

JHS 184 Kiintopistemittaus EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä

Versio: 1.1 / 1.11.2017

Julkaistu: 5.12.2012

Voimassaoloaika: toistaiseksi

Sisällys

1	Johdanto	2
2	Soveltamisala	2
3	Viittaukset	2
4	Termit ja lyhenteet	2
5	EUREF-FIN-kiintopisteet ja niiden luokittelu	4
5.1	Valtakunnalliset peruskiintopisteet (E1-E2)	5
5.2	Paikalliset kiintopisteet	8
5.3	Aktiiviset kiintopisteet (pysyvät GNSS-asemat)	8
6	Mittausmenetelmät	9
6.1	Staattinen relatiivinen GNSS-mittaus	9
6.2	Reaaliaikainen GNSS-mittaus	12
6.3	Takymetrimittaukset	13
7	EUREF-FIN-kiintopisteiden koordinaattien määrittäminen	14
7.1	Kiintopistemittausten kontrollointi	14
7.2	Peruskiintopisteverkkojen (E3-E4) mittaaminen ja kontrollointi	15
7.3	Käyttökiintopisteiden (E5-E6) mittaaminen ja kontrollointi	18
7.4	Kadonneiden pisteiden korvaaminen ja verkon saneeraus	23
7.5	Dokumentointi	23
8	Opastavat tiedot	23
9	Liitteet	24

1 Johdanto

Suomessa on otettu käyttöön yleiseurooppalainen koordinaattijärjestelmä ja korkeusjärjestelmä. Järjestelmien määrittelyt ja suositukset niiden käyttämiseksi ovat julkisen hallinnon suosituksissa JHS 153, JHS 154 ja JHS 163. Näiden järjestelmien mukaan laaditut aineistot ovat yhteensopivia INSPIRE-direktiivin määrittelemällä tavalla valtioiden rajoista riippumatta. Myös maan rajojen sisällä aineistojen yhteiskäyttö on tehokasta. Järjestelmät on realisoitu maastoon mittaamalla koko maan kattavat valtakunnalliset kiintopisteistöt. Paikalliset kiintopisteet ja mittaukset sidotaan valtakunnallisiin pisteisiin. Tässä suosituksessa käsitellään EUREF-FIN-kiintopisteiden luokittelu, mittausmenetelmät, koordinaattien määrittäminen ja tarkkuusvaatimukset. Tässä suosituksessa käytetään ISO19111:n ja INSPIRE-direktiivin mukaista termistöä. Valtakunnallisia kiintopistetietoja on saatavissa *Maanmittauslaitoksen Ammattilaisen Karttapaikalta*.

2 Soveltamisala

Tämä suositus on tarkoitettu EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä kiintopistemittauksia tekeville. Tämän suosituksen mukaista kiintopisteiden luokittelua, kiintopisteiden mittausmenetelmiä ja tarkkuusvaatimuksia on käytettävä, jos mittaukset ja kiintopisteet halutaan luokitella virallisesti johonkin EUREF-FIN-luokkaan. Suosituksessa esitetyt ohjeet ja raja-arvot ovat siis vähimmäisvaatimuksia, joilla varmistetaan EUREF-FIN-kiintopisteiden tarkkuus ja homogeenisuus kyseisessä kiintopisteluokassa.

Suosituksessa annetaan ohjeet ja vaatimukset eri mittausmenetelmillä tehtävään kiintopisteiden mittaukseen ja laskentaan. Suosituksessa esitetään myös vaatimukset pysyvien GNSS-tukiasemien ja tukiasemaverkkojen luokittelemiseksi EUREF-FIN:ssä.

Suosituksen kohderyhmiä ovat:

- kiintopistemittauksia tekevät ja tilaavat kunnat
- julkiselle hallinnolle kiintopistemittauksia tekevät yritykset
- kiintopistemittauksia tekevät ja valvovat valtion viranomaiset
- julkiselle hallinnolle paikannuspalveluja tarjoavat yritykset.

3 Viittaukset

JHS 153 ETRS89-järjestelmän mukaiset koordinaatit Suomessa

JHS 154 ETRS89-järjestelmään liittyvät karttaprojektiot, tasokoordinaatistot ja karttalehtijako

JHS 163 Suomen korkeusjärjestelmä N2000

EN ISO 19111 Geographic information -- Spatial referencing by coordinates

INSPIRE-direktiivi

Geoinformatiikan sanaston 2. laitos, Sanastokeskus TSK ry, 2011. ISBN 978-952-9794-28-7

E2-tukiasemaohje

4 Termit ja lyhenteet

a posteriori
jälkeen

a priori
ennen

JUHTA - Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta

ARP

Antenna Reference Point, GNSS-antennin fyysinen piste, johon koordinaatit määritetään. Paikka on antennityypikohtainen, mutta tyypillisesti antennin alapinnan keskipiste.

EUREF-FIN

ETRS89-datumin realisoinnin tuloksena saatu kansallinen koordinaattijärjestelmä. ETRS89 on realisoitu Suomessa GPS-mittausten avulla ja tästä realisaatiosta käytetään nimeä EUREF-FIN.

FIN2000

Geoidimalli, joka on sovitettu N60-korkeusjärjestelmään. FIN2000-geoidimallin avulla EUREF-FIN:ssä olevasta ellipsoidisesta (GRS80) korkeudesta saadaan N60-korkeus.

FIN2005N00

Geoidimalli, joka on sovitettu N2000-korkeusjärjestelmään. FIN2005N00-geoidimallin avulla EUREF-FIN:ssä olevasta ellipsoidisesta (GRS80) korkeudesta saadaan N2000-korkeus.

FinnRef®

Geodeettisen laitoksen pysyvä GNSS-verkko.

GDOP

Geometric Dilution of Precision, luku, joka kuvaa satelliittigeometrian vaikutusta sijainnin ja ajan tarkkuuteen.

Geoidi

Maan painovoimakentän potentiaalin tasa-arvopinta, joka parhaiten kuvaa meren keskivedenpintaa joko globaalisti tai paikallisesti.

GNSS

Global Navigation Satellite Systems, yhteisnimitys maailmanlaajuisille satelliittipaikannusjärjestelmille, kuten:

- GPS, Global Positioning System, yhdysvaltalainen satelliittipaikannusjärjestelmä
- GLONASS, GLObal NAVigation Satellite System, venäläinen satelliittipaikannusjärjestelmä
- Galileo, eurooppalainen satelliittipaikannusjärjestelmä
- Beidou/Compass, kiinalainen satelliittipaikannusjärjestelmä

kontrollipiste

Saman luokan kiintopiste, jolla varmistetaan mittauksen yhteensopivuus mittausalueella olemassa olevaan kiintopisteistöön. Kontrollipistettä ei käytetä lähtöpisteenä vaan sen tunnettuja koordinaatteja verrataan uuteen määrittämiseen. Jos kontrollipisteen uuden määrittämisen koordinaatit menevät luokan toleransseihin, katsotaan uuden mittauksen olevan yhteensopiva vanhan kanssa. Tällöin kontrollipisteen alkuperäiset koordinaatit jäävät voimaan.

lähtöpiste

Ylemmän luokan kiintopiste, jonka koordinaatit kiinnitetään tai rajoitetaan laskennassa.

mittausalue

Määritettävien kiintopisteiden rajaama alue.

MKL

Merenkulkulaitos (nykyään osa Liikennevirastoa)

MML

Maanmittauslaitos

määritettävä piste

Kiintopiste, jolle määritetään mittaamalla (uudet) koordinaatit.

N2000 ja N60

Suomalaisia valtakunnallisia korkeusjärjestelmiä (ks. *JHS 163*)

PCO

Phase Center Offset, ARP:n ja antennin sähköisen keskipisteen välinen keskimääräinen ero.

PCV

Phase Center Variation, antennin sähköisen keskipisteen paikan vaihtelu, joka riippuu satelliitin suunnasta.

PDOP

Position Dilution of Precision, luku, joka kuvaa satelliittigeometrian vaikutusta sijainnin tarkkuuteen.

PPP

Precise Point Positioning, satelliittipaikannustekniikka, jossa yhden vastaanottimen vaihehavainnoilla voidaan määrittää vastaanottimen sijainti.

riippumaton vektori

Yhden GNSS-kampanjan havaintojakson aikana, jossa käytetään N vastaanotinta, voidaan mitata N-1 riippumatonta vektoria, jotka eivät muodosta sulkeutuvia kuvioita. Riippumattomien vektoreiden joukko voidaan valita eri tavoilla.

RMS

Root Mean Square, neliöllinen keskiarvo

RTK

Real Time Kinematic, satelliittimittaustekniikka, jossa mittaavan vastaanottimen ja tukiasemavastaanottimen vaihehavainnoita hyväksikäyttäen ratkaistaan reaaliaikainen sijainti.

triviaalivektori

Vektori, joka saman havaintojakson aikana sulkee kuvion (kolmio tai monikulmio). Yhden GNSS-kampanjan havaintojakson aikana, jossa käytetään N vastaanotinta, voidaan mitata N-1 riippumatonta vektoria, jotka eivät muodosta sulkeutuvia kuvioita. Mikäli laskentaan tai tasoitukseen otetaan havaintojaksosta useampia vektoreita, jotka muodostavat sulkeutuvia kuvioita yhden havaintojakson aikana, kutsutaan näitä ylimääräisiä vektoreita triviaalivektoreiksi.

5 EUREF-FIN-kiintopisteet ja niiden luokittelu

Tässä luvussa kuvataan EUREF-FIN:n kiintopisteitä ja niiden luokittelua. Varsinaiset mittausohjeet löytyvät *luvusta 7*.

EUREF-FIN on aidosti kolmiulotteinen koordinaattijärjestelmä (*JHS 153*), joten myös EUREF-FIN-kiintopisteiden koordinaatit on esitettävä joko maantieteellisinä (φ , λ , h) tai kolmiulotteisina suorakulmaisina (X, Y, Z) koordinaatteina. Käytännön töitä varten nämä koordinaatit voidaan projisoida *JHS154*:ssä esitetyille projektiotasolle, mutta tällöin on huomattava että pelkät tasokoordinaatit eivät täytä EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmän kolmiulotteisuuden ehtoa. Koska EUREF-FIN-koordinaatteja määritetään pääasiassa GNSS-mittauksien avulla, on kaikilla EUREF-FIN-kiintopisteillä aina oltava kolmiulotteiset koordinaatit. Tämän vuoksi EUREF-FIN-kiintopisteille on aina tallennettava mahdollisten tasokoordinaattien lisäksi alkuperäiset kolmiulotteiset koordinaatit. Esimerkiksi ETRS-GKn-tasokoordinaatit ja N2000-korkeus muodostavat yhdistelmäkoordinaattijärjestelmän (ns. 2D+1D) eivätkä siis ole EUREF-FIN-koordinaatteja.

EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmän kiintopisteet luokitellaan käyttötarkoituksensa perusteella peruskiintopisteisiin ja käyttökiintopisteisiin. Peruskiintopisteet muodostavat valtakunnallisten ja paikallisten

kiintopisteverkkojen rungon ja käyttökiintopisteet ovat paikallisessa päivittäisessä käytössä olevia kiintopisteitä (esim. kartoituksen lähtöpisteitä). Valtakunnalliset peruskiintopisteet muodostavat luokat E1-E2, paikalliset peruskiintopisteet luokat E3-E4 ja paikalliset käyttökiintopisteet luokat E5-E6. EUREF-FIN:n kiintopisteiden luokittelu on esitetty *kuvassa 1*. On huomattava, että kiintopisteen koordinaattiluokka voi vaihdella eri koordinaatti- tai korkeusjärjestelmissä ja sitä ei voi suoraan päätellä pistenumeroista. Esimerkiksi kkj:n ensimmäisen luokan piste G24 on kolmatta luokkaa EUREF-FIN:ssä.

EUREF-FIN-kiintopisteet voidaan jaotella myös passiivisiin ja aktiivisiin. Passiiviset kiintopisteet ovat maastossa olevia pisteitä, jonka merkinä käytetään metallipulttia, -putkea tai -tankoa. Kiintopisteiden tulee olla rakenteeltaan yksikäsitteisiä, liikkumattomia ja kestäviä. Kiintopisteet rakennetaan tai kiinnitetään ensisijaisesti kallioon, isoon maakiveen tai kiinteään rakenteeseen. Aktiiviset kiintopisteet ovat kiinteästi asennettuja GNSS-tukiasemia, joiden havainnot ovat jatkuvasti käytettävissä. Myös näiden pysyvien GNSS-asemien pitää täyttää edellä mainitut kiintopisteen rakenteelle asetetut vaatimukset. Aktiivisen kiintopisteen muodostaa GNSS-antenni (sekä muu GNSS-laitteisto), joka on kiinnitetty kallioon tai muuhun kiinteään rakenteeseen erilaisten masto- tai pilarirakennelmien avulla.

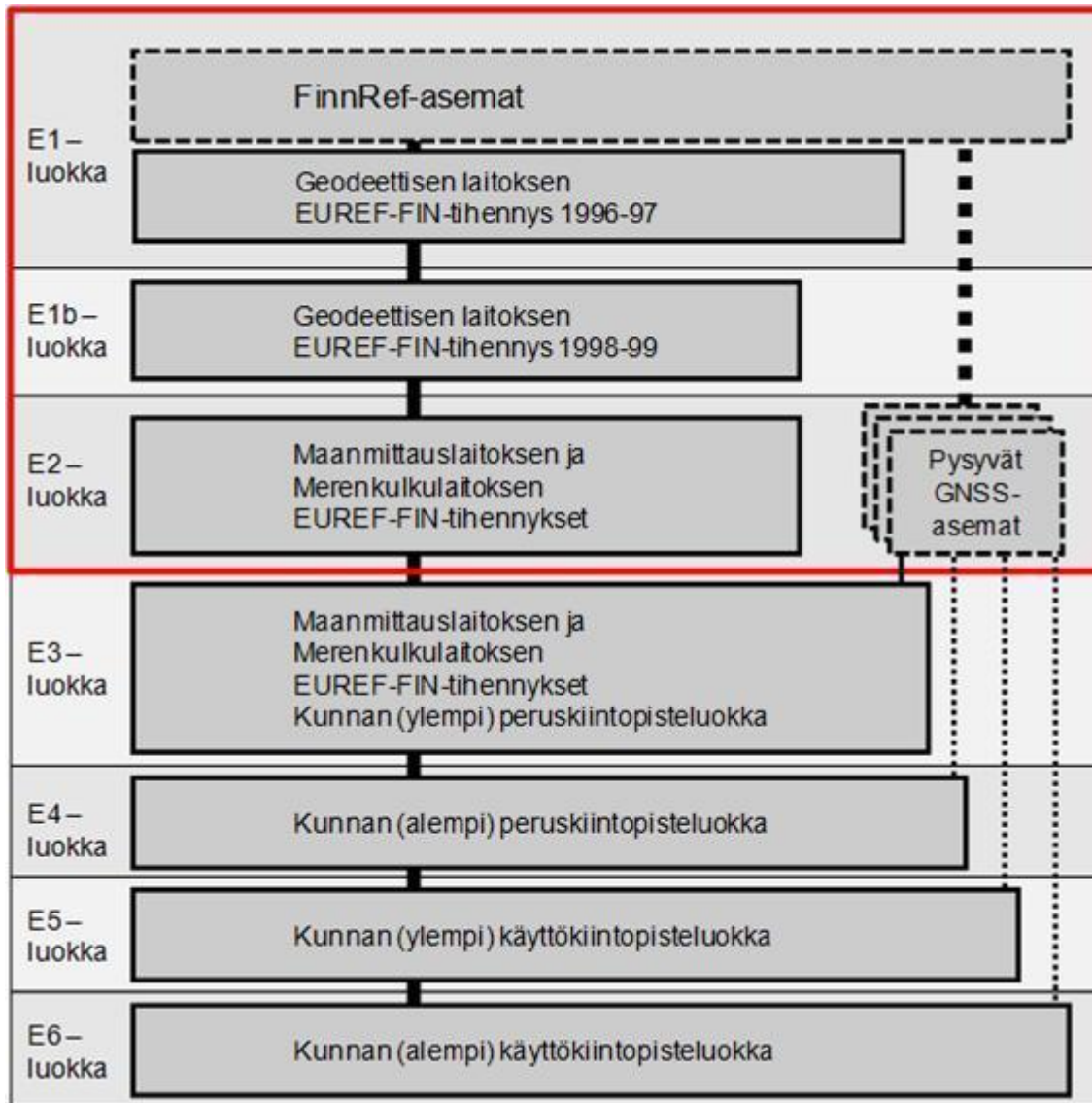
Pysyviä GNSS-asemia on käytetty perusrunkoverkkojen ja käyttökiintopisteiden mittaamiseen. GNSS-teknologian tarjoamat mahdollisuudet ja pysyvien asemien käyttö on kuitenkin hämärtänyt perinteisen hierarkia-ajattelun kiintopisteverkoissa. GNSS-mittauksissa toiminta-alue on kasvanut, tarkkuudet parantuneet ja virheen kasautuminen kiintopisteverkoissa on pienentynyt verrattuna perinteisiin mittauksiin (kolmio- ja jonomittaukset). Tämä ei silti tarkoita sitä, että kaikki eri aikoina ja eri tavoin suoritettujen GNSS-mittaukset olisivat keskenään täysin yhteensopivia. Tässä suosituksessa ohjeistetaan mittaukset EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä, jotta varmistetaan eri aikoina ja eri tavoin mitattujen kiintopisteverkkojen sisäinen tarkkuus.

5.1 Valtakunnalliset peruskiintopisteet (E1-E2)

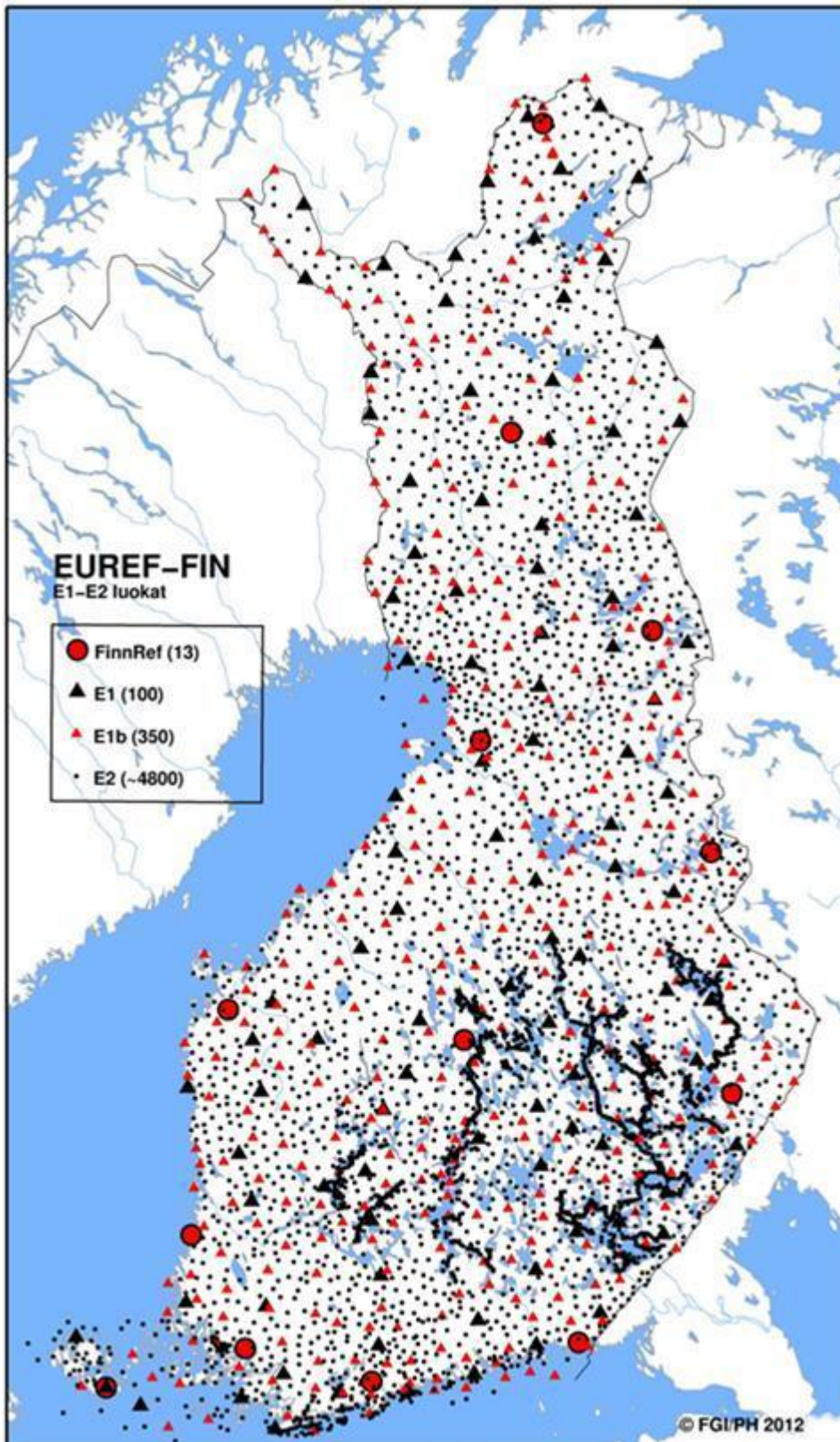
EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmän määrittävät ylimmän E1-luokan peruskiintopisteet. Tähän luokkaan kuuluvat Geodeettisen laitoksen FinnRef-verkon pysyvät GNSS-asemat ja vuosina 1996–97 tehtyjen GPS-mittausten 100 passiivista kiintopistettä. Näitä pisteitä on kuitenkin harvassa ja ne ovat usein vaikeasti saavutettavissa. Geodeettinen laitos mittasi 1998–99 uusia kiintopisteitä helpommin saavutettavissa oleviin paikkoihin. Tämä 350 pisteen laajennus sidottiin suoraan E1-luokkaan ja se muodostaa E1b-luokan. Sekä E1- että E1b-luokka tasoitettiin yhtenä verkkona sisäisen tarkkuuden varmistamiseksi ja niiden kuvaukset sekä koordinaatit on julkaistu *Geodeettisen laitoksen julkaisussa nro 129 ja tiedotteessa nro 24*. Keskimääräinen pisteväli luokissa E1-E1b on 35 km.

Maanmittauslaitos (MML) ja Merenkulkulaitos (MKL, nyk. Liikennevirasto) ovat tihentäneet edellä mainittuja verkkoja ja sitoneet nämä E2-luokan mittaukset suoraan E1- ja E1b-luokkiin. E2-luokassa on noin 4800 passiivista kiintopistettä keskimääräisen etäisyyden ollessa 12 km.

E1-E2-luokkien passiivisia kiintopisteitä ylläpitävät valtion viranomaiset ja ne muodostavat valtakunnallisen runkoverkon EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä. E1-E2-luokkien peruskiintopisteet on esitetty *kuvassa 2*. Nämä luokat on passiivisten kiintopisteiden osalta mitattu valmiiksi eikä niihin mitata uusia kiintopisteitä muutoin kun ylläpidollisista syistä. Aktiivisia kiintopisteitä (pysyviä GNSS-asemia) voidaan kuitenkin liittää valtakunnalliseen E2-luokkaan (ks. *luku 5.3*). Valtion viranomaisten mittaamien kiintopisteiden tiedot on tallennettu Maanmittauslaitoksen ylläpitämään kiintopisterekisteriin ja pisteselostuksia saa *Maanmittauslaitoksen Ammattilaisen Karttapaikalta* tai sähköpostitse kiintopisteet@maanmittauslaitos.fi.



Kuva 1. EUREF-FIN-kiintopisteiden luokittelu. Valtakunnalliset E1-E2-luokat on esitetty punaisella kehyksellä. Katkoviivoin reunustetut laatikot ovat aktiivisia ja yhtenäisillä viivoilla reunustetut laatikot passiivisia kiintopisteitä. Laatikkojen välillä olevat yhtenäiset viivat kuvaavat hierarkkista, suoraan lähimpiin ylempien luokkien kiintopisteisiin perustuvaa mittausmenetelmää, kun taas katkoviivalla esitetään luokkarajojen yli tapahtuvaa mitaamista. E2-luokkaan hyväksyttyjä pysyviä GNSS-asemia voidaan käyttää E3-E6-luokan pisteiden mitaamiseen, jolloin mittausmenetelmä määrittää mihin luokkaan mitattava piste sijoittuu (ks. tarkemmin luku 7).



Kuva 2. Valtakunnalliset EUREF-FIN-pisteet luokissa E1-E2, pisteiden lukumäärät suluissa. Mustareunuksiset punaiset ympyrät ovat Geodeettisen laitoksen pysyviä FinnRef-asemia (aktiivisia kiintopisteitä), mustat kolmiot E1-luokan, punaiset kolmiot E1b-luokan ja mustat pisteet E2-luokan passiivisia kiintopisteitä. Listaa E2-luokkaan hyväksytyistä tukiasemista ylläpidetään luvussa 8 (Opastavat tiedot) ilmoitetussa verkko-osoitteessa.

5.2 Paikalliset kiintopisteet

Paikalliset (esim. kunnan) EUREF-FIN-kiintopisteet jaetaan peruskiintopisteisiin ja käyttöpisteisiin. Paikalliset peruskiintopisteet muodostavat luokat E3-E4 ja käyttöpisteet luokat E5-E6.

5.2.1 Peruskiintopisteet (E3-E4)

Paikalliset peruskiintopisteet (luokat E3 ja E4) määrittävät kunnan koordinaattijärjestelmän rungon yhdessä kunnan alueella sijaitsevien valtakunnallisten E1-E2-luokkien peruskiintopisteiden kanssa. MML ja MKL ovat mitanneet useita tuhansia paikallisia E3-luokan peruskiintopisteitä, joita kunta voi käyttää omassa runkoverkossaan. Näillä alueilla pisteitä on 5–10 kilometrin välein.

E3-luokka on tarkoitettu kunnan ylemmäksi ja harvemmaksi peruskiintopisteluokaksi ja E4 tämän tihennykseksi. Jos kunnan alueella on jo olemassa riittävästi (jonkun muun toimijan mittaamia) E3-pisteitä, ei kunnan tarvitse mitata omaa E3-verkkoa. Tällöin kunnalla voi olla kahden luokan sijaan vain yksi *oma* peruskiintopisteluokka, jolla tihennetään E3-verkkoa ja joka määritellään tällöin E4-luokkaan.

5.2.2 Käyttökiintopisteet (E5-E6)

Alemmat E5-E6-luokkien käyttökiintopisteet toimivat kartoitus- ja merkintämittausten lähtöpisteinä. E5-luokan pisteet muodostavat kunnan ylemmän ja tarkemman käyttöpisteluokan ja E6-luokka on tarkoitettu epätarkemmille kiintopisteille mm. muunnetuille pisteille ja apupisteille.

Kunnan vaihtaessa koordinaattijärjestelmää osaa vanhoista pisteistä ei voida mitata tai laskea vanhoista havainnoista uuteen järjestelmään vaan uuden järjestelmän mukaiset koordinaatit joudutaan muuntamaan vanhan järjestelmän koordinaateista. Tämä heikentää muunnetun pisteen tarkkuutta, joten muunnettua pistettä ei saa enää käsitellä alkuperäisen luokkansa pisteenä. Muunnoksen hyvyydestä riippuen EUREF-FIN-järjestelmään muunnettu piste pitää luokitella korkeintaan E6-luokkaan. Muunnetun koordinaatin yhteyteen pitää aina merkitä, että kyseessä on muunnoksella tuotettu koordinaattiarvo.

5.3 Aktiiviset kiintopisteet (pysyvät GNSS-asemat)

Aktiivisilla kiintopisteillä tarkoitetaan kiinteästi sijoitettuja GNSS-laitteistoja, jotka keräävät jatkuvasti GNSS-havaintoja. Pysyvien GNSS-asemien määrä ja käyttö paikkatiedon tuotantoon ja hyödyntämiseen on kasvanut voimakkaasti koko 2000-luvun ja asemia on niin valtakunnallisessa kuin paikallisessakin käytössä. Pysyvät GNSS-asemat tai tukiasemaverkot pitää luokitella EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmän aktiivisiksi kiintopisteiksi, jos niiden käyttötarkoitus sitä edellyttää. Tällöin myös niiden EUREF-FIN-koordinaatit on määritettävä vaaditulla tavalla.

Geodeettisen laitoksen FinnRef-verkko muodostaa koordinaattijärjestelmän rungon ja määrittää ylimmän E1-luokan yhdessä vuosina 1996–97 mitatun passiivisen 100 pisteen kanssa. FinnRef-verkon pääasiallinen tarkoitus on ylläpitää yhteyksiä eurooppalaisiin ja maailmanlaajuisiin koordinaattijärjestelmiin sekä maankuoren liikkeiden (erityisesti maankohoamisen) tutkimuksen kautta taata kansallisten koordinaattijärjestelmien laatu ja pysyvyys.

Muiden pysyvien GNSS-asemien tai tukiasemaverkkojen pisteluokka riippuu niiden käyttötarkoituksesta ja asemille asetetuista kriteereistä. Tukiasema tai tukiasemaverkko pitää sijoittaa E2-luokkaan, jos sen avulla tuotetaan paikannuspalveluita, jotka ovat alueellisesti tai käyttäjämääräisesti laajassa käytössä. Jos tukiasemaverkon koko (verkon reunimmaisten tukiasemien välinen etäisyys) on suurempi kuin 100 km, pitää verkko määrittää E2-luokkaan ja verkon koon (ml. lähtöpisteet) ylittäessä 200 km ottaa huomioon maannousun vaikutus EUREF-FIN-koordinaattien määrittämisessä.

Ohjeet ja vaatimukset tukiaseman tai tukiasemaverkon liittämiseen valtakunnalliseen E2-luokkaan löytyvät erillisestä *tukiasemaohjeesta*. Aktiivisten kiintopisteiden E2-luokan koordinaatit määrittää Geodeettinen

laitos, joten tukiasemien havaintojen pitää olla Geodeettisen laitoksen käytettävissä asemien koordinaattien määrittämistä ja monitorointia varten. Tukiasemaohje ja päivitetty tilanne E2-luokkaan hyväksytyistä tukiasemista löytyy *luvussa 8* (Opastavat tiedot) ilmoitetusta verkko-osoitteesta.

Kunnalla tai muulla toimijalla voi olla oma yksittäinen GNSS-tukiasema tai tukiasemaverkko, jota käytetään pääasiassa omaan toimintaan tai verkon koko on pienempi kuin 100 km. Tällaiset tukiasemat tai tukiasemaverkot voidaan sijoittaa myös luokkiin E3-E4. Kun asema määritetään korkeintaan E3-luokkaan, ei tukiasemien koordinaatteja tarvitse määrittää valtion viranomaisen toimesta vaan ne voidaan määrittää kuten muillekin paikallisille peruskiintopisteille (ks. *luku 7*). Jos kyseessä on aktiivinen kiintopiste, on aseman stabiilisuutta (koordinaatteja) seurattava säännöllisillä tarkistuslaskennoilla.

6 Mittausmenetelmät

Tässä luvussa käydään läpi lyhyesti mittausmenetelmiä ja -periaatteita. Tarkemmat ohjeet EUREF-FIN-kiintopisteiden mittaamisesta annetaan *luvussa 7*.

6.1 Staattinen relatiivinen GNSS-mittaus

6.1.1 Suunnittelu ja mittaukset

Staattisessa relatiivisessa GNSS-mittauksessa määritetään tuntemattoman pisteen paikka suhteessa tunnettuun pisteeseen (koordinaattierot ΔX , ΔY , ΔZ pisteiden välillä) eli havaitaan vähintään kahdella pisteellä samanaikaisesti. Staattisessa mittauksessa GNSS-vastaanottimet ja antennit ovat paikallaan koko mittauksen ajan. Mittauksessa käytetään lähtöpisteinä koordinaateiltaan tunnettuja pisteitä, jotka valitaan niin, että ulommaiset lähtöpisteet sulkevat mitattavan verkon sisäänsä. Ulommaisten pisteiden lisäksi on yhteensopivuussyistä mittauksissa käytettävä myös verkon alueella olevia tunnettuja lähtö- ja kontrollipisteitä. Määritettävien pisteiden määrään vaikuttaa alueen laajuus ja infrastruktuuri, kaupunkimaisella alueella kiintopisteitä tarvitaan yleensä tiheämmin kuin haja-asutusalueella. Pisteitä tulisi muutoin olla mahdollisimman tasavälein koko alueella.

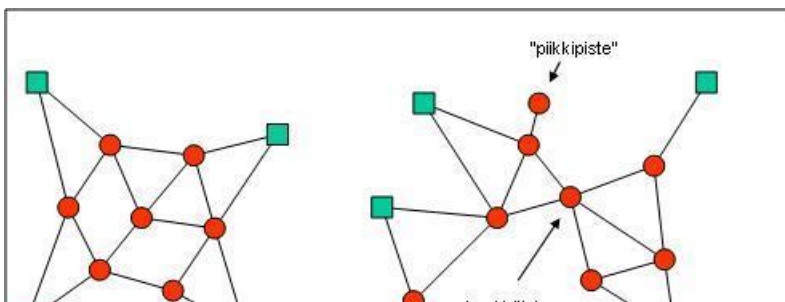
Verkko muodostetaan ja mitataan havaintojaksoittain (sessioittain), jotka suunnitellaan mitattavien pisteiden ja vastaanottimien määrän mukaan. Verkko muodostuu sulkeutuvista kuvioista, silmukoista. *Kuvissa 3 ja 6* on havainnollistettu mitattavan verkon suunnitteluperiaatteita:

- vektoreiden on oltava mahdollisimman tasapituisia
- silmukka ei saa sulkeutua samassa sessiossa, vaan se suljetaan toisen session havainnoilla
- verkon vektoreista on mitattava vähintään 15 % kahteen kertaan
- viereisillä silmukoilla on oltava vähintään 2 yhteistä pistettä
- verkossa ei saa olla piikkipisteitä.

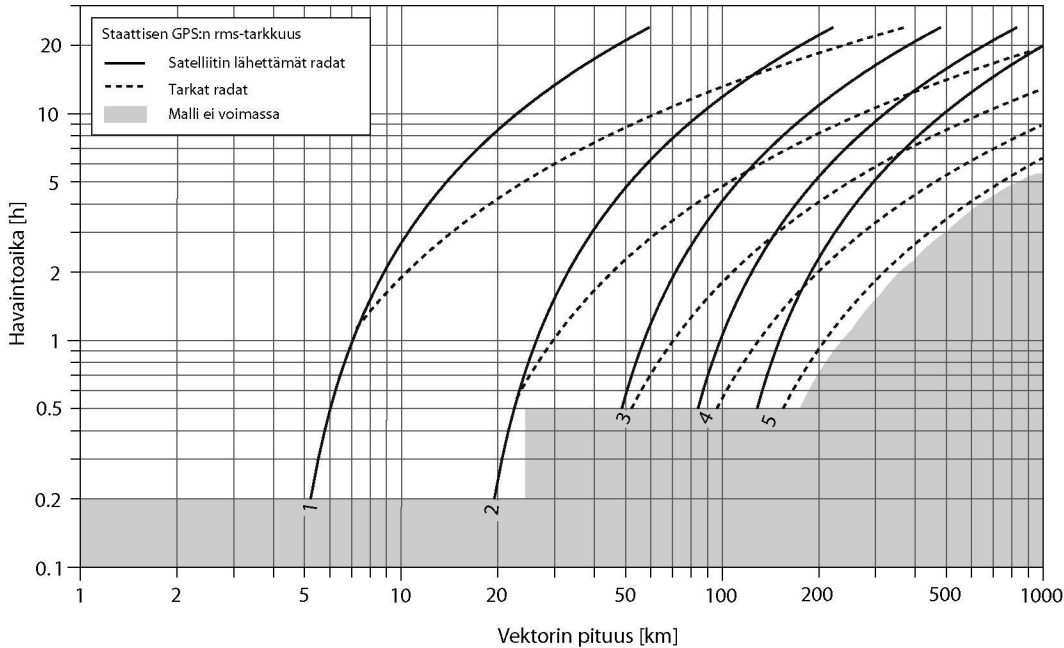
Käytettävien laitteiden on oltava kiintopistemittaukseen soveltuvia:

- GNSS-vastaanotin tallentaa raakahavaintoja (koodi ja vaihe)
- käytettävä vähintään 2-taajuushavaintoja, jos vektorin pituus on yli 10 km
- käytettävä laskentaohjelmiston tuntemaa antennityyppiä.

Antenni on pystytettävä tukevasti kolmijalalle tai kiinnitettävä muutoin tukevaan rakenteeseen, esimerkiksi pilarille. Mittaukseen tarvittava havaintoaika riippuu havaittavien vektoreiden pituudesta ja havaintopaikasta. Havaintojakson pituuden määrää session pisin vektori ja koordinaattiluokka. Näiden perusteella laaditaan mittauksen aikataulu. *Kuvassa 4* on esitetty staattisen GPS-mittauksen tarkkuuden, vektorin pituuden ja havaintoajan välinen yhteys. Kuvaa voidaan käyttää arvioitaessa havaintojakson pituutta, kun pisteen tarkkuusvaatimus ja vektorien pituudet ovat tiedossa.



Kuva 3. Mitattavan verkon suunnitteluperiaatteita. Vihreät neliöt ovat lähtöpisteitä ja punaiset ympyrät määritettäviä pisteitä. Kuvassa on esitetty E4-E6-luokkiin soveltuva verkko, E3-luokkaa on mitattava kolmioverkkona.



Kuva 4. Staattisen GPS:n tarkkuuden, vektorin pituuden ja havaintoaajan välinen riippuvuus (Häkli et al., 2008). Käyrät kuvaavat staattisen GPS-mittauksen RMS-tarkkuutta (1-5 cm) havaintoaajan ja vektorin pituuden suhteen (yhtenäisellä viivalla satelliittien lähettämää ennustettuja ratoja ja katkoviivalla tarkkoja ratoja käytettäessä). Kiintopisteiden mittauksessa tulisi käyttää tarkkuusaluetta 5–30 mm riippuen koordinaattiluokasta. Alle 30 minuutin havaintoaikojia ei saa käyttää kiintopisteiden mittaamiseen.

Kuvaa tulkittaessa on huomioitava, että se on suuntaa antava ja tarkkuus riippuu useista tekijöistä. Kuvan tarkkuusarvot ovat RMS-tarkkuuksia (1 σ) eli ne kuvastavat tarkkuutta, jota parempia tuloksia 68 % vektoriratkaisuista tilastollisesti antaa. Kuvasta saatava havaintoaika tarkoittaa vähimmäishavaintoaikaa kyseiselle vektorille, jotta todennäköisyys vektoriratkaisun onnistumiseen olisi mahdollisimman hyvä. Jos havaintoaikaa lyhennetään (tai tarkkuusvaatimusta huononnetaan havaintoaajan lyhentämiseksi), voi seurauksena olla, ettei vektori ratkea ollenkaan ja se joudutaan mittaamaan uudelleen.

Kuvan tulokset perustuvat hyvillä havaintopaikoilla tehtyihin havaintoihin (esteetön näkyvyys satelliitteihin korkeuskulman 20° yläpuolella). Etenkin lyhyemmillä havaintojaksoilla tarkkuuteen voi vaikuttaa sekä satelliittien määrä että satelliittigeometria. Mittaus on mahdollisuuksien mukaan tehtävä satelliittigeometrialtaan parhaaseen aikaan. Satelliittigeometrian vaihtelua voi tutkia GNSS-almanakan ja mittaussuunnitteluohjelman avulla. Mittaussyunnitteluohjelma löytyy useimmista GNSS-laskentaohjelmista. Satelliittigeometriaa kuvaavan GDOP-luvun arvo on oltava alle 8. Havaintoaikojia kannattaa pidentää ohjearvoista, jos GDOP tai ionosfäärin aktiivisuus ovat suhteellisen korkeita. Ionosfäärin tila riippuu Auringon aktiivisuudesta.

6.1.2 Laskenta

Havaintojen laskentaan tarvitaan laskentaohjelma, jolla vektorit ratkaistaan ja tasoitetaan verkkotasoituksessa virheyhtälötasoituksena (tasointu voidaan suorittaa myös erillisellä ohjelmalla). Myös laskentaohjelmissa on eroja, mikä voi vaikuttaa saavutettavaan tarkkuuteen ja tunnuslukuihin. Laskentaohjelman pitää ottaa huomioon antennien ominaisuuksista vähintään antennin sähköisen keskipisteen ja referenssipisteen (ARP) välinen ero (PCO), jotta ratkaistavat koordinaatit viittaavat oikeaan paikkaan. Lisäksi ohjelma voi ottaa huomioon antennin sähköisen keskipisteen paikan vaihtelun signaalin tulosuunnan mukaan (PCV). Jos mittauksissa käytetään erityyppisiä antenneja ja antennien ominaisuuksia ei oteta huomioon tai käytetään väärän antennin arvoja, voi tästä aiheutua useiden senttimetrien tai jopa desimetrien suuruisia virheitä

JUHTA - Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta

koordinaatteihin. Tämän vuoksi on tärkeää tarkastaa laitevalmistajan ohjeista laitteiden (etenkin antennin) tyyppi ja antennikorkeuden mittaustapa. Suuria virheitä voi aiheutua myös vääristä antennikorkeuksista tai siitä, että ne on annettu väärässä muodossa (suora- tai vinoetäisyys). Jotta voidaan varmistaa tietojen oikeellisuus laskennassa, on antennin tiedot: tyyppi, antennikorkeudet ja korkeuden mittaustapa (vino/suora ja mittausta paikka antennissa) kirjattava maastossa havaintolomakkeeseen.

Kuvasta 4 nähdään (kun tarkkuus on 1–2 cm), että tarkkoja ratatietoja kannattaa käyttää yli 10 km pituisten vektoreiden ja yli tunnin mittaisen havaintojen laskennassa. Kuvan tulokset perustuvat yksittäisten vektoriratkaisujen tarkkuuteen. Jos havainnot on tehty hyvin, parantaa oikeaoppisesti suoritettu verkkotasoitus useimmiten pisteen koordinaattien tarkkuutta. Tasoituksen tuloksena saadaan mitattaville pisteille koordinaatit ja keskivirheet.

Laskennan vaiheet ovat:

1. Sessioittain: Lasketaan kaikki mahdolliset vektorit, myös triviaalivektorit (vektorien laskenta).
2. Sessioittain: Tasoitetaan kontrolliksi sessiokohtainen verkko minimirajoituksin (ns. vapaa verkkotasoitus).
3. Koko verkko: Tasoitetaan koko verkko minimirajoituksin. Tasoitukseen viedään kaikkien sessioiden kaikki kelvolliset vektorit kovarianssimatriiseineen.
4. Koko verkko: Tasoitetaan koko verkko pitäen ylemmän luokan pisteitä kiinteinä tai rajoitettuina.

Vaiheen 1 tuloksena saadaan vektorikomponentit ja niiden kovarianssimatriisi. Ohjelmasta riippuen tulostus voi olla hyvinkin erilainen. Vektorilaskennassa kannattaa kiinnittää huomiota muun muassa seuraaviin seikkoihin (ohjearvoja *luvun 7 taulukoissa 2–4*):

- Vastaako havaintojakson pituus vektorin pituutta
- Onko tallennusväli ollut ohjeiden mukainen
- Signaalin tulokulma, katkaisukulma (onko ohjeiden mukainen)
- Troposfäärimalli
- Ionosfäärimalli
- Ratatiedot: tarkat tai satelliittien lähettämät radat
- EUREF-FIN-lähtökoordinaatit
 - Koordinaattien likiarvot, mistä peräisin
 - Tunnetut koordinaatit (ylemmän luokan pisteet): kannattaa pitää jo vektorilaskennassa referenssipisteinä, sillä vektoria ratkaistaessa sen toinen pää kiinnitetään ja tarkat koordinaatit voivat parantaa tarkkuutta verrattuna likimääräisiin koordinaatteihin
- Onko antennin korkeudet oikein (vertaus maastossa tehtyyn kirjaukseen)
- Onko valittuna oikeat antennityypit
- Jos on käytetty pysyviä tukiasemia lähtöpisteinä, onko niiden etäisyys pisteistä ohjeiden mukainen
- Ratkaisussa käytetty havaintotyyppi: vaihe, lineaarikombinaatio
- Ovatko alkutuntemattomat ratkenneet (fix/float)
- Kuinka paljon eri havaintotyypeillä lasketut ratkaisut poikkeavat toisistaan
- Keskivirheet eri ratkaisutyypeillä
- Ratkaisun keskivirheet

Kelvollisiksi vektoreiksi verkkotasoitukseen valitaan kaikki vektorit (myös triviaalivektorit), jotka on havaittu ohjeiden mukaisesti ja joissa alkutuntemattomat ovat ratkenneet (alle 20 km pituiset vektorit, tarkoilla radoilla laskettaessa pidemmätkin).

Vaihe 2 on kontrollilaskenta. Tässä vaiheessa jäännösvirheet johtuvat vain alkutuntemattomien ratkaisusta, eri määrästä dataa eri vektoreissa ja mahdollisista likiarvokoordinaattien eroista. Ongelmatapauksissa vektori kannattaa kontrollin vuoksi laskea molempiin suuntiin pitämällä vuorotellen vektorin vastakkaisia päitä kiinteinä.

Vaiheessa 3 saadaan eri sessioissa mitattujen vektoreiden yhteensopivuus. Verkkotasoituksen lisäksi kannattaa verrata toistomitattuja vektoreita. Tässä vaiheessa saadaan arvio havaintojen luotettavuudesta, jos

verkossa on riittävästi ylimäärittystä eli redundanssia (eli pisteillä on käyty useammin kuin kerran ja sessioissa on yhteisiä pisteitä enemmän kuin yksi).

Tasoituksen tuloksena saadaan pisteiden koordinaatit ja niiden kovarianssimatriisi, vektorikomponenttien jäännösvirheet ja painoyksikön keskivirhe. Yleensä a priori painoyksikön varianssi on 1, joten myös a posteriori painoyksikön varianssin tulisi olla 1. Hyvä ohjelma etsii havaintojen joukosta karkeasti poikkeavat havainnot ja testaa painoyksikön varianssin tilastollisesti. Myös sisäisen ja ulkoisen luotettavuuden laskenta kuuluu verkkotasoitusten vakiovarustukseen.

Jos painoyksikön varianssi poikkeaa merkittävästi ykkösestä, syynä ovat yksittäiset poikkeavat havainnot (outlier) tai alun perin liian optimistiset odotukset havaintojen tarkkuudesta. Tarkastelu voi paljastaa myös vääriä antennin korkeuksia tai huonosti ratkenneita vektoreita, jos pisteillä on mitattu useammin kuin kerran ja jos sessioissa on yhteisiä vektoreita. Korjaavina toimenpiteinä ovat poikkeavien havaintojen poisto (voidaan joutua testaamaan vektori kerrallaan), mahdollinen uusien havaintojen lisääminen ja vektorikomponenttien painotuksen muuttaminen. Tasoituslaskentaraportin analysointiin löytyy lisätietoa liitteestä 2.

Vaiheessa 4 verkko kiinnitetään koordinaattijärjestelmään tunnettujen pisteiden avulla. Jos verkkotasoituksen tulokset osoittavat vaiheen 3 jälkeen havaintojen olevan kunnossa, niin vaiheen 4 suuret jäännösvirheet kielivät koordinaattijärjestelmän tai lähtöpisteiden virheistä. Tällaiset tapaukset on syytä raportoida ylemmästä luokasta vastuussa olevalle taholle.

6.2 Reaaliaikainen GNSS-mittaus

Reaaliaikaista vaihehavaintoihin perustuvaa GNSS-mittausta (RTK-mittaus) käytetään yleisimmin kartoituksen työvälineenä, mutta sen tarkkuus riittää myös kiintopisteiden mittaamiseen kun noudatetaan tiettyjä periaatteita. EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä reaaliaikaista GNSS-mittausta voidaan käyttää käyttökiintopisteiden (E5-E6) mittaamiseen. Tässä luvussa esitetään joitakin tärkeimpiä tekijöitä ja periaatteita havaintojen onnistumiseksi. Lisätietoa löytyy oppikirjoista ja esimerkiksi *Geodeettisen laitoksen tiedotteesta 27*.

Reaaliaikaiset GNSS-mittaukset (riippumatta siitä käytetäänkö RTK-korjauksen tuottamiseen yhtä tukiasemaa vai tukiasemaverkkoa) pitäisi suorittaa hyvillä havaintopaikoilla. Erityisesti tukiasemapaikat pitää sijoittaa hyville havaintopaikoille. Havaintopaikkaa valitessa pitää huomioida ainakin ympäristössä olevat esteet (puut, rakennukset, jne.), jotka estävät näkyvyyden satelliitteihin. Hyvällä havaintopaikalla ei ole esteitä satelliitteihin korkeuskulman 20 astetta yläpuolella. Myös havaintopaikan läheisyydessä olevat heijastavat pinnat (esim. vedenpinta, metalliaita tai auton katto) voivat huonontaa tarkkuutta. Reaaliaikaisissa GNSS-mittauksissa on suositeltavaa käyttää korkeuskulman rajana 10–15 astetta, jolloin saavutetaan paras taso- ja korkeustarkkuuden suhde. Kiintopisteitä mitattaessa antennikorkeuden tulisi olla korkeintaan 2 metriä ja antennin tasattuna kolmijalalla tai sauvassa statiivilla tuettuna.

Muiden käytettävissä olevien GNSS-satelliittien hyödyntäminen GPS:n ohella lisää satelliittien määrää ja parantaa satelliittigeometriaa. Tämä voi parantaa tarkkuutta ja luotettavuutta etenkin, jos havaintopaikka ei ole ideaalinen. Reaaliaikaisia mittauksia tehdessä satelliittien määrä ja satelliittigeometria ovat avainasemassa. Satelliitteja vaaditaan vähintään 5 (6, jos käytössä on GPS+GLONASS), mutta luotettavuuden ja tarkkuuden vuoksi satelliitteja tulisi olla vähintään 7. Havaintoajankohtaa valitessa voi apuna käyttää suunnitteluohjelmaa, mutta satelliittien näkyvyyttä ei voida määrittää tarkkaan kuin täysin aukealla paikalla tai ottamalla huomioon todelliset ympäristön esteet. Useimmiten suunnitteluohjelmasta saatava satelliittien määrä ja satelliittigeometria onkin suuntaa antava. Satelliittigeometriaa kuvaavan PDOP-arvon tulee olla kiintopistemittauksessa alle 5.

RTK-mittauksessa mitattavan kohteen sijainti määritetään suhteessa tukiasemaan eli ratkaistaan tukiaseman ja liikkuvan RTK-yksikön välistä vektoria. Ennen mittausta laite pitää alustaa eli määrittää havaintojen alkuhetkellä antennin ja satelliittien väliin jäävät kantoaallon kokonaiset aallonpituudet (alkutuntemattomat), jotka RTK-mittauksissa ratkaistaan lennosta (on-the-fly, OTF). Kun alkutuntemattomat on saatu ratkaistua kokonaisluvuiksi (fix-ratkaisu), päästään yleensä muutamien senttimetrin tarkkuuteen ja voidaan aloittaa

mittaus. Tarkkuuden parantamiseksi laitteeseen tallennettavat koordinaatit määritetään useamman ajanhetken (epookin) havaintojen keskiarvona. Tarvittavien epookkien määrä voidaan määrittää RTK-laitteen asetuksissa. Yleisesti sijainti määritetään 5–30 havainnosta yhden sekunnin päivitystiheydellä.

Reaaliaikaisen GNSS-mittauksen luonteen vuoksi ja tulosten luotettavuuden parantamiseksi (ainakin tarkkuutta ja luotettavuutta vaativissa mittauksissa) RTK-laite pitää alustaa ennen jokaista yksittäistä mittausta. Tällöin mittaukset ovat alkutuntemattomien suhteen keskenään riippumattomia ja tulosten luotettavuus paranee. Alustus kestää normaaliolosuhteissa alle 40 sekuntia (68 % alustuksista) ja jos alustusta ei ole saatu 1–2 minuutin kuluessa pitää alustus aloittaa uudelleen. Alustuksen viivästyminen on merkki ongelmista (esim. katkonainen signaali esteiden vuoksi, tiedonsiirto-ongelmat tai aktiivinen ionosfääri).

6.3 Takymetrimittaukset

Kiintopisteiden koordinaatteja on perinteisesti määritetty kulma- ja etäisyyshavaintojen avulla kolmio-, suurmonikulmio- tai jonomittauksilla. Myös EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä käyttökiintopisteiden (E5-E6) mittaamiseen voidaan käyttää jonomittauksia. Jonomittauksessa käytetään takymetriä tai teodoliittia ja erillistä etäisyysmittaria.

Jonomittauksella tarkoitetaan tunnetusta pisteestä toiseen kulkevan murtoviivan mittausta taitepisteissä tehtävin kulma- ja etäisyyshavainnoin. Jonomittausta käytetään perinteisesti tasokoordinaattien määrittämiseen, jolloin havainto- ja laskentakoordinaatisto on karttaprojektio. Menetelmällä voidaan määrittää pisteille myös korkeus. Jonomittauksessa lähtöpisteinä käytetään vähintään kahta ylemmän luokan kiintopistettä, joiden välillä uusien pisteiden muodostama jono kulkee mahdollisimman suoraan pisteiden välimatkojen ollessa suunnilleen yhtä pitkiä. Liittyminen ylemmän luokan pisteisiin suositellaan tehtäväksi täydellisenä liitoksena eli liitossuunnat havaitaan jonon molemmissa päissä. Erityisistä syistä liitos voidaan tehdä myös koordinaattiliitoksena ilman sulkupisteellä tehtäviä kulmahavaintoja, jos ei ole mahdollista havaita liitossuuntaa (perusteltava). Jonoissa ei saa olla piikkipisteitä. Pisteiden suunnittelussa on otettava huomioon pisteiden välinen esteetön näkyvyys. Läheltä maanpintaa kulkevia tähtäyksiä on pyrittävä välttämään.

Koje pystytetään kolmijalan ja luodin avulla suoraan mitattavan pisteen yläpuolelle. Mikäli pisteille määritetään myös trigonometriset korkeudet, kojeen korkeus pisteestä on määritettävä 1 mm tarkkuudella. Sekä kojeen että tähysten korkeudet mitataan ennen havaintojen aloittamista ja havaintojakson jälkeen. Mittauksen tiedot on talletettava tiedostoon tai havaintolomakkeelle.

Havaintotyössä käytetyn kojeen pitää olla kalibroitu ja sen virheet on tunnettava. Samoin jonomittauskaluston pakkokeskitysalustat on kalibroitava. Takymetrin kanssa on käytettävä saman koje- eli laitekorkeuden käsittävää prisma- ja tähyssarjaa alustoineen. Epäkeskisten prismojen käyttöä on syytä välttää.

Takymetrihavaintojen yhteydessä kirjataan säätietiedot ja ne huomioidaan tasoituslaskennassa. Havainnot tallennetaan alkuperäisinä eli niihin ei lasketa maastossa korjauksia.

7 EUREF-FIN-kiintopisteiden koordinaattien määrittäminen

Peruskiintopisteiden (luokat E1-E4) määrittämiseen tulee käyttää staattista relatiivista eli suhteellista GNSS-mittausta. Alemmissa käyttöpisteluoissa E5-E6 voidaan käyttää myös kulma- ja etäisyyshavaintoja (takymetrimittaus) ja reaaliaikaista (kinemaattista) GNSS-mittausta (RTK). Yhdellä GNSS-vastaanottimella tapahtuvaa PPP-mittausta (Precise Point Positioning) ei saa käyttää EUREF-FIN-kiintopisteiden mittaamiseen, koska tällöin mitattava piste sidotaan ainoastaan satelliitteihin (ja niiden koordinaattijärjestelmään) eikä tuloksia saada EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmään ilman muuntamista.

Tietyn luokan kiintopisteiden mittaamisessa käytetään vähintään yhtä luokkaa ylempiä lähtöpisteitä. Jos lähtöpisteitä on eri luokista, määritettävien pisteiden luokaksi tulee yhtä alempi kuin alin lähtöpisteen luokka. EUREF-FIN-kiintopisteiden mittaamisessa voidaan lähtöpisteinä käyttää sekä passiivisiä että aktiivisia kiintopisteitä (aktiivisia pisteitä ainoastaan GNSS-mittauksessa).

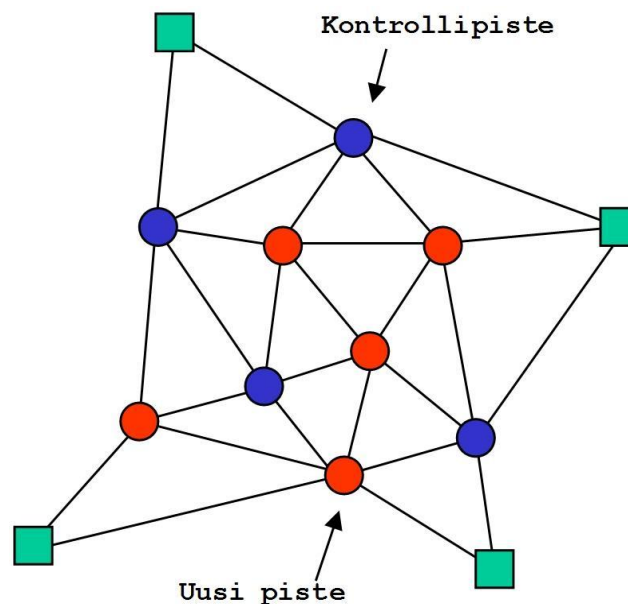
Taulukko 1. Mittausmenetelmä eri EUREF-FIN-kiintopisteluokissa.

Mittausmenetelmä	E1-E2	E3-E4	E5-E6
Staattnen GNSS	x	x	x
Reaaliaikainen GNSS			x
Takymetrimittaukset			x

7.1 Kiintopistemittauksen kontrollointi

Kiintopisteiden määritystä kontrolloidaan mittauksen suunnittelun, kenttätyön ja havaintojen jälkikäsittelyn yhteydessä. Kontrollointi perustuu tunnuslukuihin ja sanallisiin ohjeisiin. Suunnitteluvaiheen kontrollointi koskee pisteiden valintaa, verkon rakennetta ja toistomittauksia. Maastotyötä kontrolloidaan lähinnä antennin pystytykseen ja keskistykseen liittyvillä määräyksillä ja vastaanottimeen mahdollisesti tallennettavilla parametreilla kuten havaintoväli ja korkeuskulmamaski. Vaikka laskennasta saadaankin tarkkuutta kuvaavia tunnuslukuja, ne eivät yksinään riitä pisteiden luokittelun perustaksi. Myös suunnittelu ja maastossa tapahtuva mittaus tulee tehdä annettujen ohjeiden mukaisesti.

Mikäli mittausalueella (määritettävien pisteiden rajaama alue verkossa) on olemassa saman luokan kiintopisteitä kuin ollaan mittaamassa, niitä pitää ottaa mukaan kontrollipisteiksi. Kontrollipisteitä ei käytetä lähtöpisteinä vaan niille jo määritettyjä koordinaatteja verrataan uuteen määrittelyyn ja erosta voidaan arvioida uuden mittauksen yhteensopivuutta alueella jo olevaan pisteistöön. Jos kontrollipisteen uuden määrittelyn koordinaatit menevät taulukkojen 3–6 toleransseihin, katsotaan uuden mittauksen olevan yhteensopiva vanhan kanssa. Tällöin kontrollipisteiden alkuperäiset koordinaatit jäävät voimaan. Muussa tapauksessa pitää selvittää mistä ero johtuu. Mahdollisia syitä voivat olla vanhan tai uuden mittauksen virheet, pisteen liikkuminen tai usean pisteen tapauksessa koordinaatiston deformatuminen, jolloin pitää arvioida koordinaatiston saneeraustarve.



Kuva 5. Esimerkki kontrollipisteiden valinnasta. Kuvan alueelle mitataan 5 uutta E3-luokan pistettä, jolloin kontrollipisteitä on mitattava 4 kpl (kaavan $3+0.2 \cdot 5$ mukaisesti, ks. Taulukko 3).

E1-pisteluokka on olemassa oleva jo mitattu ja laskettu luokka, johon muut pisteluokat perustuvat. Passiivisten pisteiden osalta myös E2-luokka on valmis eikä sen ohjeistus ole enää ajankohtaista. Aktiivisen E2-luokan osalta annetaan ohjeet luvussa 5.3. Seuraavat ohjeet suunnittelun, mittauksen ja laskennan kontrolloinnista koskevat pisteluokkia E3-E6. Lisäksi ohjeistus koskee kiintopisteverkkojen luomista, tihentämistä ja uudelleenmittausta (saneerausta), mutta esimerkiksi yksittäisten hävinneiden pisteiden täydennysmittauksissa voidaan ohjeista tietyin varauksin poiketa (luku 7.4). Hävinneiden pisteiden tapauksessa on arvioitava milloin verkosta on tullut liian epäyhenteväinen, jolloin verkko on syytä saneerata.

7.2 Peruskiintopisteverkkojen (E3-E4) mittaaminen ja kontrollointi

EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmän peruskiintopisteet (luokat E3 ja E4) pitää aina mitata staattisella GNSS-mittauksella verkkona. Peruskiintopisteiden mittaamiseen saa käyttää ainoastaan GNSS-laitteen keräämää dataa, joten millään tavalla (jälkikäteen) generoitua tai manipuloitua dataa ei saa käyttää kiintopisteiden koordinaattien määrittämiseen. Esimerkki tällaisesta datasta on verkko-RTK-menetelmässä tukiasemaverkosta (toiseen sijaintiin) generoidut havainnot.

EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä havaintoaikaan vaikuttaa kiintopisteluokka eli tarkkuus- ja luotettavuusvaatimukset. Mitattavan kiintopisteen luokka määrää tarkkuusvaatimuksen ja siten myös osaltaan vaikuttaa havaintojakson vähimmäispituuteen. Staattisen GNSS-mittauksen suositeltavat vähimmäishavaintoaikat eri koordinaattiluokissa on koottu (kuvaan 4 perustuen) *taulukkoon 2*. Havaintoaika määräytyy aina kyseessä olevan session pisimmän vektorin mukaan ja vähimmäishavaintoaika voidaan interpoloida taulukon arvoista. Alle 30 minuutin havaintoaikoja ei saa staattisessa GNSS-mittauksessa käyttää. Jos havaintoaika on yli tunnin, suositellaan vektoriratkaisussa käytettäväksi tarkkoja ratoja. Kun verkko on suurempi kuin 200 km, maannoususta tulee merkittävä virhelähde, joka on otettava huomioon laskennassa.

Taulukko 2. Suositeltavia vähimmäishavaintoaikoja staattiselle GNSS-mittaukselle EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä. Havaintojakson (session) pisin vektori määrittää vaadittavan havaintoajan. Tarvittaessa havaintoaikoja voi arvioida muille etäisyyksille interpoloimalla taulukosta. Yli tunnin pituisille havaintojaksolle tulisi laskennassa käyttää tarkkoja ratoja.

Vektorin pituus	Mittausjakson pituus eri koordinaattiluokissa					
	E1	E2	E3	E4	E5	E6
10 km	-	2 h	1 h	1 h	30 min	30 min
30 km	8 h	6 h	2,5 h	1,5 h	30 min	30 min
50 km	15 h	9 h	4,5 h	2,5 h	1 h	30 min
100 km	19 h	13 h	8 h	5 h	3 h	2 h
> 100 km	24 h	24 h	-	-	-	-

Esimerkki: mitataan pisteitä E4-luokkaan havaintosessiossa, jossa pisin vektori on 5 km. Taulukosta saatava suositeltava havaintoaika on noin tunti, sillä vähimmäishavaintoaika E4-luokassa on tunti (luetaan riviltä 10 km). Vastaavasti, jos pisin vektori on 20 km, saadaan taulukosta interpoloiden väliltä 10 km ja 30 km havaintojaksoksi tunti 15 minuuttia.

Perusrunkoverkon E3-luokan pisteiden suositeltava pisteväli on 4-10 km riippuen kunnan koosta ja infrastruktuurista. Perusrunkoverkon E4-luokan pisteet suositellaan rakennettaviksi siten, että pisteiden väli on vähintään 500 m ja korkeintaan 5 km riippuen esimerkiksi alueen kaavoituksesta. Peruskiintopisteinä voidaan käyttää myös vanhoja kolmiopisteitä, joille on mitattu tai mitataan EUREF-FIN-koordinaatit. Tästä on etua esimerkiksi, jos kuntaan on tarve määrittää muunnosparametrit kunnan koordinaattijärjestelmästä EUREF-FIN:iin. Mittaus pitää toteuttaa taulukon 3 mukaisesti. Lähtöpisteitä pitää olla vähintään kolme, määritettäviä pisteitä mitataan vähintään kahdella samanaikaisesti havaitsevalla vastaanottimella silmukoina ja kontrollipisteitä pitää ottaa mukaan verkkoon taulukon 3 mukaisesti, mikäli niitä on mittausalueella. Taulukon raja-arvot ovat kolmiulotteisia tarkkuuksia, ellei muuta mainita (erillinen taso ja korkeus ovat lähinnä visualisointia varten). Lisäksi on huomattava, että taulukon raja-arvot ovat ehdottomia hylkäysrajoja (ei esimerkiksi 1 σ - tai 2 σ -luotettavuustason arvoja) eli havainnot, jotka ylittävät raja-arvot, tulee hylätä ja tarvittaessa mitata uudelleen.

Taulukko 3. Peruskiintopisteiden (E3-E4) suunnittelun mittauksen ja laskennan kontrollointi.

Suunnittelussa	E3	E4
Lähtöpisteiden valinta		
Luokka	E1-E2	E1-E3
Lukumäärä	Vähintään kolme mittausalueen ulkopuolista pistettä. Mittausalueella tarkoitetaan määritettävien pisteiden rajaamaa	

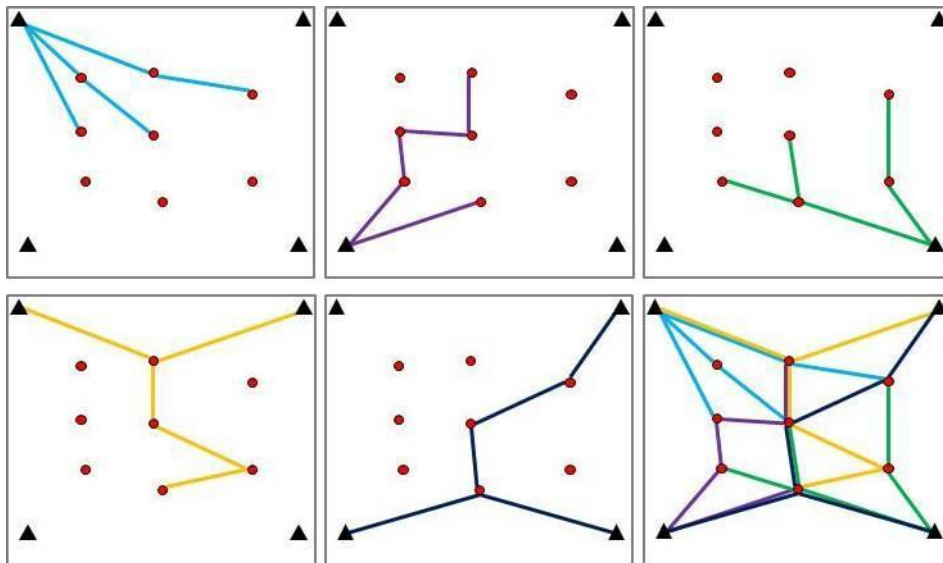
JUHTA - Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta

	aluetta verkossa.	
Mittausalueelta	Vähintään E2-luokan pisteet	Vähintään E3-luokan pisteet
Etäisyys mittausalueen rajalta	Enintään 100 km	
Sijainti	Uloimmaiseta lähtöpisteet sulkevat mitattavan alueen sisäänsä	
Kontrollipisteiden valinta (mikäli mittausalueella on ko. luokan pisteitä)		
Luokka	E3	E4
Lukumäärä (N on määritettävien pisteiden lukumäärä)	3+0,2*N	2+0,2*N
Sijainti	Mittausalueelta ja korkeintaan 5 km etäisyydeltä mittausalueen reunoista	Mittausalueelta ja korkeintaan 3 km etäisyydeltä mittausalueen reunoista
Verkon rakenne		
Rakenne	Kolmioverkko	Monikulmioverkko
Riippumattomien vektoreiden lukumäärä silmukassa	3	3–5
Vektoreita jokaisesta lähtöpisteestä määritettäviin pisteisiin	Vähintään 2	
Yhtä aikaa havaitsevien vastaanottimien lukumäärä määritettävillä kiintopisteillä	Vähintään 2	
Jonomaisuus	Kaikkien pisteiden sisällyttävä johonkin verkon silmukkaan (ei piikkipisteitä)	
Piste mukana vähintään kahdessa sessiossa	Kyllä	
Yhteisiä pisteitä vierekkäisillä silmukoilla	2	Vähintään 2
Suositeltava pisteväli	4–10 km	0,5–5 km
Toistettavien riippumattomien vektoreiden lukumäärä	15 % suunnitellun verkon vektoreista	
Vierekkäisten pisteiden välinen vektori mitattava suoraan	Mitataan aina (kolmioverkko).	Kyllä, jos pisteiden välillä näköyhteys tai jos etäisyys on alle 20 % muuta reittiä (mitattuja vektoreita) pitkin saatavasta etäisyydestä.
Havaintojaksojen suunnittelu		
Havaintojakson vähimmäispituus (taulukko 2)	Pisimmän sessioon kuuluvan vektorin etäisyyden perusteella, kuitenkin vähintään 1 h.	
PDOP	Enintään 5	
Satelliittien lukumäärä (75 % ajasta)	Vähintään 5	
Havaintopaikan laatu (esteisyys)	Mahdollisimman avoin korkeuskulman 15–20° yläpuolella. Vältettävä monitieheijastumista aiheuttavia olosuhteita.	
Maastossa	E3	E4
Suositeltava havaintoväli	1,5,10,15 tai 30 s	
Aikaväli toistettaville vektoreille vähintään	60 min	
Antennin keskistys ja korkeuden mitta	Keskistys ja korkeuden mitta 1 mm:n tarkkuudella. Joka sessioon jokaiselle pisteelle oma keskistys, jossa myös jalusta pystytetään uudelleen. Tasain ja luoti tarkistetaan säännöllisesti.	
Antennin korkeuden mitta ja keskityksen tarkistus	Ennen ja jälkeen havaintojakson	
Poikkeama antennin korkeuden mittauksessa enintään	3 mm	
Korkeuskulmamaski havaittaessa (vastaanottimessa)	5 astetta	
Jälkikäsittelyssä	E3	E4
Verkon laskenta yhtenä tasoituksena	Kyllä	
Havaintojen katkaisukulma laskennassa	10–20 astetta	

JUHTA - Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta

Alkutuntemattomien ratkaisu vektorilaskennassa	Vain fix-ratkaisut hyväksytään	
Radat	Tarkat (satelliittien lähettämät kelpaavat, jos kaikki vektorit alle 10 km)	
Vektorilaskennassa käytettyjen koordinaattien likiarvojen poikkeama lopullisista enintään	10 m (likiarvon tarkkuudeksi riittää navigointiratkaisusta saatava koordinaattiarvo)	
Pisteiden enimmäislukumäärä silmukoiden sulkuvirheanalyysissä	4	6
Silmukan enimmäispituus sulkuvirheanalyysissä	40 km	30 km
Pistesulkuvirhe enintään	60 mm	75 mm
Suurin sallittu standardisoitu residuaali vapaan verkon tasoituksessa	2.8 (ks. liite 2)	
Suurin sallittu ero kahteen kertaan havaittujen vektoreiden osalta	70 mm (3D) 28 mm (taso), 56 mm (korkeus)	75 mm (3D) 30 mm (taso), 60 mm (korkeus)
Suurin sallittu ero kontrollipisteen (saman luokan piste) koordinaattien ja uuden määrittelyn välillä	25 mm (taso), 50 mm (korkeus)	33 mm (taso), 50 mm (korkeus)
Vapaan verkon (yksi piste lähtöpisteenä) ja kiinnitetyn verkon tasoitusten koordinaattiero	Alle 25 mm (maannousumallin käyttö voi auttaa)	
Maannousu huomioitava, jos verkon koko yli 200 km	Kyllä	

Verkon mitattavien vektoreiden ja tarvittavien havaintojaksojen määrää voidaan arvioida, kun tiedetään käytettävissä olevien vastaanottimien lukumäärä N . Kolmioverkossa on sivuja $s = 3 \cdot (n-1) - r$, missä n on pisteiden lukumäärä ja r niiden pisteiden lukumäärä, jotka muodostavat verkon ulkoreunat (maksimissaan n kpl ja minimissään 3). Kun 15 % verkon sivuista on mitattava kahteen kertaan, mitattavia vektoreita on näin $1.15 \cdot s$ kpl. N :llä vastaanottimella voidaan mitata yhdessä havaintojaksossa $N-1$ riippumattonta vektoria. Näin ollen koko verkon mittaamiseen tarvitaan vähintään $1.15 \cdot s / (N-1)$ havaintojaksoa. Kuvassa 6 on laskennallinen esimerkki mittaustalon havaintojaksojen suunnittelusta kuudella vastaanottimella E4-luokassa (monikulmioverkot on sallittu). Jos nelikulmion tai kolmion sulkeva vektori on pituudeltaan yli $1/5$ muiden silmukassa olevien vektoreiden yhteenlasketusta pituudesta, voidaan se taulukon 3 mukaan jättää triviaalivektoriksi. Muussa tapauksessa sessioiden lukumäärää on kasvatettava siten, että tämäkin vektori tulee mitatuksi riippumattomasti.



Kuva 6. Esimerkki E4-luokan verkon havaintojaksojen suunnittelu, kun havaitaan kuudella vastaanottimella. Verkon rakenne on monikulmioverkko: riippumattomia vektoreita silmukoissa on 3-4. Verkossa mitattavia vektoreita on 20. Verkon vektoreista 15 % on mitattava kahteen kertaan, eli yhteensä on mitattavia vähintään

1.15 * 20 vektoria eli 23 vektoria. Kuudella vastaanottimella (N=6) voidaan mitata yhdessä havaintojaksossa 5 (N-1) riippumatonta vektoria. Näin ollen koko verkon mittaamiseen tarvitaan vähintään 23/5 eli 5 havaintojaksoa. Kuvassa on yksi mahdollisen verkkokuviosuunnitelma. Oleellista on, että yhdessä havaintojaksossa ei saa mitata silmukan kaikkia sivuja.

7.3 Käyttökiintopisteiden (E5-E6) mittaaminen ja kontrollointi

Käyttökiintopisteiden mittaamisessa lähtöpisteinä käytetään pääasiassa paikallisia peruskiintopisteitä (E3-E4) tai aktiivisia E2-luokan GNSS-tukiasemia. Käyttökiintopisteet voidaan mitata staattisella GNSS-mittauksella, reaaliaikaisella GNSS-mittauksella (RTK tai Verkko-RTK) sekä takymetrillä jonomittauksena tai verkkona. Käyttöpisteiden tyypillinen pisteväli on 100–500 m, mutta voi olla pidempikin riippuen ylemmän luokan pistetiheydestä (lähinnä kaavoitettujen alueiden ulkopuolella). Mittauksia suunniteltaessa on kuitenkin huomattava, ettei GNSS-mittauksilla saa mitata alle 500 metrin etäisyydellä toisistaan olevia pisteitä, mikäli pisteiden välistä vektoria ei mitata. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi reaaliaikaisella GNSS-mittauksella ei saa mitata ollenkaan alle 500 m:n etäisyydellä toisistaan olevia pisteitä, vaan ne on mitattava joko staattisella GNSS-mittauksella tai takymetrillä niin, että myös niiden välinen vektori tulee havaittua.

7.3.1 Staattinen GNSS-mittaus

Käyttöpisteitä voi mitata verkkona, jonona tai yksi piste kerrallaan. Verkko, jono tai yksittäinen piste pitää sitoa kolmeen ylemmän luokan kiintopisteeseen. Lähtöpisteistö voi koostua aktiivisista ja/tai passiivisista kiintopisteistä. Kun käytetään passiivisia kiintopisteitä, ne on syytä valita mittausalueelta tai sen läheisyydestä. Pelkästään aktiivisia kiintopisteitä käytettäessä, mittausalueella olevia passiivisia kiintopisteitä ei tarvitse käyttää lähtöpisteinä. Mittausalueelta on kuitenkin valittava vähintään yksi kontrollipiste, jos alueella on saman tai ylemmän luokan pisteitä. GNSS-mittauksilla määritettävien pisteiden välisten etäisyyksien on oltava vähintään 500 m, mikäli pisteiden välistä vektoria ei mitata. Jos mitataan vain yhdellä vastaanottimella sitoen aktiivisiin asemiin, ei määritettävälle pisteille saada keskinäistä kontrollia. Laskenta on tehtävä jälkilaskentana ja virheytälötasoituksena. Suositeltavat vähimmäishavaintoajat on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 4. Käyttökiintopisteiden (E5-E6) mittaaminen staattisella GNSS-mittauksella.

Suunnittelussa	E5	E6
Lähtöpisteiden valinta		
Luokka, vähintään	E4	E5
Lukumäärä	Vähintään kolme	
Etäisyys mittausalueen rajalta	Enintään 100 km	
Sijainti	Mittausalueelta tai sen ulkopuolelta	
Kontrollipisteiden valinta (mikäli mittausalueella on ko. luokan pisteitä)		
Luokka	E5	E6
Lukumäärä	Vähintään yksi piste / mittausalue	
Sijainti	Mittausalueelta tai korkeintaan 1 km:n etäisyydeltä mittausalueen reunoista	
Verkon rakenne		
Yhtä aikaa havaitsevien vastaanottimien lukumäärä määritettävillä kiintopisteillä	Vähintään 1	
Suosittelava pisteväli	100–500 m	
Vierekkäisten pisteiden välinen vektori mitattava suoraan	Kyllä, jos etäisyys alle 500 m ja suositeltavaa, jos pisteiden välillä näköyhteys.	
Havaintojaksojen suunnittelu		
Havaintojakson vähimmäispituus (taulukko 2)	Pisimmän sessioon kuuluvan vektorin etäisyyden perusteella, kuitenkin vähintään 30 min.	
PDOP	Enintään 5	

JUHTA - Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta

Satelliittien lukumäärä (75 % ajasta)	Vähintään 5	
Havaintopaikan laatu (esteisyys)	Mahdollisimman avoin korkeuskulman 15–20° yläpuolella. Vältettävä monitieheijastumista aiheuttavia olosuhteita.	
Maastossa	E5	E6
Suositeltava havaintoväli	1,5,10,15 tai 30 s	
Antennin keskistys ja korkeuden mittaus	Keskistys ja korkeuden mittaus 1 mm:n tarkkuudella. Tasain ja luoti tarkistetaan säännöllisesti.	
Antennin korkeuden mittaus ja keskityksen tarkistus	Ennen ja jälkeen havaintojakson	
Poikkeama antennin korkeuden mittauksessa enintään	3 mm	
Korkeuskulmamaski havaittaessa (vastaanottimessa)	5 astetta	
Jälkikäsitteilyssä	E5	E6
Havaintojen katkaisukulma laskennassa	10–20 astetta	
Alkutuntemattomien ratkaisu vektorilaskennassa	Vain fix-ratkaisut hyväksytään	
Radat	Tarkat (satelliittien lähettämät kelpaavat, jos kaikki vektorit alle 10 km)	
Vektorilaskennassa käytettyjen koordinaattien likiarvojen poikkeama lopullisista enintään	10 m (likiarvon tarkkuudeksi riittää navigointiratkaisusta saatava koordinaattiarvo)	
Ero kontrollipisteiden koordinaatteihin komponentteittain	N,E: 40 mm h: 70 mm	
Vapaan verkon (yksi piste lähtöpisteenä) ja kiinnitetyn verkon tasoitusten koordinaattiero	Alle 25 mm (maannousumallin käyttö voi auttaa)	

7.3.2 Reaaliaikainen GNSS-mittaus

Reaaliaikaista vaihehavaintoihin (vähintään L1+L2) perustuvaa GNSS-mittausta (RTK-mittaus yhden tukiaseman tai tukiasemaverkon avulla) voidaan käyttää paikallisten käyttöpisteiden (luokat E5-E6) mittaamiseen, jos niiden välinen keskinäinen etäisyys on suurempi kuin 500 m (tulee kyseeseen lähinnä kaavoitettujen alueiden ulkopuolella). Tällöin tukiaseman on oltava vähintään yhtä luokkaa ylemmällä kiintopisteellä. Mittaustapa määrittelee, kumpaan luokkaan mittaus voidaan hyväksyä. Kiintopisteitä mitattaessa antennikorkeuden tulisi olla korkeintaan 2 metriä ja antennin tasattuna kolmijalalla tai sauvassa tuettuna statiivilla.

EUREF-FIN-kiintopistemittauksissa peräkkäisistä mittauksista (joilla on siis omat alustukset) muodostetaan mittaussarjoja, joista lasketaan sarjakeskiarvot. Tarvittaessa mitataan useampi sarja, joiden välissä satelliittigeometria on ehtinyt muuttua. Tämä on tarpeen cm-tarkkuutta vaativissa mittauksissa, koska yhteen sarjaan vaadittavat mittaukset tehdään yleensä lyhyen ajan kuluessa ja mittaukset ovat omista alustuksistaan huolimatta korreloituneita satelliittigeometrian suhteen. Muuttuneen satelliittigeometrian avulla pienennetään siis satelliittigeometrian vaikutusta lopullisiin koordinaatteihin. Luotettavuuden parantamiseksi tehdään toistomittausten lisäksi myös kontrollimittauksia pisteillä, joille on määritetty luotettavat koordinaatit muulla kuin reaaliaikaisella GNSS-mittausmenetelmällä ja verrataan RTK-mittauksen tuloksia pisteen tunnettuihin koordinaatteihin.

Käyttöpisteiden mittaus aloitetaan tarvittaessa mittausalueella tukiaseman pystyttämällä. Oman tukiaseman tapauksessa tarkistetaan tukiaseman koordinaatit ja antennikorkeudet ennen mittausten aloittamista. Varsinainen mittaaminen tapahtuu seuraavissa vaiheissa:

- Mitataan yksi testipiste ennen mittausten aloittamista laitteen toimivuuden varmistamiseksi esimerkiksi asetusten osalta ja tarkistetaan vaatimusten täyttyminen. Vaatimukset ovat samat kuin kontrollipisteillä. Testipisteenä voidaan käyttää samaa tai ylempää luokkaa olevaa kiintopistettä, joka voi olla esimerkiksi toimiston pihalla tai mittausalueella.

JUHTA - Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta

- Mitataan käyttökiintopisteet vaatimusten mukaisesti. Käyttökiintopisteiden mittausten ohessa mitataan kontrollipisteitä tarpeen mukaan, jos saman luokan pisteitä on mittausalueella.
- Mitataan lopuksi testipiste ja tarkistetaan vaatimusten täyttyminen.

Vaatimukset mittausten suorittamiselle ja kontrolloimiselle on esitetty *taulukossa 5*. Jos yksittäisten alustusten tai sarjojen kontrolliarvot ylittyvät, pitää tehdä lisämittauksia tai -sarjoja.

Taulukko 5. Käyttökiintopisteiden (E5-E6) mittaaminen reaaliaikaisella GNSS-mittauksella.

Suunnittelussa	E5	E6
Lähtöpisteiden valinta		
Maksimietäisyys tukiasemaan (koskee perinteistä RTK-mittausta sekä verkko-RTK:ta, jos mitataan verkon ulkopuolella)	10 km	15 km
Tukiasemat, vähintään luokkaa	E4	E5
Kontrollipisteiden valinta (mikäli mittausalueella on ko. luokan pisteitä)		
Kontrollipisteiden luokka	E5	E6
Kontrollipisteiden lukumäärä	Vähintään yksi piste / mittausalue	
Verkon rakenne		
Suosittelava pisteväli	100–500 m (huomattava, että alle 500 m:n etäisyydellä toisistaan olevia pisteitä ei saa mitata reaaliaikaisella GNSS-mittauksella)	
Vierekkäisten pisteiden välinen vektori mitattava suoraan	Kyllä, jos etäisyys alle 500 m ja suositeltavaa, jos pisteiden välillä näköyhteys. Tällöin mittaus muulla kuin reaaliaikaisella GNSS-menetelmällä.	
Maastossa	E5	E6
Tukiaseman pystytys	Jalusta ja pakkokeskistysalusta tai pilaripiste.	
Tukiaseman keskistystarkkuus	1 mm	
Liikkuvan yksikön pystytys	Jalusta ja pakkokeskistysalusta tai korkeintaan 2 m:n sauva statiivilla tuettuna.	
Liikkuvan yksikön keskistystarkkuus	5 mm	
Korkeuskulmamaski: - tukiasemalla - liikkuvassa yksikössä	5–10 astetta 10–15 astetta	
PDOP enintään	5	
Satelliittien lukumäärä vähintään	6	
Havaintoväli	1 s	1 s
Havainnot (epookkeja) / mittaus	5–15	5
Mittauksia / sarja	5	
Sarjojen lukumäärä	2	1
Omat alustukset jokaiseen mittaukseen	Kyllä	
Alustus aika korkeintaan	2 min	
Aika sarjojen välissä vähintään	45 min	-
Sarjan mittausten (erillisten alustusten) max-min ero enintään/komponentti	N,E: 20 mm h: 40 mm	
Sarjojen (sarjakeskiarvojen) max-min ero komponenteittain	N,E: 40 mm h: 70 mm	-
Ero kontrollipisteiden koordinaatteihin komponenteittain	N,E: 40 mm h: 70 mm	
Alkuperäisten koordinaattien (XYZ tai φ, λ, h) tallennus	Kyllä	
Sauvan antenninkorkeuden tarkistus ennen ja jälkeen mittauksen	Kyllä	
Testipisteen mittaus ennen ja jälkeen uusien pisteiden mittauksen	Kyllä	
Jälkikäsittelyssä		
Lopullisten koordinaattien laskenta	Sarjojen keskiarvo	Mittausten keskiarvo

Esimerkki: kiintopisteen lopulliset koordinaatit voidaan määrittää E5-luokassa taulukon 5 mukaisesti keskiarvona kahdesta sarjasta (sarjakeskiarvosta), joissa on viisi mittausta/sarja ja 10 havaintoa (epookkia)/mittaus. Laite alustetaan ennen jokaista mittausta ja sarjojen välillä pidetään tauko.

7.3.3 Kulma- ja etäisyyshavainnot

Jonomittauksista on käytetty perinteisesti tasokoordinaattien määrittämiseen, jolloin havainto- ja laskentakoordinaatisto on karttaprojektio. Menetelmällä voidaan määrittää pisteille myös korkeuskoordinaatti. EUREF-FIN-kiintopisteiden koordinaattien määrittämisessä on laskennassa käytettävä geoidimallia tai siitä tiheennettyä paikallista muunnospintaa (ks. tarkemmin *Geodeettisen laitoksen tiedote 29*). EUREF-FIN on 3D-koordinaatisto, joten myös takymetrimittaukset tulisi tasoittaa 3D-tasoituksena. Tällöin aidot 3D-koordinaatit tulee tallentaa rekisteriin mahdollisten tasokoordinaattien lisäksi.

Karttaprojektioilla tehty tasoitukset voidaan hyväksyä E5-E6-luokkaan, mikäli vaakakulma- ja etäisyyshavainnot on redukoitu *JHS154:n* mukaiselle projektioitasolle ja pisteille on määritetty ellipsoidinen korkeus. Jos korkeus määritetään trigonometrisesti, eikä lähtöpisteellä ole vaaittua korkeutta, muunnetaan lähtöpisteen ellipsoidinen korkeus ensin ortometriseksi tai normaalikorkeudeksi geoidimallilla tai muunnospinnalla *JHS163:n* tai *Geodeettisen laitoksen tiedotteen 29* mukaisesti ja korkeuserot tasoitetaan vaaitusverkon tapaan. Jos lähtöpiste tai määritettävä piste on vaaittu, käytetään suoraan vaaittua korkeutta lähtöarvona ellipsoidisen korkeuden määrittämiseen. Määritettyjen pisteiden vaaitut tai trigonometriset korkeudet muunnetaan (tasoituksen jälkeen) ellipsoidisiksi niihin sopivalla geoidimallilla tai muunnospinnalla (*JHS163:n* tai *Geodeettisen laitoksen tiedotteen 29* mukaisesti). Jos lähtöpisteiden ellipsoidinen korkeus muunnettiin ennen tasoitusta ortometriseksi tai normaalikorkeudeksi geoidimallilla, käytetään vastakkaiseen muunnokseen samaa geoidimallia. Määritettyjen E5-E6-pisteiden ellipsoidisten korkeuksien tarkkuuden tulee täyttää luokan vaatimukset (*taulukko 6*). Pelkkiä tasokoordinaatteja ilman korkeutta ei voida hyväksyä EUREF-FIN-luokitukseen. Rekisteriin tallennetaan myös käytetty geoidimalli ja ortometrinen tai normaalikorkeus.

Käyttökiintopisteitä mitattaessa jonojen pituudet saavat olla E5-luokassa enintään kaksi kilometriä. Jonossa saa olla korkeintaan kahdeksan uutta pistettä, ja sivujen pituudet ovat tyypillisesti 100–300 m. E6-luokassa jonon pituus saa olla enintään viisi kilometriä, jonossa saa olla korkeintaan 20 uutta pistettä, ja sivujen pituudet ovat tyypillisesti 100–500 m. Jonoista on suositeltavaa muodostaa verkkoja solmupisteiden avulla. Liittyminen ylemmän luokan pisteisiin suositellaan tehtäväksi täydellisenä liitoksena. Etäisyydet ja pystykulmat havaitaan jonosivun molemmista päistä. Jonomittauksessa käytettävien kojeiden keskivirheiden tulee täyttää *taulukossa 6* esitetyt vaatimukset. Taulukossa on esitetty myös tehtävien havaintosarjojen lukumäärät riippuen kiintopisteen tarkkuusvaatimuksista. Tarvittaessa havaitaan lisäsarjoja.

Taulukko 6. Käyttökiintopisteiden (E5-E6) mittaaminen takymetrimittauksilla.

Kojeiden tarkkuusvaatimukset	E5	E6
Yhden suuntahavainnon keskivirhe	0.6 mgon	1.0 mgon
Yhden korkeuskulmahavainnon keskivirhe	1.5 mgon	
Yhden etäisyyshavainnon keskivirhe	3 mm + 2 ppm	5 mm + 5 ppm
Suunnittelussa	E5	E6
Lähtöpisteiden valinta		
Luokka, vähintään	E4	E5
Lukumäärä	Vähintään kaksi	
Kontrollipisteiden valinta (mikäli mittausalueella on ko. luokan pisteitä)		
Luokka, vähintään	E5	E6
Lukumäärä	Vähintään yksi piste / mittausalue	
Sijainti	Näköetäisyydellä jonon pisteisiin	
Verkon rakenne		
Rakenne	Yksittäinen jono tai jonoverkko	
Jonon pituus, enintään	2 km	5 km

JUHTA - Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta

Määritettäviä pisteitä jonossa lähtöpisteiden välillä, korkeintaan	8	20
Suositeltava pisteväli	100–500 m	
Vierekkäisten pisteiden välinen vektori mitattava suoraan	Kyllä, jos etäisyys alle 500 m ja suositeltavaa, jos pisteiden välillä näköyhteys.	
Havainnot	E5	E6
Keskistystarkkuus	1 mm	
Koje-, tähys- ja prismakorkeuden mittaustarkkuus	2 mm	
Kulmahavainnot, sarjojen lukumäärä	4	2
Sarjojen Max-min enintään	2.0 mgon	3.0 mgon
Etäisyshavainnot	4 + 4	2 + 2
Etäisyshavaintojen max-min enintään	15 mm	20 mm
Laskenta	E5	E6
Sivun eri päistä havaittujen redukoitujen etäisyyksien ero, enintään	6 mm	10 mm
Pistevälin edestakaisten korkeuserojen summa, enintään, s on sivun pituus [km]	$30 \cdot \sqrt{(2 \cdot s)} \text{ mm}$	$35 \cdot \sqrt{(2 \cdot s)} \text{ mm}$
Pistesulkuvirhe w_p , enintään (tasoittamattomat havainnot), L on jonon pituus [km]	$45 \cdot L \text{ mm}$	$90 \cdot L \text{ mm}$
Korkeussulkuvirhe, enintään (redukoiduilla havainnoilla), L on jonon pituus [km]	$30 \cdot \sqrt{L} \text{ mm}$	$35 \cdot \sqrt{L} \text{ mm}$
Ero kontrollipisteiden koordinaatteihin komponenteittain	N,E: 40 mm h: 70 mm	

Monikulmiojonojen muodostamat verkot lasketaan yleensä virheyhtälötasoituksena. Yksittäisiä jonoja voidaan tasoittaa myös jonotasoituksena. Mitatulle jonolle lasketaan tasoittamattomilla havainnoilla aina pistesulkuvirhe. Lopullisessa jonoverkon virheyhtälötasoituksessa on huolehdittava siitä, että karkeat virheet on eliminoitu. Tasoittamattomilla havainnoilla lasketaan jonolle koordinaattisulkuvirheet w_x ja w_y , joista saadaan pistesulkuvirhe:

$$w_p = \sqrt{w_x^2 + w_y^2} \text{ [m]}$$

Jos taulukon 6 arvot ylittyvät sivun tai jonon kontrolliarvojen osalta, pitää tehdä uusintamittauksia.

7.4 Kadonneiden pisteiden korvaaminen ja verkon saneeraus

Rakentamisen seurauksena kiintopisteitä katoaa. Kadonneet pisteet on korvattava uusilla tarvittavan pistetiheyden säilyttämiseksi. Uusien korvaavien pisteiden mittaamisessa noudatetaan pääsääntöisesti samoja ohjeita kuin uuden verkon mittaamisessa. Edellä olevista ohjeista voidaan poiketa (verkkomaisuuden osalta) yksittäisen pisteen ja pisteparin korvaamisessa luokissa E3 ja E4. Yksittäinen piste sidotaan vähintään kolmeen ylempiluokkaiseen lähtöpisteeseen ja yhteensopivuus lähipisteiden kanssa varmistetaan mittaamalla vektorit uudesta pisteestä suoraan kontrollipisteisiin. Kontrollipisteiden valinnassa on kiinnitettävä erityistä huomiota lähipisteiden yhteensopivuuteen valitsemalla lähimmät samanluokkaiset pisteet. Kun naapuripisteitä on kadonnut enemmän kuin yksi, on korvaavien pisteiden välinen vektori mitattava suoraan. Yli kolmen lähipisteen katoaminen vastaa uuden verkon mittausta, jolloin noudatetaan taulukon 3 ohjeita. E5-E6-luokissa noudatetaan taulukoiden 4–6 ohjeita mittausmenetelmästä riippuen.

Koko verkon tai sen osan saneeraustarve syntyy, kun pisteistö ei enää ole keskenään yhteensopiva. Tämä näkyy mittauksissa toistuvina kontrollirajojen ylityksinä. Tällöin noudatetaan uuden verkon mittaamiseen tarkoitettuja ohjeita taulukoiden 3–6 mukaisesti. Yksittäisen huonosti muiden kanssa yhteensopivan pisteen uudelleen mittaamisessa noudatetaan samoja periaatteita kuin kadonneen pisteen korvaamisessa. Tällöin piste saa uuden pistenumeron ja uudet koordinaatit.

7.5 Dokumentointi

Havaintojen dokumentoinnista tulee ilmetä miten havainnot on suoritettu, ja dokumentoinnin on oltava sellainen, että laskenta on mahdollista toistaa ja varmentaa dokumenttien avulla. Riippuen kyseessä olevasta kiintopisteluokasta ja havaintomenetelmästä pitää dokumentoida vähintään vastaavan taulukon (3, 4, 5 tai 6) vaatimusten täyttyminen. Dokumentteihin kuuluvat mm. pistekortit, havaintolomakkeet, laskenta- tai tasointiraportit sekä kirjalliset selostukset. Pistekortissa voidaan esittää muun muassa seuraavat tiedot: pistetunnus ja -nimi, GNSS-sopivuus, sijaintikunta, keskusmerkin tyyppi, pisteen alusta, sidemitat (etäisyys kiinnityskohteesta, korkeusero maanpinnasta ja hakusuunta), suunta- ja varamerkkien tiedot, koordinaattijärjestelmä, tarkkuusluokka ja mittaaja sekä mahdollisesti muuta oleellista tietoa pisteestä.

8 Opastavat tiedot

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

JHS-järjestelmän verkkosivut:
<http://www.jhs-suositukset.fi>

Opastavat viittaukset:

E2-tukiasemaohje ja lista E2-aseamista

<http://maanmittauslaitos.fi/tutkimus/asiantuntijapalvelut/kaikki-asiantuntijapalvelumme/e2-laskentapalvelu>

Geodeettisen laitoksen julkaisu nro 129

Ollikainen, M., H. Koivula and Markku Poutanen (2000): The densification of the EUREF network in Finland. 61 s. Finnish Geodetic Institute, P.O. Box 15, FI-02431 Masala.

Geodeettisen laitoksen koordinaattimuunnospalvelu

<http://coordtrans.fgi.fi>

Geodeettisen laitoksen tiedote 24

Ollikainen, M., H. Koivula ja M. Poutanen (2001): EUREF-FIN koordinaatisto ja EUREF-pistetihennykset Suomessa. 32 s.

Geodeettisen laitoksen tiedote 27

Häkli, P. ja H. Koivula (2004): Virtuaali-RTK (VRS™) tutkimus. 60 s.

Geodeettisen laitoksen tiedote 29

Bilker-Koivula, M. ja M. Ollikainen (2009): Suomen geoidimallit ja niiden käyttäminen korkeuden muunnoksissa. 48 s. pdf-versio: <http://www.fgi.fi>

Geodeettisen laitoksen tiedote 30

Häkli, P., J. Puupponen, H. Koivula ja M. Poutanen (2009): Suomen geodeettiset koordinaatistot ja niiden väliset muunnokset. 121 s. pdf-versio: <http://www.fgi.fi>

Maanmittauslaitoksen Ammatilaisen Karttapaikka

<http://www.maanmittauslaitos.fi/aineistot-palvelut/verkkopalvelut/ammattilaisen-karttapaikka>

Staattisen GPS-mittauksen geodeettisesta 3D-tarkkuudesta

Häkli, P., H. Koivula ja J. Puupponen (2008): Staattisen GPS-mittauksen geodeettisesta 3D-tarkkuudesta. Maanmittaus 83:2 (2008). pdf-versio: <http://mts.fgi.fi/maanmittaus/index.html>

Reaaliaikaisen GPS-mittauksen laatu

Häkli, P. ja H. Koivula (2005): Reaaliaikaisen GPS-mittauksen laatu. Maanmittaus 80:1-2 (2005). PDF-versio:
<http://mts.fgi.fi/maanmittaus/index.html>

Tasoituskasku

Kallio, U. (1998): Tasoituskasku. Otatieto 587. 166 s.

9 Liitteet

Liite 1. Korkeuden määrittäminen, ”EUREF-FIN-korkeudet”

Liite 2. Pienimmän neliösumman tasoituksen tuloksen jäännösvirheiden ja painoyksikön varianssin tulkinta