväksi UELN-95/98:n (ts. EVRF2000:n) pohjana olleet vaaitushavainnot Alankomaista, Pohjois-Saksasta, Puolasta, Liettuasta, Latviasta ja Virosta. Näihin liitettiin viimeisimpien tarkkavaaituksien havainnot Tanskassa, Norjassa, Ruotsissa ja Suomessa (*kuva 2*).

Mitatut korkeuserot redukoitiin epookkiin 2000.0 käyttäen pohjoismaista maannousumallia NKG2005LU (Vestøl, 2006; Ågren ja Svensson, 2007). Epookki 2000.0 on Pohjoismaisen geodeettisen komission (NKG) antama suositus yhteisestä pohjoismaisten korkeusjärjestelmien nollahetkestä. NKG2005LU-malli ilmaisee maannousun keskimääräiseen merenpinnan nousuun verrattuna, ks. kuva 2. Se sisältää Pohjoismaiden osalta erityyppisiä korkeushavaintoja, kuten pysyvien GPS-asemien aikasarjoja, mareografien (meriveden korkeuden mittausasemien) aikasarjoja vuosilta 1892-1991, Suomen ja Ruotsin suurimpien järvien vedenpinnan kallistumistietoja, sekä toistettujen tarkkavaaitusten havaintoja. NKG2005LU on koko Fennoskandian käsittävä maannousumalli, eivätkä sen antamat maannousuluvut poikkea merkittävästi Suomen kolmesta tarkkavaaituksesta lasketuista maannousuarvoista.

BLR:n tasoituksen lähtötasona on NAP joka realisoitiin samalla pisteellä (000A2530/13600) ja arvolla kuin EVRF2000:ssa. Tasoituksesta on olemassa eri versioita, joista jokaista voidaan pitää EVRS:n alueellisena realisaationa Pohjois-Euroopassa. Ensimmäisestä versiosta joka samalla antoi Ruotsin uuden korkeusjärjestelmän RH2000 käytetään yleisesti lyhennettä BLR2000 ja sen tulokset jaettiin kaikille maille joista vaaitusdataa oli saatu (Mäkinen et al. 2006; Ågren ja Svensson 2007).

N2000:n lähtötaso määritettiin Geodeettisella laitoksella (nyk. Paikkatietokeskus) suoritettusta tasoitusversiosta BLR/FI, jossa Suomen, Ruotsin ja Norjan aineistoa oli päivitetty BLR2000:n jälkeen (Saaranen et al 2009). Lähtötaso on Kirkkonummella Maanmittauslaitoksen Paikkatietokeskuksen Metsähovin observatorion alueella oleva kiintopiste PP2000, jonka geopotentialiluku on saatu em. BLR/FI-tasoituksesta. N2000 ei siis ole aiempien kansallisten järjestelmien tavoin sidottu Helsingin keskimääräiseen merenpintaan vaan se perustuu NAP:n määrittämään korkeustasoon.



Kuva 2. Itämeren ympäri tasoitettu vaaitusverkko BLR2000. NAP-lähtötason määrittävä piste on merkitty ympyrällä. Punaisella NKG2005LU-mallin mukaiset maannousuarvot merenpinnan suhteen [mm/vuosi].

N2000-lähtöpisteen määrittävät arvot ovat:

kiintopiste: PP2000 ($\varphi = 60^\circ, 21762$; $\lambda = 24^\circ, 39517$)

geopotentialiluku nollageoidin suhteen: $c = 534,3966 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$

PP2000:n normaalikorkeus: $H = 54.4233 \text{ m}$

4.3.2 Vuoksikorjaus ja pysyvän vuoksen järjestelmä

Aineiston käsittelyssä tarvittiin muunnoksia vuoksijärjestelmien välillä. Kolmannen tarkkavaaituksen kiintopistevälien havaintoihin oli tehty käsittelyvaiheessa vuoksikorjaus nollavuoksijärjestelmässä. Pohjoismaisen sopimuksen mukaan BLR-tasoitukset tehtiin keskivuoksijärjestelmässä, mitä varten geopotentialierot muunnettiin keskivuoksijärjestelmään. Myös BLR/FI- ja N2000-tasoitukset tehtiin keskivuoksijärjestelmässä, minkä jälkeen tulokset muunnettiin nollavuoksijärjestelmään.

Järjestelmien erot riippuvat vain leveysasteesta φ . Jos pisteen B korkeuden ja pisteen A korkeuden erotus ΔH on laskettu sekä keskivuoksesta että nollavuoksesta käyttäen, niin metreinä

$$\Delta H_{\text{keskivuoksi}} - \Delta H_{\text{nollavuoksi}} = 0,296 \cdot (\sin^2 \varphi_B - \sin^2 \varphi_A)$$

Kaava pätee, olipa kyse normaalikorkeuksien erotuksesta, ortometristen korkeuksien erotuksesta tai vaikkapa yksittäisen pulttivälin vaaitustuloksesta. Em. kaavaa (Ekman, 1989) ja siitä johdettuja vastaavia eroja geopotentialiluvuille on käytetty BLR- ja N2000-laskuissa.

Koska N60-korkeusjärjestelmä on keskivuoksijärjestelmässä, niin erotuksessa N2000-N60 (Liite 3, kuva 2) on vuoksijärjestelmien eron vaikutus 4 cm kallistus etelä-pohjoissuunnassa (pohjoinen alempana).

Esimerkki: Olkoon keskivuoksikorjausta käyttäen pisteen B (leveysaste $\phi_B = 65,72$) korkeuden ja pisteen A (leveysaste $\phi_A = 60,15$) korkeuden erotus 5,000 metriä. Nollavuoksikorjausta käyttäen erotus olisi 4,977 metriä.

EVRF2007-laskukaavoista (Ihde et al, 2008) voidaan johtaa tarkempi kaava (metreissä)

$$\Delta H_{\text{keskivuoksi}} - \Delta H_{\text{nollavuoksi}} = 0,29541 \cdot (\sin^2 \phi_B - \sin^2 \phi_A) + 0,00042 \cdot (\sin^4 \phi_B - \sin^4 \phi_A)$$

Jos A on BLR:n lähtöpiste Amsterdamissa ja piste B on BLR:n alueella niin kaavojen erotus on vähemmän kuin 0.01 mm.

4.3.3 Normaalikorkeuksien laskenta

EVRS:n määritelmän mukaisesti N2000:n korkeudet ovat normaalikorkeuksia. N60:n korkeudet ovat ortometrisia korkeuksia. Suomessa ortometristen ja normaalikorkeuksien ero on pieni, keskimäärin alle 2 cm; suurimmillaan ero on noin desimetrin Käsivarressa. Ero johtuu siitä millä tavalla geopotentialiluvut muunnetaan metrisiksi korkeuksiksi. Ortometrisen korkeuden tapauksessa tarvitaan todellisia painovoima-arvoja ja kallioperän tiheyttä, normaalikorkeuksissa käytetään normaalipainovoimakentän suureita. N2000-tasoituksen tuloksena saadut geopotentialiluvut c muunnettiin normaalikorkeuksiksi luvussa 4.2 esitetyllä tavalla.

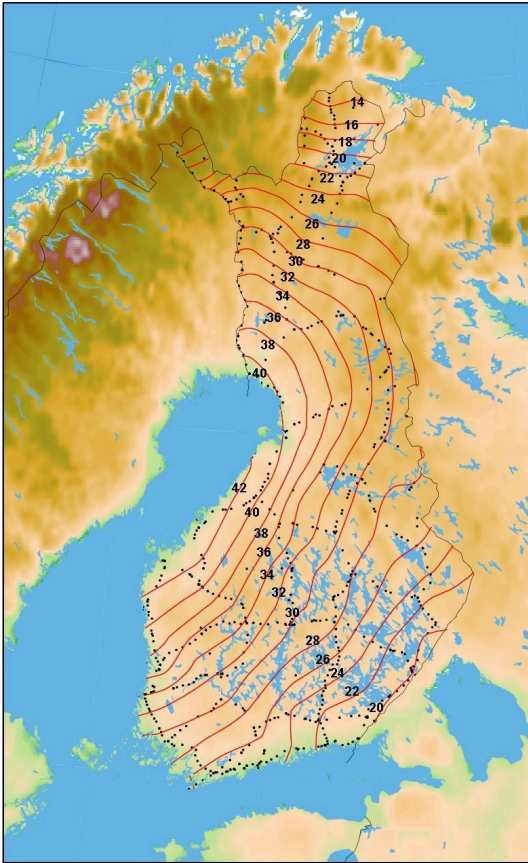
Kolmannen tarkkavaaituksen silmukoiden sulkuvirheistä laskettu keskivirhe on ± 0.86 mm/ $\sqrt{\text{km}}$.

4.3.4 Erot muihin korkeusjärjestelmiin ja tasoiuksiin

N2000-tasoituksessa otettiin mukaan BLR/FI:n Suomen linjojen lisäksi haaralinjat Venäjän rajalle, sekä vaaitussilmukoita Ruotsin ja Norjan puolelta Suomen rajojen läheisyydessä. Näin erot valtakunnan rajalla N2000:n ja BLR2000-tasoitukseen pohjaavan Ruotsin korkeusjärjestelmän RH2000 välillä jäivät alle 2 mm. Norjan NN2000-korkeusjärjestelmän tasoituksessa liitospisteet Suomeen kiinnitettiin N2000-arvoihin, joten järjestelmien ero rajalla on nolla.

BLR toimi samalla valmistavana hankkeena EVRF2007:lle, johon UELN-laskentakeskus otti BLR2000:n maanousumallin, epookin 2000.0 ja saman pohjoismaisen datan kuin BLR/FI:ssä. Siten N2000-korkeudet poikkeavat EVRF2007-korkeuksista vähemmän kuin 1 cm. Tämä johtuu pääasiassa Alankomaiden vaaitusdatan päivittämisestä BLR2000:n ja EVRF2007:n välissä.

N2000:n korkeuslukemat poikkeavat Kolmannen tarkkavaaituksen pisteillä 13-43 cm N60-korkeuksiin verrattuna. Suurin osa erosta selittyy 40 vuoden maannousun vaikutuksella (N60-korkeusjärjestelmän havainnot redukoitu epookkiin 1960.0 ja N2000 epookkiin 2000.0). Korkeuden lähtötason vaihtumisella, vuoksikorjauksella ja normaalikorkeuteen siirtymisellä on huomattavasti vähäisempi vaikutus. N60- ja N2000-korkeusjärjestelmien väliset metriset erot on esitetty *kuvassa 3*.



Kuva 3. N60- ja N2000-järjestelmien väliset korkeuserot [cm].

Geodeettisen laitoksen julkaisussa 139 (Lehmuskoski et al. 2008) on luettelo, jossa on Kolmannessa tarkkavaaituksessa mitatut kiintopisteet, niiden korkeudet N2000- ja N60 -korkeusjärjestelmissä sekä niiden erotus eli pistekohtainen siirtokorjaus. Siirtokorjausta voidaan käyttää pistekohtaisesti, mutta aineistojen muuntamiseen järjestelmien välillä on määritetty valtakunnallinen kolmioittainen muunnos, ks. tarkemmin *luku 5*. Maanmittauslaitos on tasoittanut N2000-korkeudet 2. ja 3. luokan vaaituslinjoille Geodeettisen laitoksen pisteistä.

Liitteessä 1 esitetään N2000:n kuvaukset ISO 19111 standardin (Spatial referencing by coordinates) mukaisesti määriteltynä.

4.4 Kiintopisteiden käyttö

Silloissa, rummuissa, perustuksissa ja maakivissä sijaitsevilla kiintopisteillä voi maankohoamisen lisäksi olla omat yksilölliset korkeudenmuutoksensa, jotka johtuvat esimerkiksi liikenteen rasituksesta tai ovat roudan aiheuttamia. Tällaisten pisteiden todelliset korkeudet saattavat poiketa ilmoitetuista, kiintopisterekisterissä olevista arvoista tai tarkalla N60-N2000-muunnoksella saaduista arvoista. Tarkimmissa mittauksissa on käytettävä lähtöpisteenä vähintään kahta lähintä kalliopistettä. Mittausmenetelmänä on käytettävä tarkkavaaitusta tai vaaitusta. Myös GNSS-korkeudenmäärittystä voidaan käyttää, jos tarkkuusvaatimukset niin sallivat.

Kiintopisteiden käyttöä on ohjeistettu mm. julkisen hallinnon suosituksessa *185 Asemakaavan pohjakartan laatiminen* ja sen liitteessä 1.

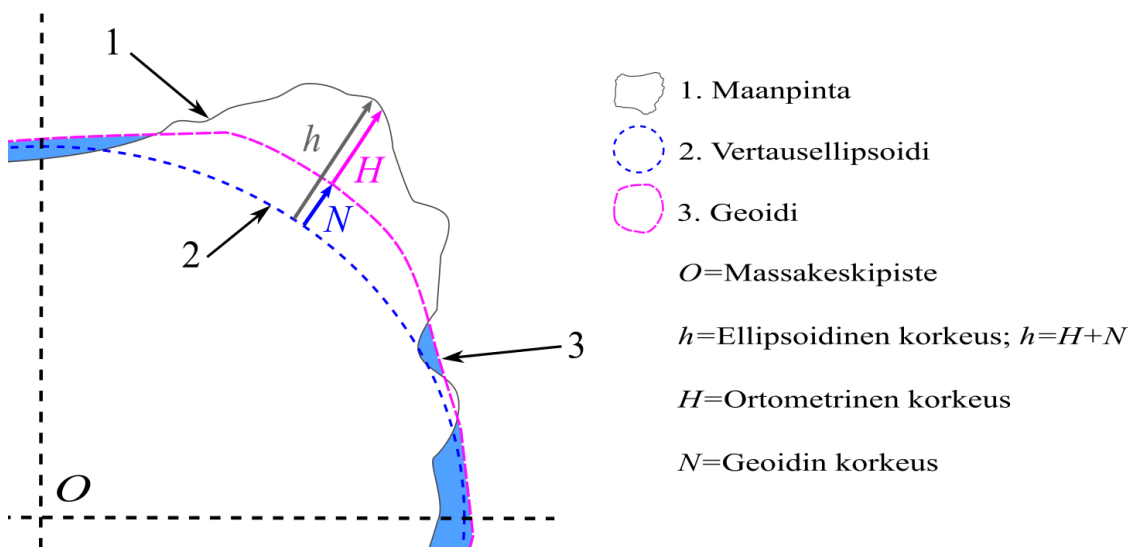
5 N2000-korkeusjärjestelmään liittyvät muunnokset

5.1 Geoidimallit

N2000-korkeudet ovat painovoimaan liittyviä normaalikorkeuksia kvasigeoidin pinnasta. Nykyään käytännön mittauksissa korkeuksia määritetään usein GNSS-mittausten avulla. Niiden tuloksena saadaan korkeuksia vertausellipsoidin pinnasta. GNSS-korkeudet voidaan muuntaa painovoimaan perustuviksi korkeuksiksi geoidimallin (tai oikeammin, geoidimalliin perustuvan muunnospinnan) avulla yksinkertaisella kaavalla (ks. myös kuva 4):

$$H = h - N, \text{ missä}$$

H on painovoimaan liittyvä (ortometrinen) korkeus, h on ellipsoidinen korkeus ja N on geoidin korkeus. N2000:n yhteydessä tulisi oikeammin käyttää termejä ja merkintöjä normaalikorkeus (H^*), kvasigeoidi ja korkeusanomalia (ζ) vastineeksi ortometriselle korkeudelle (H), geoidille ja geoidin korkeudelle (N), mutta tässä suosituksessa käytetään yksinkertaisuuden vuoksi yleistyksenä edellä mainittuja termejä ja merkintöjä.



Kuva 4. Ortometrisen ja ellipsoidisen korkeuden välinen yhteys.

Geoidimalleja on olemassa monenlaisia globaaleista paikallisiin malleihin. Useimmiten globaalit tai ilman paikallista sovitusta olevat mallit eivät sellaisenaan anna haluttuja korkeuksia tarvittavalla tarkkuudella. Sen vuoksi gravimetriset (puhtaasti painovoimahavaintoihin perustuvat) geoidimallit on käytännön tarpeita varten sovitettava haluttujen koordinaatti- ja korkeusjärjestelmien välille. Paikalliset/kansalliset mallit sisältävät myös usein enemmän paikallista painovoimadataa ja niiden resoluutio on sen vuoksi parempi.

Suomessa **pitää** käyttää FIN2005N00-geoidimallia (muunnospintaa) kun muunnetaan GNSS-korkeuksia EUREF-FIN-vertauskehyksestä N2000-korkeusjärjestelmään (tai päinvastoin). FIN2005N00-malli perustuu pohjoismaiseen NKG2004-geoidimalliin, joka on sovitettu GPS/vaaituspisteiden kautta N2000-korkeusjärjestelmään. FIN2005N00-mallin antaman geoidin korkeuden (N) avulla GNSS-mittauksista saadut EUREF-FIN-korkeudet GRS80-ellipsoidista (h) voidaan muuntaa suoraan N2000:n mukaisiksi normaalikorkeuksiksi (H) edellä mainitulla kaavalla.

Liitteen 3 kuvassa 4 on esitetty FIN2005N00-geoidimallin mukaiset geoidin korkeudet. Geoidin korkeudet vaihtelevat noin 15 metristä noin 30 metriin Suomen alueella. Esimerkiksi Suomenlahdella Helsinki-Kotka välillä geoidin korkeus muuttuu noin kolme metriä, mikä tarkoittaa sitä että GNSS-havaintojen mukaisesti merenpinta olisi saman verran kallellaan vaikka merenpinta (N2000-korkeuksien mukaisesti) on lähestulkoon vaakasuorassa.

N60-korkeuksien kanssa pitää käyttää geoidimallia FIN2000. Tarkemmat kuvaukset Suomessa käytettävistä geoidimalleista löytyvät *liitteestä 3*.

FIN2005N00-geoidimalli on saatavissa Maanmittauslaitoksen sivuilta:

<https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/koordinaattimuunnokset>.

5.2 Muunnokset muista korkeusjärjestelmistä

Suomessa on ollut käytössä kolme valtakunnallista (tai niihin verrattavissa olevaa) korkeusjärjestelmää ennen N2000: a: NN, N43 ja N60. Niiden kuvaukset löytyvät *liitteestä 2*. Siellä esitetään myös järjestelmien väliset muunnokset. Viralliset muunnokset ovat olemassa järjestelmien N2000 ja N60, sekä N60 ja N43 välillä. NN-järjestelmästä pääsee muihin joko likimääräisen NN-N60 kartan avulla, tai sellaisten kiintopisteiden avulla joilla on korkeus sekä NN- että jossakin muussa järjestelmässä. Eri muunnokset on määritetty eri tavoin ja siitä johtuen niiden tarkkuus on erilainen. Samoin niiden alueellinen kattavuus vaihtelee. Tarvittaessa niitä voi ketjuttaa, esim. N43-korkeuksista N2000:een: N43-N60 + N60-N2000.

6 Opastavat tiedot

Tätä suositusta ylläpitää Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta Juhta, puh. 0295 16001, sähköposti: jhs-sihteer@jhs-suositukset.fi.

JHS-järjestelmän verkkosivut:

<http://www.jhs-suositukset.fi>

6.1 Lähteet

Bilker-Koivula M., Ollikainen M. (2009). Suomen geoidimallit ja niiden käyttäminen korkeuden muunnoksissa, Geodeettisen laitoksen tiedote 29, ISBN-13:978-951-711-259-8 (ISBN: 978-951-711-260-4, pdf). <https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/fgi/GLtiedote29.pdf>

Ekman M. (1989): Impacts of geodynamic phenomena on systems for height and gravity. Bulletin Géodésique 63, 281–296. EUREF (2000): Resolutions of the EUREF Symposium in Tromsø, 22-24 June 2000. Teoksessa J.A. Torres ja H. Hornik (toim), Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF) held in Tromsø, 22 - 24 June 2000. (EUREF Publication No. 9, Veröffentlichungen der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung, Astronomisch-Geodätische Arbeiten 61, 340-341. ISBN 3-7696-9623-9. http://www.euref.eu/html/resolutions_tromso2000.pdf

EUREF (2007): Resolutions of the EUREF Symposium in London, 6-9 June 2007. <http://www.euref.eu/symposia/2007London/Symposium2007-London.html>

EUREF (2008): Resolutions - EUREF 2008. Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF) held in Brussels, Belgium, 18 - 21 June 2008. <http://www.euref.eu/symposia/2008Brussels/Symposium2008-Brussels.html>

Häkli P., Puupponen J., Koivula H., Poutanen M. (2009): Suomen geodeettiset koordinaatistot ja niiden väliset muunnokset, Geodeettisen laitoksen tiedote 30, ISBN 978-951-711-273-4 (ISBN-978-951-711-274-1, pdf). <https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/fgi/GLtiedote30.pdf>

Ihde J., Augath W. (2000): The vertical reference system for Europe. Teoksessa J.A. Torres ja H. Hornik (toim), Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF) held in Tromsø, 22–24 June (2000). EUREF Publication No. 9. Veröffentlichungen der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung, Astronomisch-Geodätische Arbeiten 61, 99–110. ISBN 3-7696-9623-9. http://www.euref.eu/symposia/book2000/P_99_115.pdf

Ihde J., Mäkinen J., Sacher M. (2008): Conventions for the Definition and Realization of a European Vertical Reference System (EVRS) – EVRS Conventions 2007 –. IAG Sub-commission 1.3a EUREF, EVRS Conventions V5.1, 17.12.2008.

https://evrs.bkg.bund.de/SharedDocs/Downloads/EVRS/EN/Publications/EVRFConventions2007.pdf?__blob=publicationFile&v=1

Korkeustyöryhmä (2004): Suomen valtakunnallisen korkeusjärjestelmän ajantasaistaminen. Työryhmän mietintö. Geodeettinen laitos.

Kääriäinen, E., 1963: Suomen toisen tarkkavaaituksen kiintopisteluettelo I. Suomen Geodeettisen laitoksen julkaisuja N:o 57. Helsinki 1963

Lehmuskoski P., Saaranen V., Takalo M., Rouhiainen P. (2008): Suomen kolmannen tarkkavaaituksen kiintopisteluettelo. Bench Mark List of the Third Levelling of Finland. Geodeettisen laitoksen julkaisuja 139. Kirkkonummi. 220 s.

Moritz H. (1980): Geodetic Reference System 1979. Bull. Géod. 54, 395-405.

Mäkinen J., Lilje M., Ågren J., Engsager K., Eriksson P.-O., Jepsen C., Olsson P.-A., Saaranen V., Schmidt K., Svensson R., Takalo M., Vestøl O. (2006): Regional Adjustment of Precise Levellings around the Baltic. Teoksessa J. Agria Torres ja H. Hornik (toim), Report on the Symposium of the IAG Sub-commission for Europe (EUREF) held in Vienna, 1–4 June 2005. EUREF Publication No. 15. Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main, Band 38. ISBN 3-89888-799-5.

Nordic Geodetic Commission (2002): Resolution No.2. Teoksessa Poutanen M., Suurmäki H. (toim.), Proceedings of the 14th General Meeting of the Nordic Geodetic Commission, Espoo, Finland, October 1–5, 2002. Finnish Geodetic Institute, s. 298.

Saaranen, V., P. Lehmuskoski, P. Rouhiainen, M. Takalo, J. Mäkinen, M. Poutanen (2009): The New Finnish Height Reference N2000. Teoksessa: H. Drewes (toim.), Geodetic Reference Frames. IAG Symposium Munich, Germany, 9–14 October 2006. Springer, IAG Symposia 134, 297–302.

Sacher M., Ihde J., Liebsch G., Mäkinen J. (2009): EVRF2007 as Realization of the European Vertical Reference System. Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, No.1, 35-50.

https://evrs.bkg.bund.de/SharedDocs/Downloads/EVRS/EN/Publications/EVRF2007AsRealOfEVRS.pdf?__blob=publicationFile&v=1

Sacher M. (2018): Towards a new EVRS realization. Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF) held in Amsterdam, The Netherlands, 30 May - 01 June 2018.

<http://www.euref.eu/symposia/2018Amsterdam/01-05-Sacher.pdf>

Vestøl O. (2006): Determination of postglacial land uplift in Fennoscandia from leveling, tide-gauges and continuous GPS stations using least squares collocation. Journal of Geodesy 80, 248-258. doi 10.1007/s00190-006-0063-7.

Ågren J., Svensson R. (2007): Postglacial Land Uplift Model and System Definition for the New Swedish Height System RH 2000. LMV-rapport 2007:4 – ISSN 280-5731, Gävle. 124 pages.

7 Viittaukset

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2007/2/EY, annettu 14 päivänä maaliskuuta 2007, Euroopan yhteisön paikkatietoinfrastruktuurin (INSPIRE) perustamisesta.

JUHTA - Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta

Komission asetus (EU) N:o 1089/2010, annettu 23 päivänä marraskuuta 2010, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2007/2/EY täytäntöönpanosta paikkatietoaineistojen ja -palvelujen yhteentoimivuuden osalta.

Komission asetus (EU) N:o 1253/2013, annettu 21 päivänä lokakuuta 2013, muuttaen asetusta (EU) N:o 1089/2010 direktiivin 2007/2/EY täytäntöönpanosta paikkatietoaineistojen ja -palvelujen yhteentoimivuuden osalta.

Laki paikkatietoinfrastruktuurista (421/2009).

Valtioneuvoston asetus paikkatietoinfrastruktuurista (725/2009).

JHS 184 Kiintopistemittaus EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä

JHS 196 EUREF-FIN -järjestelmän mukaiset koordinaatit Suomessa

JHS 197 EUREF-FIN -koordinaattijärjestelmät, niihin liittyvät muunnokset ja karttalehtijako

ISO 19111:2007 Geographic information – Spatial referencing by Coordinates. Saatavissa:
http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=41126

8 Liitteet

Liite 1: EVRF2007- ja N2000-kuvaukset ISO 19111 mukaisesti

Liite 2: Aiemmat korkeusjärjestelmät ja niiden väliset muunnokset

Liite 3: Geoidimallit