



Turun seudun uudesta koordinaattijärjestelmästä

Jukka Hakala

Destia Oy Mittauspalvelut on mitannut Turun seudun kunnille laajan GPS-verkon uuden yhtenäisen koordinaattijärjestelmän perustaksi. Hankkeeseen sisältyivät myös konversiot uusiin projektiokaistoihin sekä järjestelmien väliset koordinaattimuunnokset.

HANKKEESSA OLI alun perin mukana Turun kaupungin johdolla 36 kuntaa, ja vuodenvaihteessa tapahtuneiden kuntaliitosten jälkeen jäljellä 16 kuntaa. Kuntien siirtymiseksi uuteen yhteiseen ETRS-GK23-tasokoordinaatistoon hanke toteutettiin vaiheittain seuraavasti:

- mitattiin laaja GPS-verkko tihentämällä EUREF-FIN-pisteistöä
- konvertoitiin tasoitetut GPS-pisteet uuden koordinaattijärjestelmän projektiokaistoihin
- määritettiin muunnosparametrit paikallisen vanhan ja uuden koordinaattijärjestelmän välille.

Korkeusrunkoverkko jätettiin hankkeen ulkopuolelle myöhemmin toteutettavaksi.

Kenttämittaukset

Mittaustyöt ajoittuivat syyskesään 2008 ja ne saatiin loppuun lokakuun puoleen väliin mennessä. Aikataulut olivat erittäin tiiviit ja mittaukset hoidettiin ns.

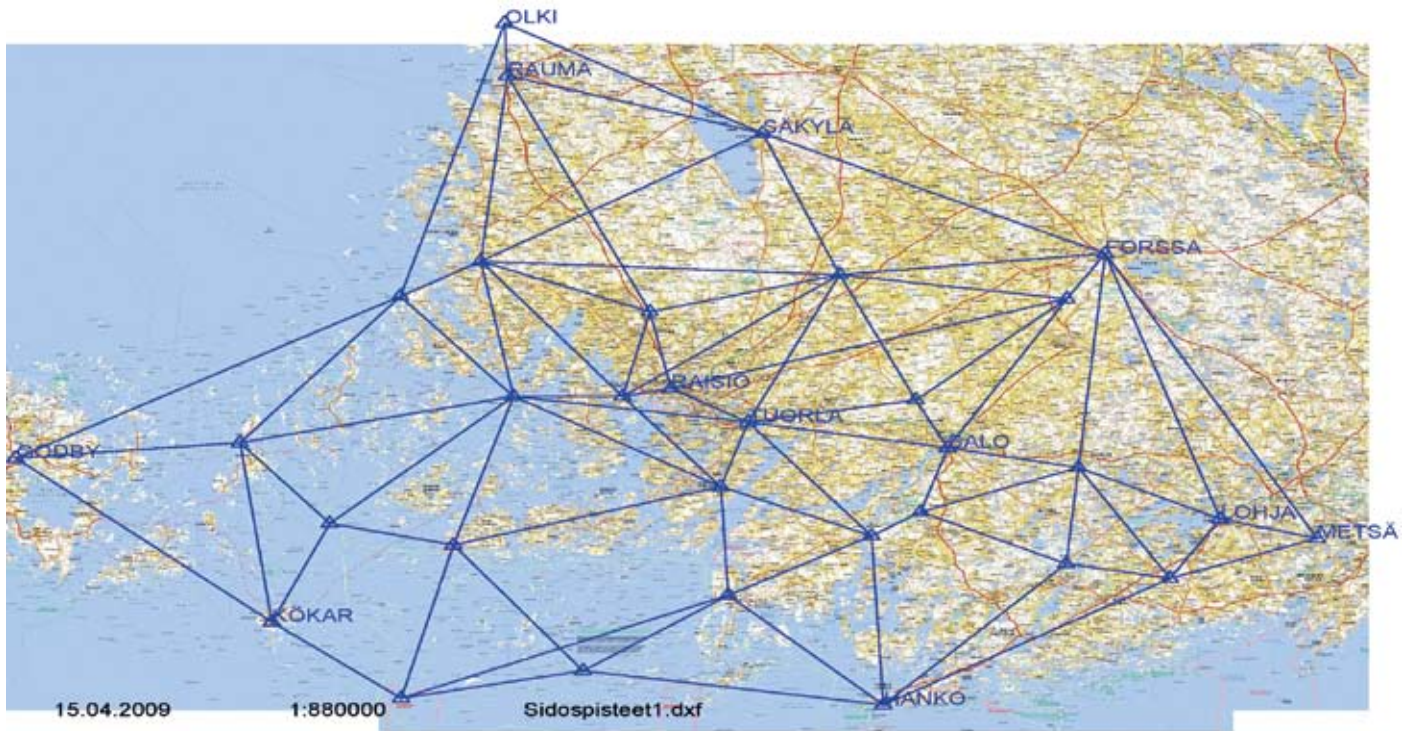
”työtä vuorotta” -periaatteella. Haastavat maasto-olosuhteet asettivat lisäksi kovat vaatimukset hankkeen logistiikalle.

Laajalla saaristo-alueella laitteiston mobilisointiin käytettiin venekaluston lisäksi myös helikopteria, jota ilman koko hankkeen toteuttaminen olisi ollut vaikeaa mielekkäässä aikataulussa.

Mittaustehokkuuden takaamiseksi GPS-vastaanottimia oli käytössä keskimäärin 15 kpl koko hankkeen ajan ja havaintoajat vaihtelivat 3–30 tunnin välillä vektorin pituudesta riippuen. Kenttätyöt sujuivat pääasiassa suunnitelman mukaisesti, tosin korvaavien pisteiden hakeminen kadonneiden tai muuten käytökelvottomien pisteiden tilalle aiheutti runsaasti lisätyötä.

Laskennat

Vektorilaskenta kentällä. Havainnot kerättiin päivittäin ja päivän päätteeksi tehtiin vektorilaskenta ennusterataparametreja käyttäen. Vain vektorit, joiden



Turunseudun GPS-verkon yleiskuva.

alkutuntemattomat saatiin ratkaistua kokonaislukuina, hyväksyttiin laskennassa. Yksittäisten vektoreiden ratkaisun laatua arvioitiin niiden kohinatason (RMS) ja luotettavuusluvun avulla (Ratio).

Vapaa verkko. Päiväkohtaisten vektoreiden muodostama osaverkko tasoitettiin vapaana verkkona ilman tunnettuja lähtöpisteitä. Menetelmällä voidaan selvittää kätevästi vektoreiden keskinäinen yhteensopivuus ja osaverkon sisäinen tarkkuus.

Kenttämittausvaiheen jälkeen suoritettiin hankkeen lopulliset laskennat: vektoreiden uusintalaskenta, uudet vapaan verkon tasoitukset sekä viimeiseksi kytketyn verkon tasointu.

Uusintalaskenta. Verkon vektoreiden suuresta keskipituudesta (n. 15 km) johtuen ne laskettiin uudelleen tarkoilla rataparametreilla, joiden tarkkuus on hämmästyttävän suuri eli vain muutama senttimetrin kertaluokkaa. Niitä ei voitu käyttää kenttämittauksen kuluessa, sillä ne ovat saatavissa käyttöön vasta parin viikon kuluttua mittauspäivästä.

Tulokseksi saatiin runsaasti enemmän ratkennaita vektoreita kuin kenttälaskennassa, ja lisäksi tarkkuus- ja luotettavuusluvut olivat merkittävästi aiempaa paremmat.

Vektorilaskennan jälkeen tehtiin osaverkkojen tasoitukset ja lopuksi kokonaisverkon uusintatasointu vapaana verkkona.

Kytkeyty verkko. Vapaa vektoriverkko tasoitettiin kytkettynä eli se kiinnitettiin laskennassa EUREF-lähtöpisteisiin.

Laskenta ei tuonut muassaan mitään odottamattomia yllätyksiä ja tulokset osoittavat uusien pisteiden muodostavan tarkan ja tasalaatuisen verkon koko alueella:

- vektoreita yht. 1 500 kpl
- EUREF-pisteitä, yht. 30 kpl
- uusia pisteitä yht. 143 kpl
- xy-tarkkuus $\sim \pm 5$ mm
- H-tarkkuus $\sim \pm 7$ mm
- suhteellinen tarkkuus < 1.0 ppm.

Karkeiden virheiden kontrolli. Verkko-tasoituksessa löytyy yleensä useita karkean virheen sisältäviä vektoreita. Karkea virhe johtuu useimmiten antennikorkeuden virheestä tai vektoriratkaisun huonosta laadusta.

Näennäisestä hyvyydestään huolimatta "salahuonot" vektorit eivät ole ratkenneet laskennassa. Niiden tarkkuusluvut ovat tyypillisesti ylärajalla ja luotettavuusluvut alarajalla, ja tällaisten vektoreiden voidaankin jo etukäteen ennustaa aiheuttavan "vaikeuksia" verkko-tasoituksessa.

Karkeiden virheiden kontrolli on olennainen osa verkkotasoituksen laadunvalvontaa. Huonot vektorit paikallistetaan verkosta tehokkaan tilastollisen testauksen avulla. Vasta kaikkien huonojen vektoreiden löydyttyä voidaan suorittaa lopullinen laskenta.

Konversiot ja muunnokset

Koordinaattikonversiot. Verkkotasoitusten tulokset, uudet geodeettiset EUREF-

pisteet, konvertoitiin myöhempää käyttöä varten tasokoordinaateiksi seuraaviin uusiin karttaprojektiokaistoihin:

- GK21–GK24 (G-K, GRS80)
- TM35FIN (UTM, GRS80).

Muunnoksen periaatteet. Koordinaattimuunnokset laskettiin paikallisen vanhan ja uuden tasokoordinaatiston välille noudattaen JHS154-ohjeistuksen suosittelemaa yhteisen keskimeridiaanin periaatetta.

- muunnospisteillä oltava yhteinen keskimeridiaani ja sama karttaprojektio
- vain yksi tasomuunnos lasketaan yhteisessä kaistassa
- uusien kaistojen välillä siirrytään tasomuunnoksen jälkeen kaistanvaihdolla.

Ohjeistoa noudattamalla projektio-kaivojen aiheuttamat vääristymät pidetään erillään muunnoslaskennasta, eivätkä ne vaikuta huonontavasti tuloksiin.

Muunnosmalli. Luonteva valinta muunnosmalliksi oli konforminen Helmertmuunnos:

- origon siirto X_0
- origon siirto Y_0
- koordinaatiston kierto
- yhteinen mittakaava m.

Affiinista muunnosta ei käytetty, koska ei ollut mitään syytä olettaa paikallisten koordinaattistojen akselleilla olevan eri mittakaavan.

Laskennassa pitäydettiin vanhassa kuntajaossa kuntakohtaisia muunnospa-rametreja laskettaessa.

Alueen vanhat koordinaattijärjestelmät

Suurimmalla osalla alueen kunnista (30 kpl) oli käytössä valtakunnallinen KKJ1/ KKJ2-koordinaattijärjestelmä; erilliskoordinaatiston oli valinnut aikoinaan kuusi kuntaa.

Erilliseen järjestelemään päätymiseen on ollut kaksi pääsyä: joko kunnan alue sijaitsee kaistan reuna-alueella projektiorjauksen kasvaessa epämiellyttävän suuriksi tai sitten se sijaitsee kahden kaistan rajalla. Varsinkin jälkimmäisessä tapauksessa valtakunnallisen koordinaattijärjestelmän käyttöönotto olisi takavuosina johtanut laskentateknisesti melko mahdollottamaan tilanteeseen.

Turun järjestelmä. Erilliskoordinaatistossa olevista kunnista Turku, Kaarina ja Naantali ovat samassa ns. Turun järjestelmässä. Naantalissa on käytössä ”lähes” Turun järjestelmä ja Salossa oma erilliskoordinaatistonsa.

Turun järjestelmään liittyy KKJ-järjestelmästä poikkeavia erityispiirteitä, jotka aiheuttivat muunnosvaiheessa kevyttä mietiskelyä. Turun järjestelmä on vinoasentoinen viivatarkka tasokoordinaatisto, joka sivuaa KKJ1-kaistaa ainoastaan yhdessä ns. keskusasteissa.

Käytetty karttaprojektio on oikeakeskipituinen suuntaisprojektio, jota voidaan kuvata pallokalotin muotoisella sateenvarjolla jonka ruodot on oikaistu samaan tasoon kangasta samalla venyttään.

Tasokoordinaatiston mittakaava on aikoinaan määritetty tarkasti arvoon 1.0. KKJ1-kaistan projektiorjauksen suuruus on samalla alueella n. 65 ppm. Järjestelmän pohjoissuunnan referenssiksi valittiin eri vaiheiden jälkeen KKJ1-kaistan keskimeridiaani.

Kuntakohtaiset muunnokset

Muunnospisteinä käytettiin KKJ -pisteitä, joille laskettiin hankkeessa geodeettiset EUREF-koordinaatit. Pisteet oli pyritty valitsemaan hyvän mittausperiaatteen mukaisesti niin, että laskennan kohdealue jää kokonaan muunnospisteiden kautta kulkevan monikulmion sisälle. Tämä on peruslähtökohta luotettavan kuntakohtaisen muunnoksen määrittämiseksi.

Suora muunnos on paras. Realistisimman kuvan paikallisen koordinaattijärjestelmän tilanteesta antaa suora muunnos uuden järjestelmän sopivimpaan kaistaan. Siinä järjestelmien matemaattinen yhteys määritetään yhdellä ”lähtö-tulo”-muunnoksella ilman tulosta huonontavia ja hämärtäviä muunnosvälivaiheita.

KKJ ↔ GK -muunnokset. Muunnospa-

muunnoksella vanhan järjestelmän ja sopivimman GK-projektiokaistan välille ns. saman keskimeridiaanin periaatteella. Muunnokset tehtiin molempiin suuntiin ja kunnan sijainnista riippuen laskettiin KKJ1 ↔ GK21 - tai KKJ2 ↔ GK24 -muunnokset.

KKJ1/ KKJ2-kaistanrajalla olevien kuntien koordinaatisto muunnettiin ensin kokonaan molempiin kaistoihin, jonka jälkeen laskettiin muunnospa-

metrit erikseen kumpaakin KKJ-kaistaan. KKJ- ja GK-koordinaatistojen yhteensopivuus oli paikallisissa muunnoksissa erittäin hyvä. Koordinaatiston kierto vaihteli projektialueen sisällä jonkin verran.

Alueen kaikkien muunnosten yhteenveto on seuraavanlainen:

- keskivirhe: n. ± 0,025 m
- max. jäännösvirhe: < ± 0,100 m
- mittakaavaero: 5,5–10,0 ppm
- kierto: 1^{cc} – 4^{cc}.

Kaistakohtainen muunnos. Kaistakohtaisessa muunnoksessa laskettiin yksi yhteinen Helmert-muunnos kaikille KKJ-järjestelmässä oleville kunnille.

Muunnospisteinä käytettiin kaikkia KKJ-lähtöpisteitä ja projektio-kaistaan GK23-tasokoordinaateiksi konvertoituja EUREF-pisteitä; yhteisiä muunnospisteitä oli 157 kpl.

Kaikki KKJ-pisteet muunnettiin ensin ”ylimääräiseen” KKJ_23-kaistaan, jolla on saman karttaprojektion lisäksi yhteinen keskimeridiaani GK23-kaistan kanssa.

Koordinaatit sopivat toisiinsa hyvin myös kaistojen välisessä muunnoksessa:

- keskivirhe: ± 0,034 m
- max. jäännösvirhe: 0,126 m
- mittakaavaero: 8 ppm
- kierto: 3^{cc}.

Muunnoksen keskivirhe ja jäännösvirheet ovat suuremmat kuin kuntakohtaisissa muunnoksissa. Syynä on se, että koko alueen kattavalla muunnoksella ei voida kunnolla mallintaa osa-alueita kiertokulmien vaihtelua.

Muunnosketju. Kunnissa voidaan siirtyä GK2-kaistaan ja takaisin kahta eri vaihtoa käyttäen:

A. Muunnos & kaistanvaihto

1. Tasomuunnos :

KKJ1/ KKJ2 ↔ GK21/ GK24

2. Kaistanvaihto :

GK21 / GK24 ↔ GK23

B. Kaistanvaihto & muunnos

1. Kaistanvaihto :

KKJ1 & KKJ2 ↔ KKJ_23

2. Tasomuunnos:

KKJ_23 ↔ GK23.

Kunnat erilliskoordinaatistossa
Turun, Kaarinan ja Naantalin alueille osui

riittävästi yhteisiä muunnospisteitä ns. Turun järjestelmän ja GK-projektiokaistan välisen muunnoksen tekemiseksi.

Sopivin valinta muunnokseen oli GK22-projektiokaista, sillä sen keskimeridiaani kulkee vain n. 15 km Turusta länteen. Kaistan projektiorjaukset ovat hyvin pieniä keskimeridiaanin lähialueilla, mikä sopii hyvin yhteen Turun järjestelmän määrittelyn kanssa.

Muunnosten tulokset olivat varsin hyvät; myös mittakaavaero oli odotusten mukaan hyvin pieni:

- keskivirhe: n. ± 0,040 m
- jäännösvirheet: < ± 0,100 m
- mittakaavaero: n. 3 ppm
- kierto: n. 9 663^{cc}.

Suuri kiertokulma aiheutti ensin hämmästyä, mutta sille löytyi asiallinen selitys. Turun järjestelmän origo sijaitsee lähellä GK22-kaistan keskimeridiaania, mutta sen orientointi on KKJ1-kaistan mukainen. Kiertokulmaksi saadaan tällöin kaistojen pohjoissuuntien välinen kulma Turun korkeudella, tarkemmin sanottuna meridiaanikonvergenssi.

Muunnosketju. Alueella voidaan siirtyä GK23-kaistaan ja takaisin seuraavasti:

1. Tasomuunnos:

- Turun järjestelmä ↔ GK22

2. Kaistanvaihto:

GK22 ↔ GK_23.

Täydennysmittaus tarpeen

Alkuperäisessä mittaus suunnitelmassa sekä Salon että Paraisten alueelle osui liian vähän yhteisiä muunnospisteitä suoran muunnoksen laskemiseksi GK-järjestelmään.

Arkistotutkimuksissa todettiin, että kumpaankin kuntaan oli aiemmissa vaiheissa määritetty muunnoskaavat paikallisen koordinaatiston ja KKJ-järjestelmän välille.

Muunnoksen olisi voinut siten periaatteessa tehdä ketjuttamalla vanhan ”Oma → KKJ” -muunnoksen ja uuden ”KKJ → GK” -muunnoksen peräkkäin.

Aikaisempien muunnosten virheraportteihin tutustumisen jälkeen ketjutamisajatuksesta luovuttiin. Molemmille alueille esitettiin tehtäväksi joukko lisämittauksia, joita tarvitaan tarkan ja luotettavan ”Oma ↔ GK” -muunnoksen ratkaisemista varten.

Kirjoittaja on diplomi-insinööri, joka toimii Destia Oy:n Mittauspalvelut-yksikössä geodesian ja fotogrammetrian asiantuntijana. Sähköposti jukka.hakala@destia.fi.