

Juuso Sinervä

GNSS-kämmenmikrojen käyttöönoton esiselvitys Turun Kiinteistöliikelaitoksella

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

21.3.2013

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Juuso Sinervä GNSS-kämmenmikrojen käyttöönoton esiselvitys Turun Kiinteistöliikelaitoksella 34 sivua 21.3.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	maanmittaustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaajat	Mittaustyöpäällikkö Harri Kottonen Paikkatietokoordinaattori Katariina Hilke Paikkatietoinsinööri Harri Soini Lehtori Jussi Laari
<p>Insinööriytyö alkoi Turun Kiinteistöliikelaitoksen toimeksiannosta. Insinööriytyön tarkoituksena oli selvittää, minkälaisia käyttömahdollisuuksia GNSS-kämmenmikroilla olisi Turun Kiinteistöliikelaitoksen kaltaisessa organisaatiossa. Lisäksi tavoitteena oli selvittää hankinnan eteneminen ja välttää käyttöönotossa mahdollisesti ilmenevät ongelmat.</p> <p>Työssä käytettiin Geotrim Oy:sta lainaksi saatuja Trimblen paikkatiedonkeruulaitteita. Laitteet olivat GeoExplorer 6000 GeoXH sekä Juno 5D. Laitteita kokeiltiin pilottityön avulla. Pilottityö tehtiin mittaamalla kaavaluonnosalueelta erilaisia kohteita ja vertailemalla molempien laitteiden tuloksia toisiinsa. Pilottityössä laitetta käyttivät pääasiassa kaupunkisuunnittelun työntekijät. Tällöin saatiin tietoa siitä, kuinka helppoa laitteen käyttö on sellaiselle henkilölle, joka ei ole sitä ennen käyttänyt.</p> <p>Pilottityössä havaittiin, että molemmat laitteet toimivat hienosti. Molemmat laitteet olivat myös esitteissä luvatus kaltaisia. Paremmin erilaisiin tarpeisiin soveltuvaksi havaittiin tarkempi laite, GeoExplorer 6000 GeoXH. Kaupunkisuunnittelun yksikössä työskentelevät käyttäjät olivat innoissaan laitteesta ja kokivat sen käytön helpoksi. He keksivätkin laitteelle monia käyttökohteita tulevaisuutta ajatellen.</p> <p>Ongelmia aiheutui tiedonsiirtojen kanssa, koska ohjelmat eivät tue kaikkia uusimpia tiedostoformaatteja ja tiedostojen pakkausformaatteja. Tiedonsiirto-ongelmia saataisiin kuitenkin vähennettyä, mikäli Turun WMS-palvelu saataisiin toimimaan laitteessa. WMS-palvelun käyttö paikkatiedonkeruulaitteessa aiheuttaisi lisätöitä paikkatietoyksikön henkilöstölle.</p> <p>Insinööriytyön avulla havaittiin, että Turun Kiinteistöliikelaitoksella olisi tarvetta paikkatiedonkeruulaitteelle. Insinööriytyössä ilmenneet ongelmat tulee ottaa huomioon hankintaa ajateltaessa. Tiedonsiirtojen ja keruulistojen teon tueksi tulee päättää yksikkö, joka vastaa ennakkovalmisteluista. Vaihtoehtona ennen hankintaa voisi olla laitteen vuokraus Geotrim Oy:lta insinööriytyön jatkoksi. Tällöin saataisiin tutkittua lisää laitteen tarvetta esimerkiksi talvea ajatellen.</p>	
Avainsanat	GNSS, kämmenmikro, paikkatiedonkeruu, esiselvitys, Trimble

Author(s) Title Number of Pages Date	Juuso Sinervä Research about Initialization of GNSS-Receiver in Turun Kiinteistöliikelaitos 34 pages 21 March 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Specialisation option	
Instructor(s)	Harri Kottonen, Land surveying chief Katariina Hilke, Geo information coordinator Harri Soini, Geo information engineer Jussi Laari, Senior lecture
<p>This final year project was made in co-operation with Turun Kiinteistöliikelaitos. The purpose of this final year project was to determine what kind of possibilities and benefits handheld GNSS-receiver could have in Turku. Second purpose was to determine the need for this kind of device.</p> <p>The goal of this project was to decide the best handheld GNSS-receiver for the means of Turku. There were two GNSS-receivers tested in this final year project. Both were Trimble's products, GeoExplorer 6000 GeoXH and Juno 5D.</p> <p>The devices were compared by performing a pilot study. The goal of this pilot study was to measure a planned area and compare the results. The pilot job was made in co-operation with Turku cityplanning organization.</p> <p>The result of this project was that Turun Kiinteistöliikelaitos has a need for handheld GNSS-receiver. Trimble GeoExplorer 6000 GeoXH was better of these two devices. GeoExplorer was much more accurate and reliable than Juno. The challenge of the purchase is in which organization takes care of the purchase. The other challenge is to decide the support organization for the device. One solution instead of purchasing could be a leasing contract with Geotrim Oy.</p>	
Keywords	Trimble, GNSS, receiver, research

Sisällys

1	Johdanto	3
1.1	Lähtökohta	3
1.2	Tarve	4
2	Satelliittipaikannusjärjestelmät	4
2.1	GNSS	4
2.2	GPS	5
2.3	GLONASS	7
2.4	EGNOS-satelliitit	8
3	Laitteisto	8
3.1	Perustietoa	8
3.2	Trimble GeoExplorer 6000 GeoXH	9
3.2.1	Yleistä	9
3.2.2	Floodlight-teknologia	11
3.3	Trimble Juno 5D	13
3.4	Ohjelmistot	14
3.4.1	GPS PathFinder Office	14
3.4.2	TerraSync	16
4	Pilottityö – Petrean kaavaluonnosalueen mittaus	18
4.1	Työn kuvaus	18
4.2	Työn suoritus	20
4.2.1	Alkuvalmistelu	20
4.2.2	Maastomittauspäivä	23
4.3	Tulokset	25

4.3.1	Mittaustulokset	25
4.3.2	Käyttäjien kokemukset	29
4.3.3	Mahdolliset käyttökohteet	31
5	Yhteenveto	32
	Lähteet	35
	Liitteet	

1 Johdanto

Insinööriytyö lähti liikkeelle insinööriytyön tekijän otettua yhteyttä marraskuussa 2012 Turun Kiinteistöliikelaitoksen mittaustyöpäällikkö Harri Kottoseen. Kiinteistöliikelaitoksella oli juuri testattavanaan Trimblen GNSS-kämmenmikro GeoExplorer 6000 GeoXH. Idea insinööriytyön tekemiselle tuli siitä syystä, että laitetta ei ehditty kokeilla kuin muutaman päivän ajan. Yhteisten palaverien ja mietinnän jälkeen todettiin, että insinööriytyön tekemiselle olisi tarvetta Kiinteistöliikelaitoksella. Insinööriytyö pitää sisällään erilaisia mittauksia ja kokeiluja kyseisellä laitteella sekä Trimblen toisella laitteella, Juno 5D:llä.

GNSS-kämmenmikrot ovat uuden sukupolven paikkatiedonkeruulaitteita, joiden tarkoitus on helpottaa ja nopeuttaa paikkatiedon keruuta. Erilaisia kämmenmikroja on tarjolla monen eri valmistajan toimesta, mutta tässä insinööriytyössä keskitytään vain edellä mainittuihin Trimblen laitteisiin.

1.1 Lähtökohta

Geotrim Oy kävi esittelemässä erilaisia GNSS-kämmenmikroja ja niiden ominaisuuksia Turussa GIS Roadshow'ssa 21.9.2012. Paikalla oli lähinnä maastomittajia eri kunnista, joilla ei niin suurta tarvetta kyseisille laitteille ole, koska maastomittauksella on jo käytössään Trimble R8 -satelliittipaikannuslaite. Suurempi tarve laitteelle olisi paikkatietopalveluiden ja muiden hallintokuntien henkilöstöllä.

Tämän jälkeen 13.11.2012 Turun Kiinteistöliikelaitos ja Geotrim Oy järjestivät yhdessä Turun seudun GIS-seminaarin, jossa oli paikalla muidenkin hallintokuntien edustajia. Kiinteistöliikelaitos sai käyttöönsä Trimblen GeoExplorer 6000 GeoXH -kämmenmikron, TerraSync-mittausohjelmiston sekä PathFinder Office -ohjelmiston. Niitä ehdittiin testaamaan muutaman päivän ajan, mutta tarkempia tutkimuksia ei kuitenkaan ehditty tekemään. Laitetta käytiin esittelemässä myös Liedossa ja Kaarinassa. Turussa esittelyjä järjestettiin vesilaitokselle, keskushallinnolle, maastomittauspalveluille sekä paikkatietopalveluiden yksikölle.

Kiinteistöliikelaitos kiinnostui laitteesta, ja siten Turussa järjestettiin 16.1.2013 uusi tapaaminen, johon kutsuttiin jälleen edustajia Liedosta, Kaarinasta, konsernihallinnosta,

vesilaitokselta sekä paikkatietopalveluista. Paikalla oli myös Geotrim Oy:stä kaksi esittelijää, Sakari Mäenpää sekä Miika Kostamo, jotka vastasivat laitetta koskeviin kysymyksiin. Paikalla olleet naapurikuntien Liedon ja Kaarinan sekä vesilaitoksen edustajat kertoivat omia tarpeitaan laitteen käytölle. Tilaisuudesta jäi sellainen vaikutelma, että laitteella olisi käyttöä paljon myös Turun lähikunnissa. Tilaisuudessa esiteltiin myös tämän insinööriyön aihe muille edustajille, jotta heillä olisi tieto siitä, että kyseisten kämmenmikrojen käyttöönottoa selvitetään.

1.2 Tarve

Paikkatietopalveluiden ja muiden hallintokuntien henkilöstöllä on tarvetta tällaiselle laitteelle, jota voitaisiin käyttää vähän pienempää mittaustarkkuutta vaativissa tehtävissä. Haastatteluiden avulla pyritään ensin selvittämään, mitä tällaiset tehtävät voisivat olla ja millaisiin käyttökohteisiin laitetta voitaisiin käyttää. Insinööriyön tarkoituksena on selvittää sopiva laite tällaisiin tehtäviin. Lisäksi selvitetään käytössä mahdollisesti ilmeviä ongelmia ja tiedonsiirron sujuvuutta eri ohjelmien ja laitteiden välillä.

Myös naapurikunnilla Liedolla ja Kaarinalla olisi tarvetta kyseisen kaltaiselle laitteelle. Insinööriyölle on tarvetta, jotta laitteen käyttöönotto ja käyttäminen olisi mahdollisimman helppoa eri organisaatioille. Yksi vaihtoehto voisi olla alkuun seudullinen yhteistyö laitteen käytössä. Tämän vuoksi insinööriyön tulee selvittää laitteen erilaiset käyttösovellukset mahdollisimman hyvin.

2 Satelliittipaikannusjärjestelmät

2.1 GNSS

Perinteinen GPS (Global Positioning System) on saanut rinnalleen monia eri maiden vastaavanlaisia satelliittipaikannusjärjestelmiä. GPS:n ja muiden maiden satelliittijärjestelmiä kutsutaan yhteisesti nimellä GNSS (Global Navigation Satellite Systems). Tällaisia muita järjestelmiä, jotka luetellaan kuuluvaksi Global Navigation Satellite Systemiin, ovat muun muassa venäläinen GLONASS, yhteiseurooppalainen Galileo sekä kiinalainen Compass-järjestelmä. Galileo-järjestelmä on vasta rakennusvaiheessa, mutta siitä odotetaan hyvää apuvälinettä etenkin siviilisovelluksille. Galileo tulee sisäl-

tämään useita sellaisia ominaisuuksia, joita esimerkiksi ilmailu ja muut luotettavuutta kaipaavat sovellukset tarvitsevat. Nykyisen aikataulun mukaan järjestelmän pitäisi olla valmis vuoden 2015 aikana. Kiinalainen Compass-järjestelmä tulee saavuttamaan toimintavalmiuden vuoden 2020 aikoihin. Insinööriyössä otetaan kuitenkin pääasiassa huomioon GPS- sekä GLONASS-järjestelmät, koska laitteet, joita insinööriyössä tutkitaan, käyttävät niitä satelliittijärjestelmiä. (1, s. 7–8)

2.2 GPS

GPS-järjestelmä eli Global Positioning System, on alkujaan Yhdysvaltain puolustusministeriön ja Yhdysvaltain liikenneministeriön sotilaskäyttöön kehittämä satelliittipaikannusjärjestelmä. Kehityksen lähtökohtana oli, että satelliittipaikannuksen avulla päästäisiin muutaman metrin paikannustarkkuuteen ja järjestelmä sietäisi hyvin häiriöitä. Järjestelmän tulisi olla niin sanotusti yksisuuntainen, jolloin käyttäjä ei lähetä satelliitteihin mitään tietoa, vaan pelkästään vastaanottaa sitä. GPS-järjestelmän toiminnan voidaan katsoa alkaneeksi vuonna 1978, jolloin ensimmäinen NavStar-satelliitti laukaistiin maata kiertävälle radalleen. Seuraavana vuonna saatiin myös ensimmäiset siirrettävät vastaanottimet sotilaskäyttöön. Lopullinen valmistuminen kuitenkin viivästyi ja GPS-järjestelmä sai suunnitellun kokoonpanonsa kokonaisuudessaan toimintaan vasta vuonna 1995. (2, s. 290)

GPS-järjestelmä on kolmiosainen, siihen kuuluu satelliitit, kontrolliverkosto sekä käyttäjät. Satelliitit ja kontrolliverkosto ovat yhteydessä toisiinsa molemminpuolisesti, eli ne lähettävät tietoa toisilleen. Käyttäjä taas on yhteydessä vain satelliitteihin siten, että käyttäjä vain vastaanottaa tietoa satelliiteilta. (1, s.17–20)

Satelliitit kiertävät maata vähän yli 20 000 kilometrin korkeudessa, jolloin kiertoradan säde on noin 26 560 kilometriä. Satelliittien kiertoaika maan ympäri on 11 tuntia 58 minuuttia. GPS-satelliitteja ylläpitää Yhdysvaltain ilmavoimat, joka pitää huolen siitä, että satelliitteja on maata kiertävällä radalla aina vähintään 24 kappaletta. Muutamien viime vuosien aikana satelliitteja on ollut 31 kappaletta. Näiden lisäksi on muutama varasatelliitti, jotka voidaan aktivoida tarpeen vaatiessa. Joka hetki kaikista satelliiteista on näkyvissä vähintään kuusi satelliittia. Jotta kolmiulotteinen paikannus on mahdollista, tarvitaan vähintään neljä näkyvissä olevaa satelliittia. (3)

Kontrolliverkon tarkoitus on olla yhteydessä satelliitteihin ja tarkkailla niiden tilaa. Kontrolliverkot myös määrittävät rataelementit ja kellovirheet sekä päivittävät satelliittien lähettämää tietoa. Aluksi kontrolliverkoston maa-asemia oli vain neljä, kaikki Yhdysvaltain maaperällä. Satelliittien ratatietojen parantamiseksi maa-asemien määrää lisättiin huomattavasti ja maa-asemia perustettiin muun muassa Australiaan, Argentiinaan, Bahrainiin ja Englantiin.

GPS-satelliittien signaali koostuu itse kantoaallostasta sekä C/A- ja P-koodista. C/A-koodi on julkinen, ja sitä käyttävät kaikki tavalliset autonavigaatiolaitteet sekä muut vastaavat pienempää mittaustarkkuutta vaativat laitteet. P-koodi taas on salattu ja se on vain Yhdysvaltain armeijan käytössä. Perussääntönä voidaan pitää sitä, että pelkästään C/A-koodia käyttävät laitteet yltyvät muutaman metrin tarkkuuteen, mutta sotilaskäytössä olevilla P-koodia käyttävillä laitteilla päästään noin yhden metrin tarkkuuteen. Insinööriyössä testattavista laitteista Trimble Juno 5D käyttää C/A-koodiin perustuvaa mittaus-
ta. (1, s. 10)

GPS-satellitit lähettävät kantoaaltoa kolmella eri taajuudella, joita kutsutaan L1-, L2- ja L5-taajuudeksi. L1- ja L2-taajuudet ovat niin sanottuja vanhoja taajuuksia. L5-taajuus löytyy vain uudemmista satelliiteista. P-koodi on moduloitu molempiin vanhoihin taajuuksiin, mutta C/A-koodi vain L1-taajuuteen. Uudemmissa satelliiteissa P-koodi on moduloitu myös L2-taajuuteen. Satelliittien taajuudet ovat seuraavat: L1=1574,42 MHz, L2=1227,60 MHz ja L5=1176,45 MHz. (1, s. 150)

Tarkin mittaustulos saadaan käyttämällä kantoaaltoon perustuvaa suhteellista mittaus-
ta, joka ei kärsi GPS-koodien siviilikäyttöä varten luoduista rajoituksista. Kantoaaltoon perustuvassa mittauksessa tulee tietää, kuinka monta kokonaista aallonpituutta mahtuu satelliitin ja vastaanottimen väliin. Kesken jääneen aallonpituuden vaiheesta saadaan tarkka tieto, kuinka kaukana kulloinenkin satelliitti sijaitsee vastaanottimesta. Kahden vastaanottimen suhteellisessa mittauksessa vastaanottimien välinen vektori pystytään laskemaan jopa millimetrien tarkkuudella. Insinööriyössä testattavista laitteista Trimble GeoExplorer 6000 GeoXH käyttää suhteellista kantoaaltoon perustuvaa mittaus-
tä syystä sen tarkkuuden luvataankin olevan jopa 10 cm:n luokkaa. (1, s. 10; 2, s. 308–309)

2.3 GLONASS

GLONASS-järjestelmällä (GLObal NAVigation Satellite System) on hyvin pitkälti samanlaiset lähtökohdat kuin GPS-järjestelmällä. Sekin on suunniteltu alun perin sotilas-käyttöön. GLONASS-projekti käynnistyi Neuvostoliitossa vuonna 1982, ja se saavutti suunnittelun laajuutensa vuonna 1996 Venäjän vallan aikana. Talousvaikeuksien vuoksi satelliittien määrää jouduttiin kuitenkin vähentämään. Tällä hetkellä satelliitteja on yhteensä 29, joista 23 on toiminnassa. Muutama satelliitti on huollossa tai varasatelliitteina (Tilanne 5.2.2013). (1, s. 20–21; 4)

GLONASS-satelliittien kiertorata on hieman pienempi kuin GPS-satelliittien. Ratojen korkeus keskimerenpinnasta on 19 100 kilometriä ja kiertoaika 11 tuntia ja 15,7 minuuttia. Napa-alueilla, kuten Suomessa, GLONASSin ratageometria on jopa parempi kuin GPS-satelliiteilla johtuen GLONASS-satelliittien suuremmasta inkliinaatiokulmasta.

GLONASS-satelliittien lähettämät signaalit ovat mutkikkaampia kuin GPS-satelliittien lähettämät signaalit. GLONASS-satelliitit lähettävät kahta signaalia, L1- ja L2-signaalia. Satelliittien lähettämät taajuudet ovat monimutkaisia, koska jokaisella GLONASS-satelliitilla on oma taajuutensa. GLONASSin taajuuksia onkin jouduttu muuttamaan jo kahteen kertaan, koska näillä taajuuksilla on paljon ruuhkaa. Ennen vuotta 2006 satelliittien lähettämä signaali oli levittyneenä melko laajalle taajuusalueelle, koska se laskettiin tietyllä kaavalla, jossa taajuus kerrotaan satelliitin numerolla. Vuoden 2006 jälkeen GLONASS-satelliittien taajuusalue on ollut 1598,0625 MHz – 1605,5 MHz. Vastakkaisilla puolella maapalloa olevat satelliitit käyttävät samaa taajuutta, jolloin voidaan käyttää vain 12 eri taajuutta. Jokainen GLONASS-satelliitti lähettää myös kahta samaa koodia, jotka vastaavat GPS-satelliittien lähettämiä C/A- ja P-koodeja. Kumpaakaan koodia ei häiritä mitenkään, joten ne ovat vapaassa siviilikäytössä. (1, s. 20–23)

GLONASS:n käytön ongelmana on ollut satelliittien vähäinen määrä ja GLONASS onkin toiminut ennen vain GPS-järjestelmän tukena. Nykyään, kun satelliitteja on toiminnassa 23 kappaletta, GLONASS-järjestelmää voi jo käyttää yksinäänkin, mutta parempia tuloksia saadaan, kun käytetään yhdessä molempia satelliittijärjestelmiä. Tätä yhteistekniikkaa käyttää insinööriyössän testattavana oleva Trimblen GeoExplorer 6000 GeoXH. (1, s. 20–23)

2.4 EGNOS-satelliitit

EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) pitää sisällään kolme geostationääristä satelliittia Euroopan yläpuolella sekä verkoston maa-asemia, jotka tarkkailevat satelliittien toimintaa. EGNOS on Euroopan ensimmäinen panostus satelliittinavigaatioteknologiaan. Sen tarkoituksena on parantaa GPS:n käytettävyyttä Euroopan alueella. EGNOS tarjoaa korjaussignaalin GPS-satelliitteihin. Tämä mahdollistaa Euroopan alueella paremman navigointitarkkuuden. EGNOSin korjausdataa käyttäen navigointitarkkuus voi olla noin kolme metriä, kun taas ilman EGNOSia käyttäjä voi olla varma sijainnistaan vain noin kymmenen metrin tarkkuudella. Koska EGNOS perustuu samaan teknologiaan kuin GPS, EGNOS-signaalin vastaanottaminen ei vaadi suuria muutoksia laitteelta. Suurin osa nykyisistä laitteista pystyykin jo vastaanottamaan EGNOSin tarjoamaa tietoa. EGNOS-korjauksen käyttö onkin yleistä esimerkiksi ilmailussa ja laivanavigoinnissa, joissa vaaditaan parempaa tarkkuutta kuin esimerkiksi tavallisessa autonavigoinnissa.

EGNOS-satelliitit ovat geostationäärisiä satelliitteja, jotka ovat ikään kuin paikallaan aina maapalloon nähden. Ne liikkuvat siis samalla nopeudella kuin maapallo pyörii ja ovat siten aina samalla puolella maapalloa.

Molemmissa laitteissa, joita insinööriyössä tutkitaan, on mahdollisuus käyttää EGNOS-korjausta. EGNOS-korjaus on tietenkin vasta toissijainen vaihtoehto, koska muut paikannusvaihtoehdot ovat tarkempia. (5)

3 Laitteisto

3.1 Perustietoa

Laitteet, joita insinööriyössä tutkitaan, ovat molemmat Trimble Oy:n uusia GNSS-kämmenmikroja. Kalliimpi ja siten myös tarkempi laitteista on Trimble GeoExplorer 6000 GeoXH, jonka tarkkuudeksi hyvissä olosuhteissa luvataan noin 10 cm sekä tassossa että korkeudessa. Toinen testattava laite on Trimblen Juno 5D, joka sisältää hieman yksinkertaisempaa tekniikkaa kuin kalliimpi GeoExplorer. Junon tarkkuudeksi

luvataan noin 2–4 m hyvissä olosuhteissa. Insinööriyössäni verrataan, miten laitteet toimivat erilaisissa olosuhteissa, ja mihin tarkkuuteen niillä silloin päästään.

Molemmissa laitteissa on sama käyttöjärjestelmä sekä sama mittausohjelmisto. Käyttöjärjestelmänä laitteissa on Windows Mobile, joka on helppokäyttöinen ja tuttu tietokoneita käyttäville. Paikkatiedonkeruuohjelmistona laitteessa on TerraSync, joka on Trimblen oma paikkatiedonkeruuohjelma. Tiedonsiirrossa ja keruulistojen tekemisessä tietokoneella käytetään PathFinder Office -ohjelmaa.

Trimble-laitteiden maahantuoja Geotrim Oy on lainannut laitteet Kiinteistöliikelaitokselle ja opastanut niiden käytössä insinööriyön tekemistä varten. (6)

3.2 Trimble GeoExplorer 6000 GeoXH

3.2.1 Yleistä

Trimble GeoExplorer 6000 GeoXH on suunniteltu paikkatiedon keruuseen kaikenlaisissa olosuhteissa, myös haastavissa kuten puiden tai rakennusten katveessa. Laitteelle luvataan reaaliaikaisesti sekä jälkilaskettuna 10cm:n paikannustarkkuus sekä tasossa että korkeudessa. Laitteesta on myös olemassa uudempi versio, joka pystyy lisäantennin avulla jopa senttimetriluokan mittauksiin. Näin tarkalle laitteelle ei kuitenkaan Kiinteistöliikelaitoksella ole tarvetta.



Kuva 1. Trimble GeoExplorer 6000 GeoXH.

Laitteessa on erittäin herkkä GNSS-antenni, joka vastaanottaa sekä GPS-satelliittien että GLONASS-satelliittien lähettämää signaalia. Laitteen antenni pystyy vastaanottamaan kummankin satelliittijärjestelmän lähettämiä L1- ja L2-signaaleja. Tämän ominaisuuden sekä reaaliaikaisen korjauksen ansiosta laite pystyy noin kymmenen senttimetrin tarkkuuteen.

Laite käyttää kaiken vastaanottamansa datan laskentaan. Esimerkiksi, jos laite on yhteydessä satelliitteihin puoli tuntia mutta laitteella mitataan vain viisi minuuttia, laite käyttää koko puolen tunnin datan jälkilaskennassa. Tällöin mitattujen pisteiden tarkkuus sekä luotettavuus paranevat huomattavasti.

VRS-tukiasemiin perustuvan reaaliaikaisen korjauksen avulla laite pystyy saavuttamaan luvatus 10 cm:n tarkkuuden. Suhteellisen paikanmäärityksen peruseriaatteen mukaisesti vastaanottimia tulee olla kaksi, jotta korjausaaltoa voidaan hyödyntää mittauksessa. Toisen vastaanottimen tulee olla tunnetun asemapisteen päällä ja vastaanottaa myös satelliittidataa. Tunnetun pisteen ja liikkuvan vastaanottimen välille lasketaan vektori, joka parantaa mittauksen tarkkuutta. VRS-mittauksessa (Virtual Reference Station) ei ole konkreettisesti kahta laitetta, vaan toinen tukiasema luodaan vastaanottimen lähelle virtuaalisesti. Vastaanotin tarvitsee GPRS-yhteyden, jonka avulla se luo yhteyden VRS-laskentakeskukseen, joka muodostaa vastaanottimen lähelle virtuaalisen tukiaseman ja alkaa lähettää korjaussignaalia. (6; 7)

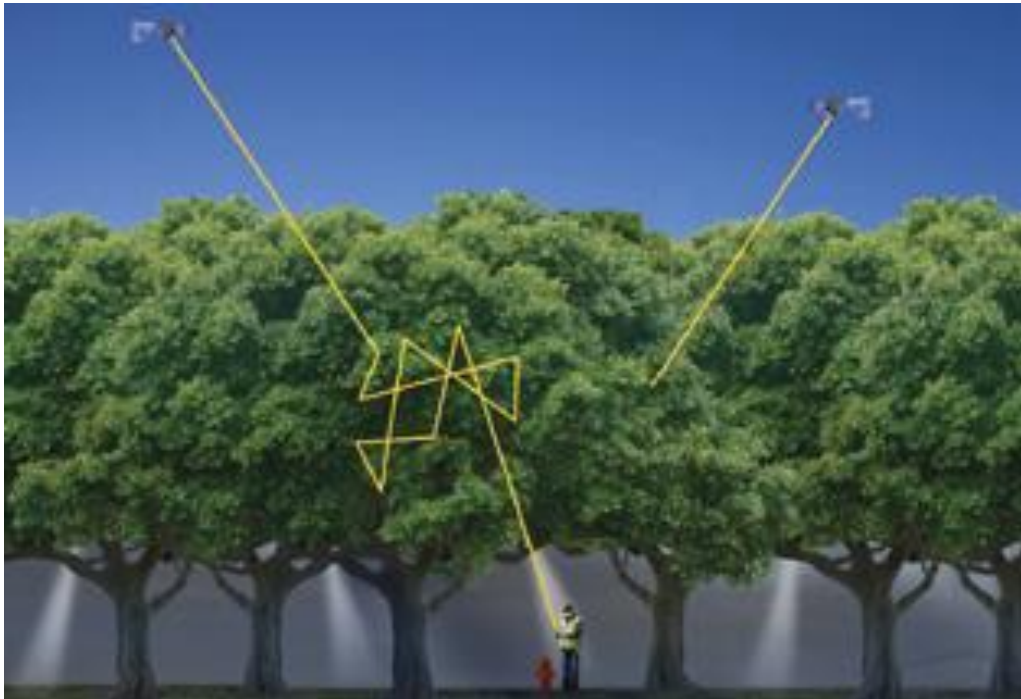
Trimblen H-Star, jota laite käyttää, on yksi sovellutus VRS-mittauksesta. H-Star-teknologia on luotu juuri paikkatiedon keruun ammattilaisia ajatellen. H-Star on VRS-mittauksista, mutta joitakin mittauksen kriteerejä on heikennetty, jotta paikkatiedon keruu olisi riittävän tuottavaa, luotettavaa ja nopeata. Kun korjaussignaali on käytössä, laite pystyy paikantamaan kohteen 10 cm:n tarkkuudella. (8)

GeoExplorer 6000 GeoXH:ssa on integroitu kamera, jolla voidaan ottaa kuva mitattavasta kohteesta ja liittää se mitattavan kohteen attribuuttitietoihin. Lisäksi laitteessa on 3,5G-datamodeemivalmius, jonka avulla laite saa yhteyden esimerkiksi VRS-laskentakeskukseen. GeoExplorer on mahdollista kiinnittää säädettävään sauvaan, jonka avulla laitteen korkeus saadaan määritettyä tarkasti. Laitteeseen on myös mahdollista yhdistää lisäantenni paremman sijaintitarkkuuden saamiseksi, mutta insinöörityössä lisäantennia ei käytetä. (6;7)

3.2.2 Floodlight-teknologia

Satelliittimittauksen suurin yksittäinen ongelma on peitteiset alueet, joita mitattaessa satelliittien näkyvyys on heikko ja mittaus ei aina onnistu. Peitteisillä alueilla mittaaminen ei onnistu, koska satelliitin ja vastaanottimen välissä on jokin este, kuten puu tai rakennus. Satelliittimittaus vaatii vähintään neljä näkyvää satelliittia, joiden lähettämäs-

tä signaalista vastaanotin pystyy laskemaan tarkan sijainnin. Mikäli kaivataan parempaa tarkkuutta, satelliitteja tarvitaan enemmän.



Kuva 2. Peitteisyyden vaikutus mittaamiseen.

Trimblen Floodlight-tekniikka on suunniteltu parantamaan mittauksen sujuvuutta ja tarkkuutta erityisesti peitteisillä alueilla. Tekniikka käyttää satelliitteja sekä GPS-järjestelmästä, että GLONASS-järjestelmästä. Tämä parantaa satelliittien saatavuutta jopa 60 prosentilla. Floodlightin avulla paikannus on mahdollista vaikeammassakin olosuhteissa ja laitteen tuottavuus paranee huomattavasti. Floodlight-tekniikka käyttää uusia laskenta-algoritmeja, jotka mahdollistavat sujuvan mittauksen jopa heikoilla satelliittisignaaleilla.

GeoExplorer 6000 GeoXH:ssa on sisäänrakennettu ilmanpainemittari, jota laite käyttää summittaisen korkeuden mittaamiseen. Yksi Floodlight-tekniikan ominaisuus on se, että laite suodattaa heijastuneet signaalit pois arvioidun korkeuden avulla. Mikäli satelliitista tuleva signaali on moneen kertaan heijastunut esimerkiksi puiden lehdistä, kuten kuvassa 2, laite suodattaa heijastuneet säteet pois eikä käytä niitä tarkassa paikannäilyksessä. Tämä takaa laitteelle nopeamman ja luotettavamman paikannuksen.

(9)

3.3 Trimble Juno 5D

Juno 5D:lle (kuva 3) luvattu tarkkuus on reaaliajassa sekä jälkilaskettuna noin 2–4 metriä. Vaikka laite muistuttaa ulkonäöltään nykyisiä älypuhelimia ja on samaa kokoa, se on kuitenkin ammattilaiseen käyttöön soveltuva paikkatiedonkeruulaite. Tarkkuus riittää hyvin joihinkin paikkatiedonkeruusovelluksiin. Laitteessa on herkkä GPS/SBAS-antenni, joka vastaanottaa GPS-signaalia vain L1-taajuudella. Lisäksi laitteen SBAS-vastaanotin vastaanottaa sijaintitietoa EGNOS-satelliiteilta.



Kuva 3. Trimble Juno 5D.

Juno 5D ylittää luvattuun tarkkuuteen käyttämällä differentiaalisen paikannuksen peruseriaatetta: Laite on koko ajan yhteydessä satelliitteihin sekä kiinteään tukiasemaan,

joka vertaa joka hetki tukiaseman oikeaa sijaintia sekä tukiasemalla olevan kiinteän vastaanottimen määrittämää sijaintia toisiinsa. Tämän jälkeen tukiasema lähettää liikuteltavalle laitteelle Internetin välityksellä korjaussignaalin, joka kertoo korjaukset satelliittien etäisyyksiin. Laite korjaa satelliittien etäisyyksien virheet ja laskee vasta tämän jälkeen oman sijaintinsa. Differentiaalisen paikannuksen ansiosta laite ylittää parempaan tarkkuuteen kuin normaalit autonavigaatiolaitteet. (1, s. 9; 2, s. 305)

Juno 5D-laitteessa on myös, kuten GeoExplorer 6000 GeoXH:ssäkin, sisäänrakennettu kamera, jolla voidaan ottaa mitattavasta kohteesta valokuva ja liittää se suoraan mitattavan kohteen attribuuttitietoihin. Laitteessa on lisäksi 3,75 G datamodeemivalmius, jonka avulla voidaan olla yhteydessä Internetiin ja saada differentiaalikorjausta.

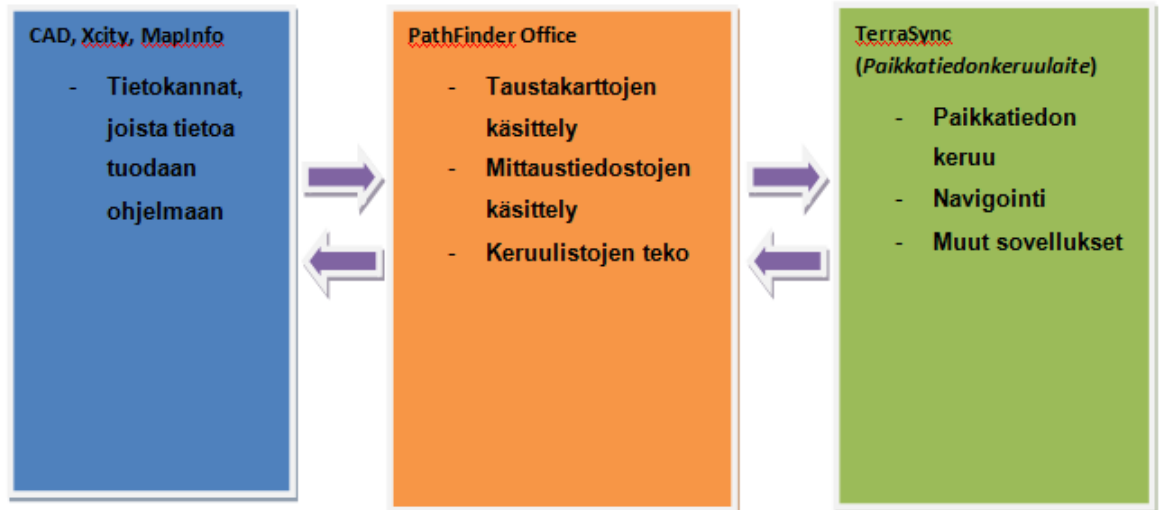
Juno 5D -laite on halvempi kuin GeoExplorer 6000 GeoXH, koska sen tekniikka on hieman yksinkertaisempaa ja se ei pääse yhtä hyvään tarkkuuteen kuin GeoExplorer. Insinööriyössä testataan molempia laitteita ja tutkitaan, miten kumpikin laite toimii ja kummalle laitteelle voisi olla enemmän käyttöä Turun Kiinteistöliikelaitoksella. (10)

3.4 Ohjelmistot

3.4.1 GPS PathFinder Office

GPS Pathfinder Office on Trimblen kehittämä paikkatieto-ohjelma, jonka avulla voidaan käsitellä GNSS-dataa. Ohjelmaan voidaan tuoda tietoa kaikissa yleisimmissä tiedonsiirtoformaateissa, kuten MapInfo-, AutoCAD- sekä Esrin Shape-muodoissa. Myös rasteritaustakartoista ohjelma tukee yleisimpiä muotoja, kuten JPEG, TIF sekä ECW.

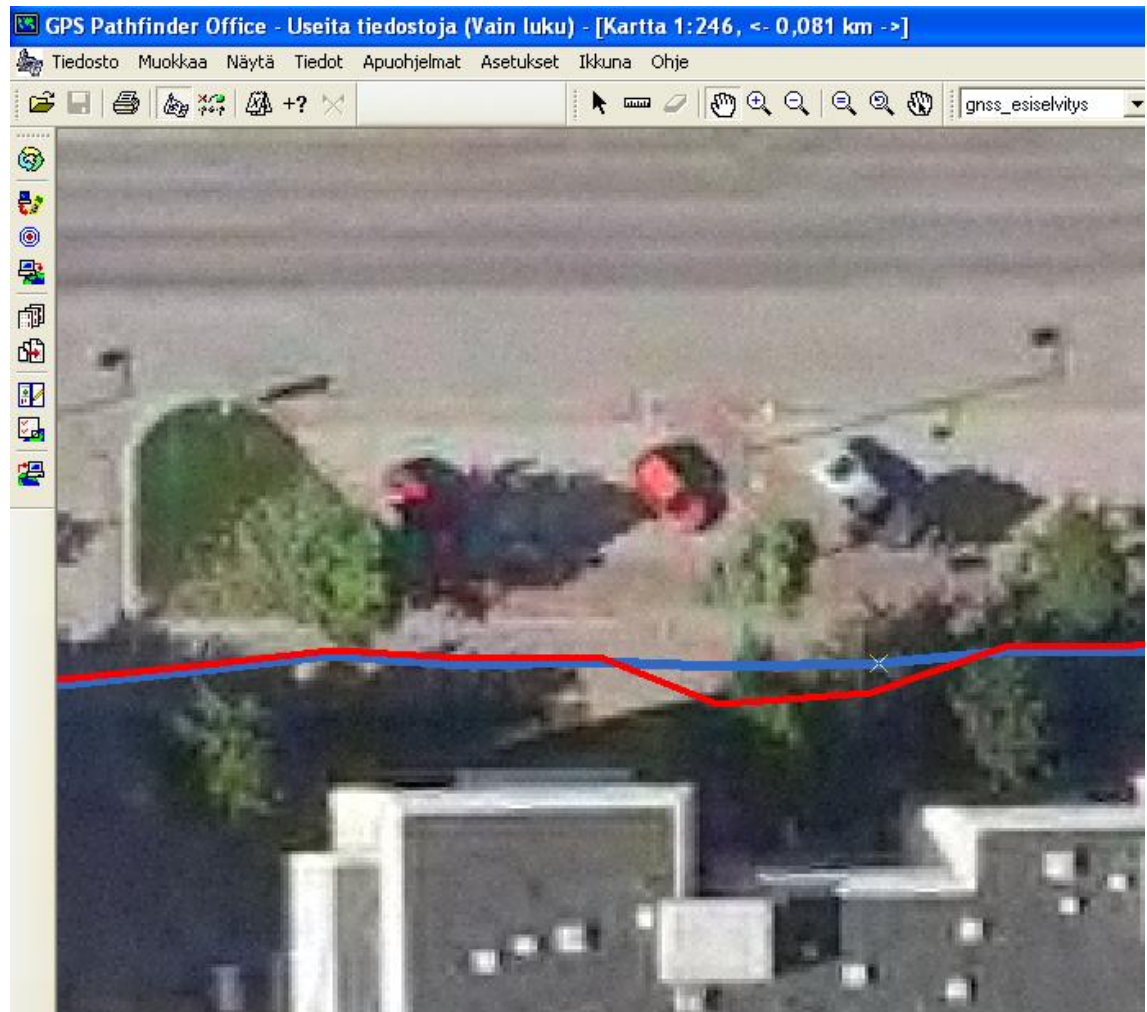
GPS PathFinder Office on ohjelma, jonka avulla tiedostojen siirto paikkatiedonkeruulaitteisiin tapahtuu. Kuten kuvasta 4 nähdään, tieto tuodaan ensin PathFinder-ohjelmaan, jossa tietoja käsitellään ja muokataan halutun kaltaiseksi. Tämän jälkeen tiedonsiirtotyökalulla tiedot siirretään paikkatiedonkeruulaitteeseen. Myös taustakartat siirretään PathFinder Officen kautta paikkatiedonkeruulaitteen TerraSync-ohjelman käytettäväksi.



Kuva 4. Tiedonsiirto ohjelmien välillä.

Tiedonkeruussa käytettävät keruulistat, joita käytetään TerraSync-ohjelmassa, tehdään PathFinder Officen kirjastoeditorin avulla. Kirjastoeditorin avulla luodaan lista mitattavista asioista sekä niiden attribuuteista. Luotua keruulistaa käytetään mitattaessa.

PathFinder Office -ohjelman avulla on myös mahdollista tehdä mitatulle aineistolle differentiaalikorjaus. Kuvassa 5 on PathFinder Office -ohjelman aloitusvalikko, johon on avattu taustakartaksi ilmakeku vuodelta 2010, sekä kaksi tiedostoa, joista toiselle on suoritettu differentiaalikorjaus. Kuvasta nähdään, miten differentiaalikorjaus vaikuttaa mittauksen tarkkuuteen. Differentiaalikorjattu tiedosto näkyy alla olevassa kuvassa sinisellä viivalla ja reaaliaikainen tiedosto punaisella viivalla. Kuvasta nähdään, että etenkin vaikeissa olosuhteissa differentiaalikorjaus parantaa mittauksen tarkkuutta ja luotettavuutta. (11)



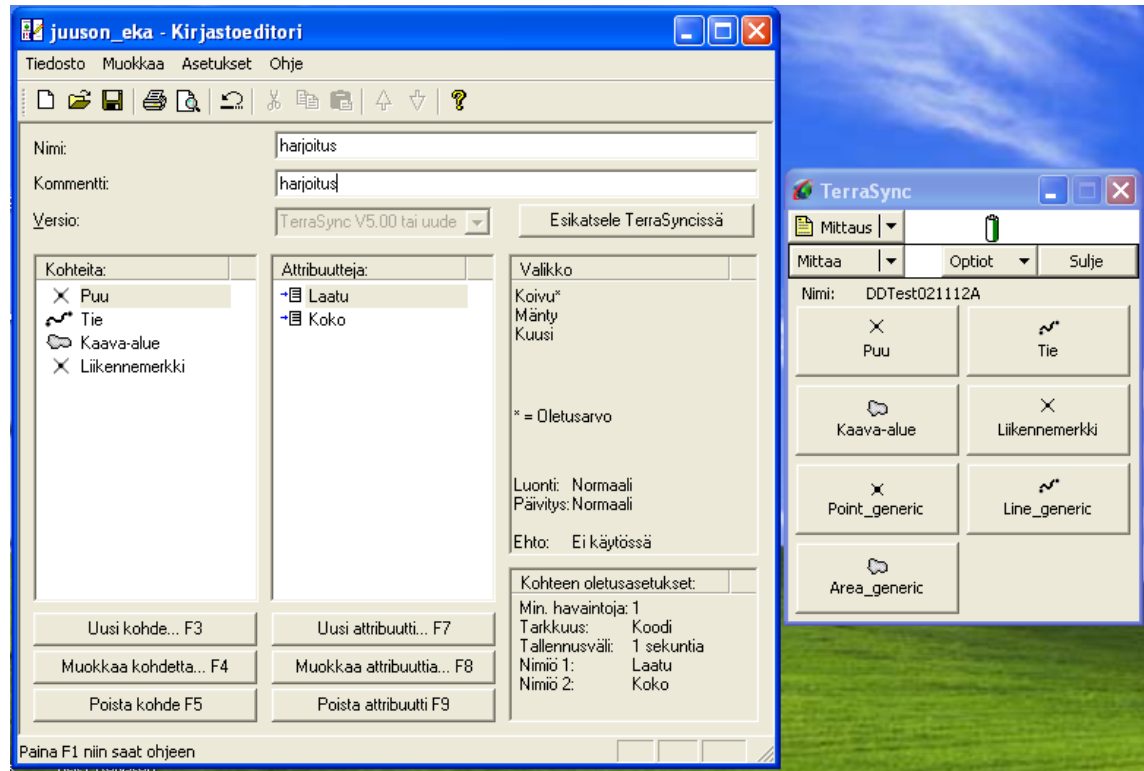
Kuva 5. Differentialikorjatun tiedoston ja reaaliaikaisen tiedoston ero.

Käyttäjä ei pysty itse asentamaan tietokoneelleen PathFinder Office –ohjelmaa johtuen Kiinteistöliikelaitoksen rajoitetuista asennusoikeuksista Windows-käyttöjärjestelmässä. Ohjelma tulee asentaa jokaiseen tietokoneeseen erikseen it-henkilöstön avustuksella. Tämä tulee ottaa huomioon laitteen hankintaa suunniteltaessa.

3.4.2 TerraSync

TerraSync-ohjelma on Trimble Oy:n suunnittelema paikkatiedonkeruuohjelma, jonka tarkoituksena on mahdollistaa nopea ja tehokas paikkatiedon keruu. TerraSync-ohjelma on helppokäyttöinen, joten uusikin käyttäjä oppii nopeasti sen käytön. TerraSync-ohjelma on asennettuna molempiin testattaviin laitteisiin. Tausta-aineistot ja keruulistat siirretään TerraSynciin PathFinder Office -ohjelman kautta.

TerraSync-ohjelma on paikkatiedonkeruuohjelma, mikä erottaa sen normaaleista maastomittauksessa käytettävistä ohjelmista. Normaaleissa mittausohjelmissa kohteiden tunnistamiseen käytetään koodia, pintatunnusta ja pistenumeroa. TerraSync-ohjelmassa ennen mittausta tulee luoda keruulista, jossa on kaikki mitattavat kohteet ja niiden attribuutit. Tämä helpottaa laitteen käyttöönottoa etenkin uusilla käyttäjillä. (12)

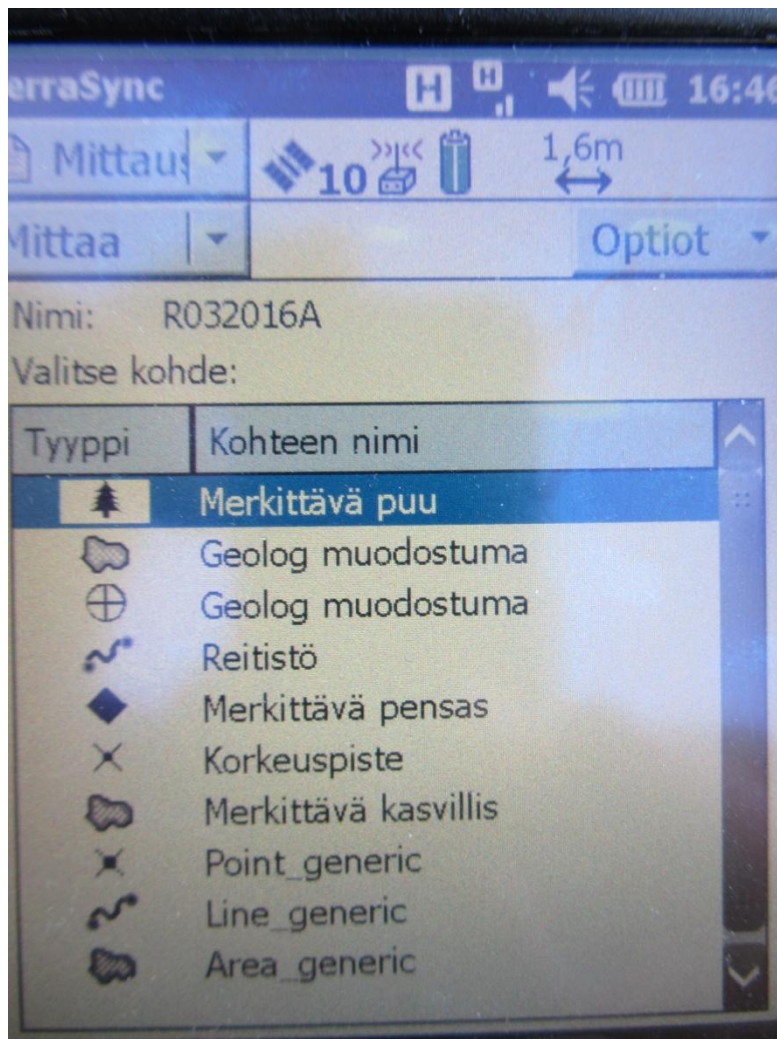


Kuva 6. PathFinder Officeen kirjastoeditori sekä TerraSync-esikatseluohjelma.

Kuvassa 6 nähdään vasemmalla puolella PathFinder Officeen kirjastoeditori, jonka avulla keruulista luodaan. Kirjastoeditorissa luodaan ensin mitattava kohde, tässä tapauksessa esimerkiksi puu. Sen jälkeen luodaan kohteelle attribuutit, jotka ovat tässä tapauksessa laatu ja koko. Attribuuteille tehdään tämän jälkeen lista, jossa attribuuteille annetaan arvot, kuten laadulle koivu, mänty ja kuusi. Tämä mittausrutiini tehdään ennen kuin laitteella voidaan mitata. Oikealla puolella taas on esikatselukuva siitä, millä luotu keruulista näyttää TerraSync-ohjelmassa.

TerraSync-ohjelman yläkulmassa oleva senttimetri- tai metriluku kertoo arvioidun mittaustarkkuuden. Kuvassa 7 nähdään, että peitteisemmissä olosuhteissa tarkkuus voi olla 1,6 metriä. Mittaustarkkuudelle voidaan asettaa toleranssi, jonka ylittyessä laite ei

tallenna minkäänlaista dataa. Tätä arvioitua sijaintitarkkuutta on tärkeää tarkkailla mittaessa, jolloin säästytään huonoilta mittaustarkkuuksilta.



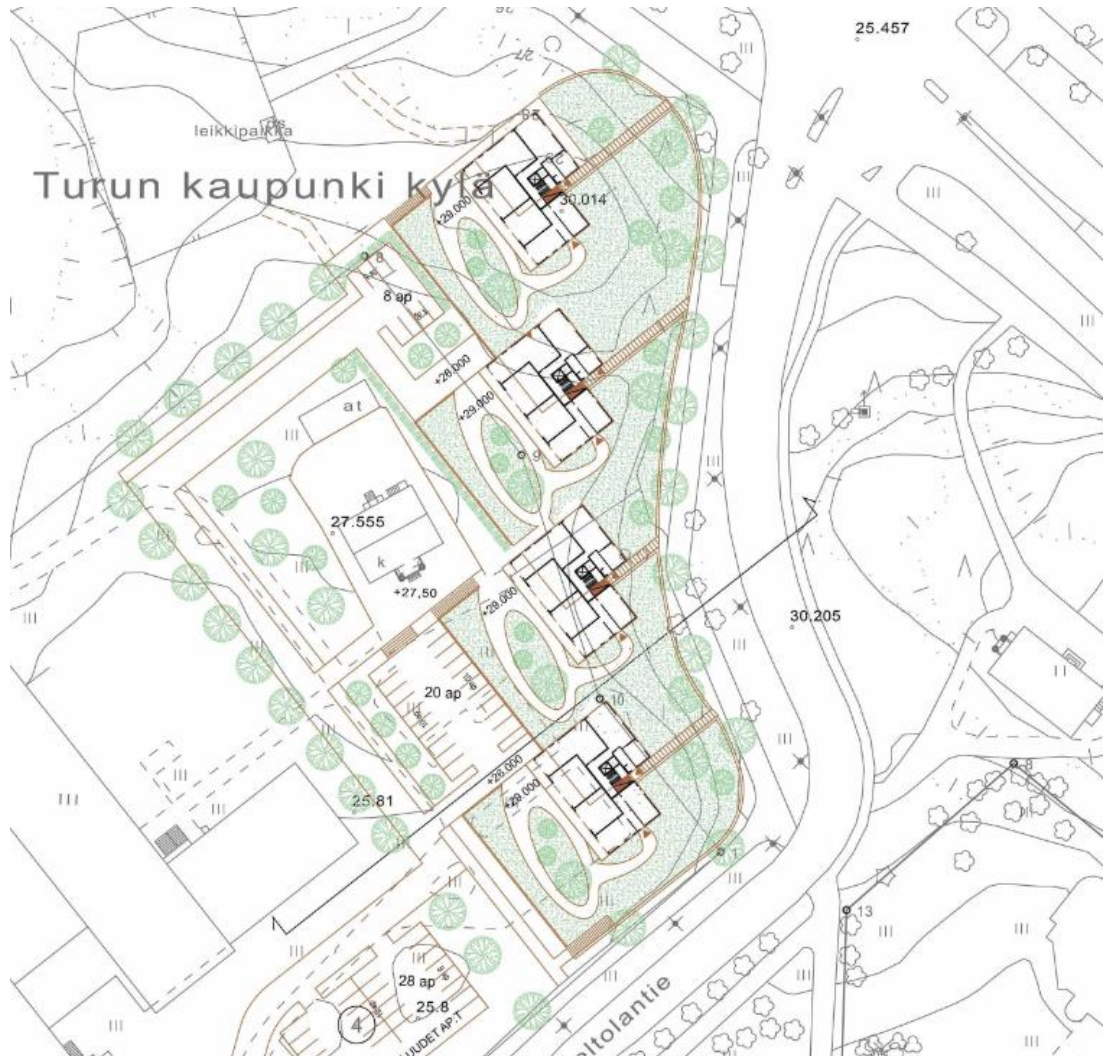
Kuva 7. TerraSync-ohjelman keruulista sekä yläkulmassa oleva arvioitu tarkkuus. Kuva laitteen näytöltä.

4 Pilottityö – Petrean kaavaluonnosalueen mittaus

4.1 Työn kuvaus

Pilottityö tehdään Turun Ympäristötoimialan kaupunkisuunnittelun yksikölle. Kaupunkisuunnittelun henkilöstöllä on tarvetta kyseiselle laitteelle, ja yksiköltä löytyi myös insinööriyöhön sopiva pilottityökohte. Työn tarkoituksena on mitata Turun Petrean alueelle suunnitteilla oleva Honkamäenpuiston kaavaluonnos, joka näkyy kuvassa 8. Tavoit-

teena on selvittää, miten GNSS-kämmenmikrot soveltuvat kaupunkisuunnittelun henkilöstön tarkoituksiin. Etenkin heillä olisi kiinnostusta kaavan merkinnästä maastoon, jolloin alueen hahmottaminen olisi helpompaa. Lisäksi tarpeena on esimerkiksi saada merkittyä säästettävät puut ja tärkeät luontokohteet kartalle ja maastoon.



Kuva 8. Honkamäen puiston kaavaluonnosalue.

Pilottityö sai alkunsa Katariina Hilkeen, Turun kaupungin paikkatietokoordinaattorin lähettämästä kyselystä kaupungin eri yksiköille, jossa selvitettiin mahdollista pilottityökohteita. Pilottityökohteita saatiinkin melko runsaasti, mutta osaa niistä ei ollut mahdollista toteuttaa lumitilanteen vuoksi. Kaupunkisuunnittelun pilottityöhön päädyttiin, koska siinä on monipuolisesti mitattavaa ja täten laitteen käyttömahdollisuudet saadaan siinä hyvin esille. Pilottityön avulla myös muut yksiköt voivat pohtia, olisiko heillä laitteelle mahdollisia käyttökohteita.

Pilottityöhön osallistuu kaupunkisuunnittelun yksiköstä yhteensä viisi henkilöä, joten kiinnostus aihetta kohtaan on siellä melko suurta. Kaavaluonnosalueen mittauspäivänä on tavoitteena saada mukaan kaikki henkilöt, jotka ovat mukana pilottityössä. Yksi pilottityön tarkoituksista on selvittää, miten laitteen käyttö onnistuu sellaisilta henkilöiltä, jotka eivät ole ennen käyttäneet minkäänlaisia mittauslaitteita. Laitteen on kuitenkin tarkoitus olla sellainen, jota pystyisi käyttämään ilman kovin suurta koulutusta asiaan. Insinööriyön tekijä, Harri Kottonen ja Ulf Fransman Geotrim Oy:stä ovat mukana opastamassa mittauksessa.

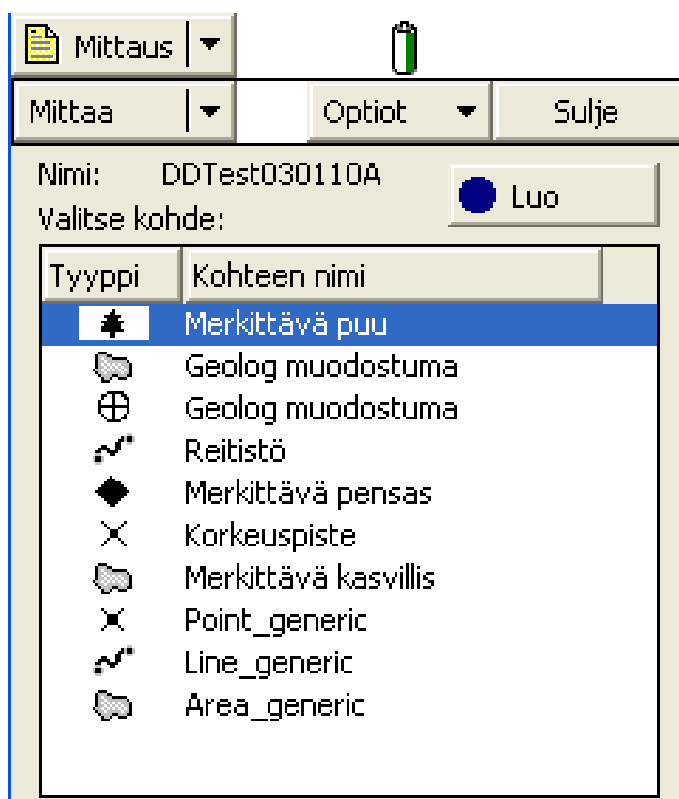
4.2 Työn suoritus

4.2.1 Alkuvalmistelu

Kaupunkisuunnittelun väelle järjestettiin Turussa lyhyt esittely laitteista sekä niiden mahdollisuuksista. Tapaamisessa esiteltiin laitteiden lisäksi ohjelmia sekä aiemmin tehtyjen koemittausten tuloksia. Esittely järjestettiin tulevaa maastopäivää silmällä pitäen, jotta osallistuvat henkilöt pystyisivät paremmin hahmottamaan, millaisiin tarkoituksiin laitetta voisi käyttää. Osallistujilta saatiinkin paljon hyviä ideoita, mitä laitteella voisi mitata tulevana maastopäivänä.

Molemmat laitteet vaativat toimiakseen Internet-yhteyden. Molempiin laitteisiin oli jo valmiiksi Geotrim Oy:n puolesta asennettuna Soneran sim-kortit. Lisäksi GeoExplorer 6000 GeoXH käyttää sijainnin laskennassa VRS-korjausta, jota toimittaa Geotrim Oy. VRS-korjauksen käyttö vaatii myös erillisen sopimuksen. Nämä asiat tulee myös ottaa huomioon laitteen hankintaa pohdittaessa.

Alkuvalmistelut aloitettiin tekemällä keruulistat PathFinder Office –ohjelman avulla. Keruulistaan luotiin kaikki pilottityössä mitattavat kohteet, sekä muutamia ylimääräisiä kohteita, joita saatettaisiin tarvita mittauksia tehdessä. Laitteella mitattavat kohteet tulee siis tuntea melko hyvin jo ennen mittauksia, jotta keruulista voidaan tehdä. Toki laitteella voi mitata myös tavallisen pisteen ja lisätä kommenttiattribuutiksi tiedon kohteen laadusta. Honkamäen puiston kaavaluonnosta varten luotiin keruulista, jossa mitattavia kohteita olivat esimerkiksi merkittävät puut, geologiset muodostumat sekä reitistö. Kuvasta 9 nähdään, miltä keruulista näyttää laitteen näytöllä.



Kuva 9. TerraSyncin keruulista pilottityötä varten.

Keruulistan teon jälkeen tarvittavia taustakarttoja siirrettiin paikkatiedonkeruulaitteisiin PathFinder Officen avulla. Taustakarttojen siirrossa ilmeni ongelmia, koska PathFinder Office ei tue kaikkia uusimpia tiedostojen pakkausformaatteja. Ohjelma tukee tiff-tiedostomuotoa, mutta ei sen kaikkia pakkausmuotoja. Tiff-tiedostot voidaan tallentaa joko pakkaamattomana tai pakattuna. Tiff-tiedostojen pakkausta käytetään, jotta tiedostojen koko pysyisi pienenä. Pitkän yrityksen jälkeen huomasi, että ohjelma ei tue esimerkiksi lainkaan LZW-pakattua tiff-tiedostoa, joka on hyvin yleisesti käytössä. LZW-pakkaus on häviötön pakkausmuoto, jossa kuvainformaatiota ei häviä ollenkaan. Ohjelma tukee käytännössä vain vanhempia tiff-tiedostojen pakkausmuotoja, kuten CCITT Group 3 and 4 –pakkausta sekä Packbits –pakkausta. CCIT Group 3 and 4 –pakkaus on esimerkiksi faksilaitteiden käyttämä pakkausmuoto. Parhaaksi taustakarttojen siirtomuodoksi todettiin pakkaamaton tiff-kuva. Ongelmaksi pakkaamattomien tiff-kuvien kanssa saattaa muodostua kuvien suuri koko. Tässä pilottityössä kuvien koot eivät kasvaneet kovin suuriksi johtuen alueen melko pienestä koosta. (13; 14)

Taustakartat on mahdollista siirtää myös vektoritiedostoina AutoCadin dxf-formaatissa sekä MapInfon mif-formaatissa. Ensimmäinen ongelma, joka tuli vastaan siirrettäessä dxf-tiedostoa laitteelle, oli se, että kyseinen dxf-tiedosto oli luotu liian uudella AutoCa-

din versiolla. PathFinder Office -ohjelma tukee ainoastaan dxf-tiedostoja, jotka on luotu AutoCadin versiolla 14 tai sitä vanhemmalla versiolla. AutoCadin uudemmilla versioilla pystytään myös tallentamaan vanhempaan tiedostomuotoon, jolloin ongelma saatiin ratkaistua. Dxf- ja mif-tiedostot tuodaan ohjelmaan tuontiapuohjelman avulla. Tuonnin yhteydessä ohjelma muuttaa tiedostot .imp-päätteiseksi tiedostoksi, joka on Trimblen oma tiedostomuoto. Tuonnin yhteydessä kuvaustekniikka kuitenkin muuttuu huomattavasti. Esimerkiksi maaperäkartassa, jossa eri maaperälajit erottuvat eri väreillä, alueiden täytöt katosivat kokonaan tuonnin yhteydessä. Maaperäkartaan jäi jäljelle vain alueiden rajaviivat, jolloin siitä ei ollut enää hyötyä. Dxf-tiedostot on mahdollista asettaa myös taustakartaksi PathFinder Office -ohjelmaan, mutta niitä ei ole mahdollista siirtää TerraSynciin taustakartaksi dxf-formaatissa.

Taustakarttoja siirrettäessä on otettava huomioon, että PathFinder Office vaatii niin kutsutun World-tiedoston, joka määrittelee kuvan sijainnin koordinaattijärjestelmässä. World-tiedosto on tavallinen tekstitiedosto, joka sisältää kuusi riviä tekstiä, jotka määrittelevät kuvan sijainnin. World-tiedoston kuudella rivillä on seuraavat tiedot:

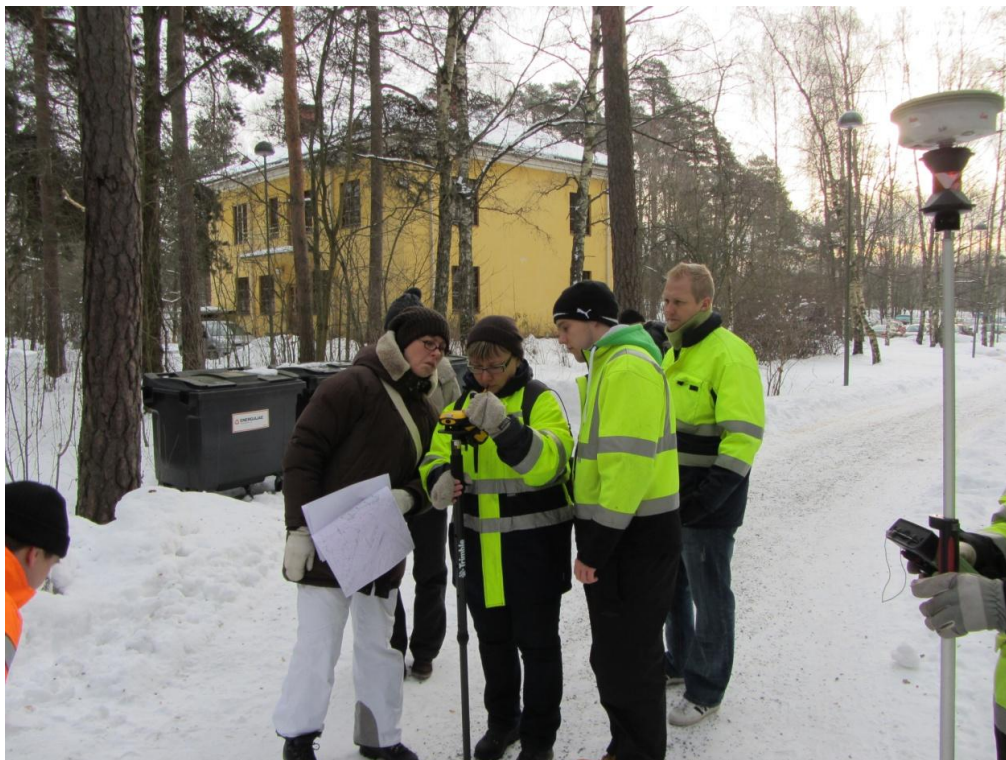
- Pikselikoko x-akseli
- Kiertokerroin 1, joka on yleisimmin nolla
- Kiertokerroin 2, joka on yleisimmin nolla
- Pikselikoko, y-akseli
- Vasemman yläkulman pikselin keskipisteen x-koordinaatti
- Vasemman yläkulman keskipisteen y-koordinaatti.

World-tiedosto tulee olla sijoitettuna samaan kansioon varsinaisen taustatiedoston kanssa, jotta ohjelma löytää sen. Tiff-tiedoston world-tiedosto on useimmiten tfw-muodossa. Tässäkin pilottityössä taustakartan sijainnin määrittämiseen käytettiin tfw-muotoista tiedostoa. Ilmakuva, jota myös käytettiin taustakarttana, oli ecw-tiedostomuodossa, ja sen world-tiedoston muodoksi asetettiin wld-muotoinen tiedosto. World-tiedosto on helppo luoda myös itse, kunhan taustakartan tiedot ovat selvillä. (15)

Tulevaisuuden tavoitteena on saada taustakartat ja -tiedostot toimimaan WMS (Web Map Service)- ja WFS (Web Feature Service) -palvelun välityksellä, jolloin kyseisiltä tiedonsiirtoon liittyviltä ongelmilta vältyttäisiin. WMS-rajapinnan tavoitteena on saada aikaan rasterimuotoinen esitys paikkatiedosta, sellaisissa sovelluksissa, jotka tukevat WMS-standardia. Tällaisia sovelluksia ovat esimerkiksi useimmat paikkatieto-ohjelmat. WFS-palvelun kautta taas jaetaan käyttäjille vektorimuotoista paikkatietoa. Tavoitteena olisi saada Turun kaupungin WMS-palvelussa olevat tausta-aineistot toimimaan laitteessa Internet-yhteyden välityksellä. Tämä helpottaisi laitteen käyttöönottoa huomattavasti. Laitteessa on jo nyt mahdollisuus käyttää tausta-aineistona Logican WMS-palvelun kautta löytyviä tausta-aineistoja, kuten maastokarttaa. Vielä ei ole kuitenkaan mahdollista käyttää Turun kaupungin aineistoja WMS-palvelun kautta, koska Turun WMS-palvelun aineistot ovat sellaisessa formaatissa, jota paikkatiedonkeruulaitteen ohjelmat eivät tue. Myöskään Maanmittauslaitoksen WMS-palvelussa olevia aineistoja ei ole mahdollista käyttää laitteilla, koska Maanmittauslaitoksen palvelu vaatii kirjautumisen ja insinööriyössä testattavat paikkatiedonkeruulaitteet eivät tue sitä. (16; 17)

4.2.2 Maastomittauspäivä

Maastoon lähdettiin suorittamaan suunniteltuja mittauksia 26.2.2013. Ympäristönsuunnittelun yksiköstä lähti mukaan kolme koehenkilöä, jotka pääosin käyttivät laitetta. Lisäksi mukana oli yksi Turun Kiinteistöliikelaitoksen mittausryhmä, joka mittasi alueelle referenssipisteen, johon Trimble GeoExplorer 6000 GeoXH:n tarkkuutta verrattiin. Paikalla oli myös koko ohjausryhmä sekä Ulf Fransman Geotrim Oy:sta opastamassa laitteen käytössä. Kuvasta 10 nähdään, kuinka insinööriyön tekijä opastaa ympäristönsuunnittelun henkilöstöä laitteen käytössä.



Kuva 10. Insinööriyön tekijä opastamassa laitteen käytössä.

Pilottityön ideana oli, että ympäristösuunnittelun henkilöt, jotka eivät ennen ole tällaista laitetta käyttäneet, käyttäisivät laitetta ja kertoisivat kokemuksiaan laitteen käytön sujuvuudesta. Tarkoituksena oli siis selvittää, kuinka helppoa laitteen käyttöönotto on ensikäyttäjälle. Toisena tavoitteena maastopäivälle oli tutkia, miten laite soveltuu erilaisiin tarpeisiin ja riittääkö sen tarkkuus tiettyihin mittauksiin. Maastomittauspäivän aikana tehtiin seuraavanlaisia testimittauksia:

- Rakennuksen nurkan maastoon merkintä, jossa testattiin maastoon merkintää rasteritaustakarttaa apuna käyttäen
- Luontopolun mittaus ja laitteiden vertailu tulosten perusteella
- Muutamien merkittävien puiden mittaus
- Leikkipuistoalueen mittaus sekä pinta-alan laskenta
- Referenssipisteen mittaus, jonka avulla tutkitaan laitteen tarkkuutta.

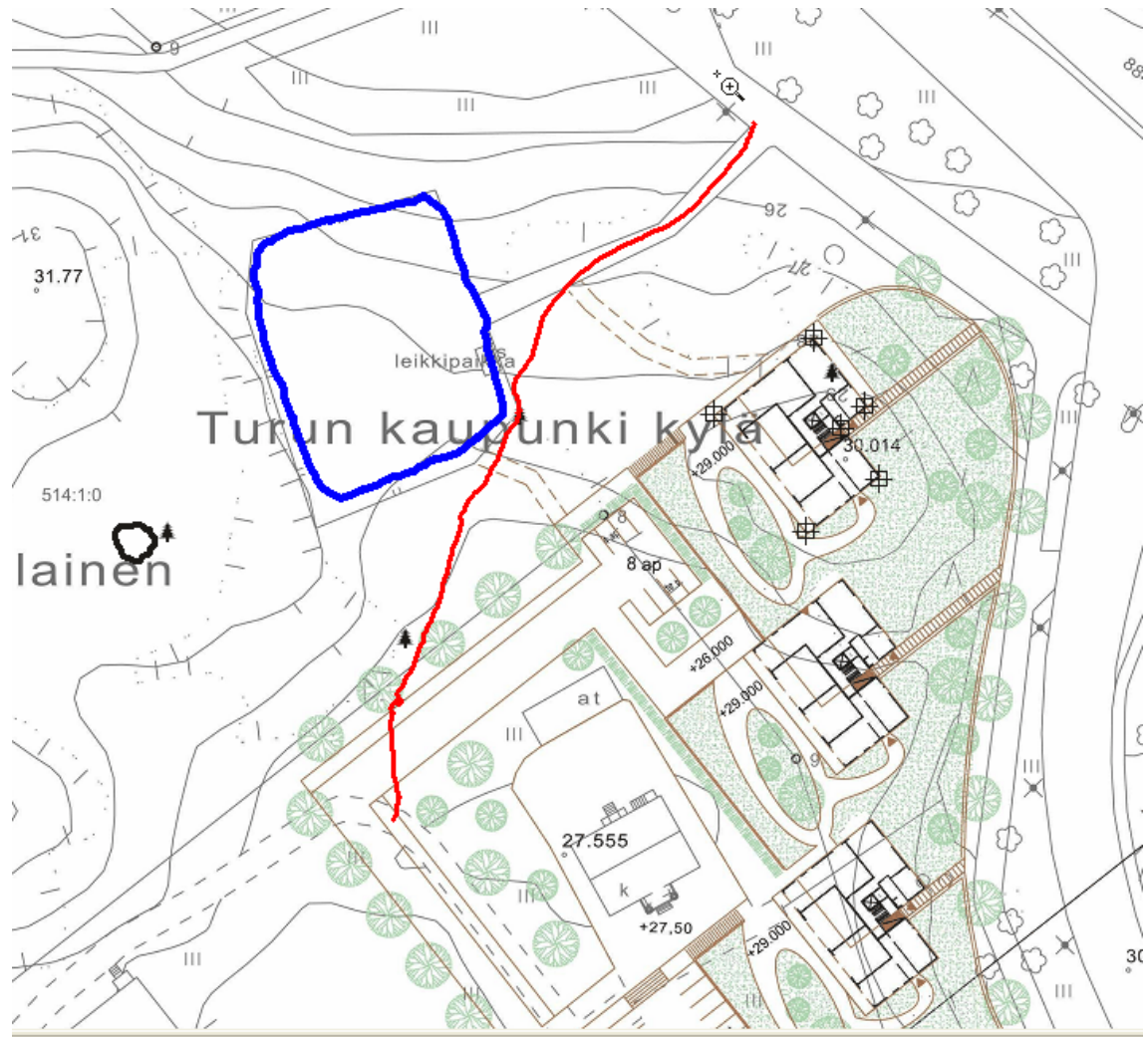
Maastopäivä onnistui kaiken kaikkiaan hyvin, vaikka lunta oli melko paljon. Tämän vuoksi kaikkia toivottuja mittauksia ei saatu tehtyä. Esimerkiksi maaperän tutkiminen maaperäkartan avulla jäi kokonaan tekemättä. Samankaltaisia ominaisuuksia tutkittiin kuitenkin rakennuksen nurkkien maastoon merkinnän avulla, jolloin voidaan olettaa, että myös maaperän tutkiminen onnistuu laitteella vaivatta. Erityisen positiivista oli huomata maastopäivän aiheuttama innostus ympäristösuunnittelun henkilöstössä. Mukana olleet olivat kiinnostuneita käyttämään laitetta ja olivat innokkaita oppimaan, mitä kaikkia eri ominaisuuksia laitteessa on. Ensivaikutelmaksi maastopäivästä jäi, että laitteen käyttöönotto on melko helppoa.

Maastopäivän jälkeen kaikki mitatut aineistot purettiin tietokoneelle, ja niille suoritettiin jälkilaskenta, jossa kaikki kerätty satelliittidata käytettiin hyväksi jälkilasketussa tiedostossa. Mittausten tuloksiin ja jälkilaskennan vaikutuksista mitattuun aineistoon keskitytään enemmän seuraavassa kappaleessa.

4.3 Tulokset

4.3.1 Mittaustulokset

Molemmilla laitteilla mitattiin maastopäivän aikana lähes samat kohteet, ainoastaan leikkipuistoalueen mittaus tehtiin vain tarkemmalla GeoExplorer 6000 GeoXH -laitteella. Mittaustulokset näkyvät kuvasta 11. Keskellä punaisella näkyy mitattu luontopolku ja sen vieressä sinisellä on mitattu leikkipuiston alue. Luontopolun itäpuolella olevat pistekohteet ovat maastoon merkittyjä rakennuksen kulmapisteitä. Länsipuolella taas on mitattu muutama merkittävä puu sekä yksi geologinen muodostuma.



Kuva 11. Tulokset GeoExplorer 6000 GeoXH:lla mitattuna.

Referenssipiste näkyy kuvassa lähes keskellä luontopolun varressa. Piste mitattiin ensin mittaryhmän toimesta Leican gps-laitteella, jonka jälkeen se mitattiin uudelleen GeoExplorer 6000 GeoXH:lla. Tavoitteena oli verrata maastomittaukseen tarkoitetun gps-laitteen tarkkuutta paikkatiedonkeruulaitteen tarkkuuteen. Etenkin laitteiden korkeudenmittauksen tarkkuudesta oltiin kiinnostuneita. Mittauksessa havaittiin, että mitausten välille ei syntynyt suurta eroa: tasokoordinaateissa ero oli noin viisi senttimetriä ja korkeuden osalta noin senttimetri. Vertailussa käytettiin GeoExplorer-laitteen osalta jälkilaskettuja koordinaatteja. Mittauksista ei kuitenkaan voida tehdä suoria johtopäätöksiä mihinkään suuntaan, sillä mittaus tehtiin vain yhden kerran eikä Leican mittauslaitteen mittaama koordinaattikaan ole niin sanotusti oikea. Testimittauksen perusteella voidaan kuitenkin sanoa, että laite on riittävän tarkka useimpiin käyttösovelluksiin.

Pistemäisten kohteiden mittaus onnistui kummallakin laitteella ongelmitta. GeoExplorerin tarkkuus todettiin jo referenssipisteen mittauksissa hyväksi. Juno 5D -laitteen tarkkuus taas todettiin etenkin peitteisissä olosuhteissa melko riittämättömäksi parempaa tarkkuutta vaativien kohteiden mittaamiseen. Kuvasta 12 havaitaan, että GeoExplorerilla merkityt rakennuksen nurkkapisteet sijoittuvat rasterikartalla melko hyvin oikeille paikoilleen, ja mittaustarkkuus todettiin yhteenvetopalaverissa riittäväksi ainakin kaupunkisuunnittelun väen tarpeisiin. GeoExplorerilla mitatut nurkkapisteet näkyvät rasterikartalla lähes oikeilla nurkkapisteiden paikoilla. Juno 5D -laitteen tarkkuus oli odotetusti heikompi ja sen tarkkuus todettiin yhteenvetopalaverissa riittämättömäksi tämän tyyppisiin mittauksiin. Juno 5D -laitteella mitattu nurkkapiste näkyy kartalla punaisena merkkinä rakennuksen sisäpuolella. Mitattujen nurkkapisteiden välinen etäisyys on noin kolme metriä, joka vastaa melko hyvin laitteiden tarkkuudessa olevia eroja. Kuvassa 12 näkyy esimerkki yhdestä nurkkapisteestä, molemmilla laitteilla mitattuna.



Kuva 12. Rakennuksen nurkkapisteet molemmilla laitteilla mitattuna. Sinisellä on merkitty GeoExplorerilla mitattu piste ja punaisella taas Juno 5D:llä mitattu piste. Pisteiden välinen ero on noin kolme metriä.

Leikkipuistoalueen mitattiin käyttäen offset-asetusta, jossa laitteelle annetaan offset-arvo kulkusuunnan mukaan. Tässä mittauksessa käytettiin offsetin arvoa kolme metriä.

Tällä tarkoitetaan sitä, että laite laskee koordinaatit kolme metriä esimerkiksi vasemmalle laitteen oikeasta sijainnista. Offset-mittauksen avulla pyrittiin demonstroimaan tulevia mittauksia, joissa saattaisi olla tarvetta kyseiselle ominaisuudelle. Tällaisia tulevia tarpeita ovat esimerkiksi ojien kartoitukset, suoalueiden kartoitukset sekä muut vastaavat kohteet, joiden luokse on vaikea päästä. Tehdyn mittauksen perusteella voidaan sanoa, että mikäli ojan tai vastaavan kohteen merkinnän tarkkuus ei ole vaativa, tämä mittaustapa on toimiva. Leikkipuistoalue näkyy kuvassa 11 sinisellä viivalla.

Kuvassa 11 keskellä olevaa luontopolkua mittaamalla pyrittiin kokeilemaan, miten laitteiden käyttö onnistuu metsäisessä ja näin ollen peitteisessä maastossa. Pää tarkoituksena oli selvittää, miten heikomman mittaustarkkuuden laite, Juno 5D, toimii tällaisissa olosuhteissa verrattuna GeoExplorer-laitteeseen. Mittauksissa havaittiin, että luontopolun mittauksessa laitteiden välillä oli vain pieniä eroja. Testimittauksien avulla voidaan todeta, että Juno 5D voisi sopia luontopolkujen kartoitukseen, jossa ei vaadita senttimetrin tarkkuutta.

Tuloksille tehtiin PathFinder Officen avulla jälkilaskenta, joka parantaa mittauksien tarkkuutta. Jälkilaskennassa ohjelma käyttää kaiken mittauksen aikana saadun satelliittidatan parantamaan mittausten tarkkuutta ja luotettavuutta. Jälkilaskennan vaikutusta testattiin myös kaupunkiolosuhteissa, jossa korkeat rakennukset aiheuttavat peitteisyyttä. Kuvassa 13 on sinisellä viivalla nähtävissä alkuperäinen mittaus, jolle ei ole suoritettu jälkilaskentaa. Punaisella viivalla taas nähdään jälkilaskettu mittaus. Mittaus tehtiin kulkemalla pitkin vihrein palloin merkittyä reittiä. Kuvasta havaitaan, että vaikeissa olosuhteissa, kuten tien oikealla laidalla, jossa on korkea rakennus vieressä, jälkilaskenta korjaa alkuperäistä mittaustulosta huomattavasti paremmin vastaamaan kuljettua reittiä. Hyvissä olosuhteissa jälkilaskettu ja korjaamaton tiedosto taas kulkevat samaa reittiä, jota pitkin kuljettu reittikin kulkee.



Kuva 13. Jälkilaskennan vaikutus mittauksiin. Punaisella viivalla nähdään jälkilaskettu tiedosto ja sinisellä viivalla korjaamaton tiedosto. Vihrein palloin merkitty viiva kuvastaa kuljettua reittiä.

4.3.2 Käyttäjien kokemukset

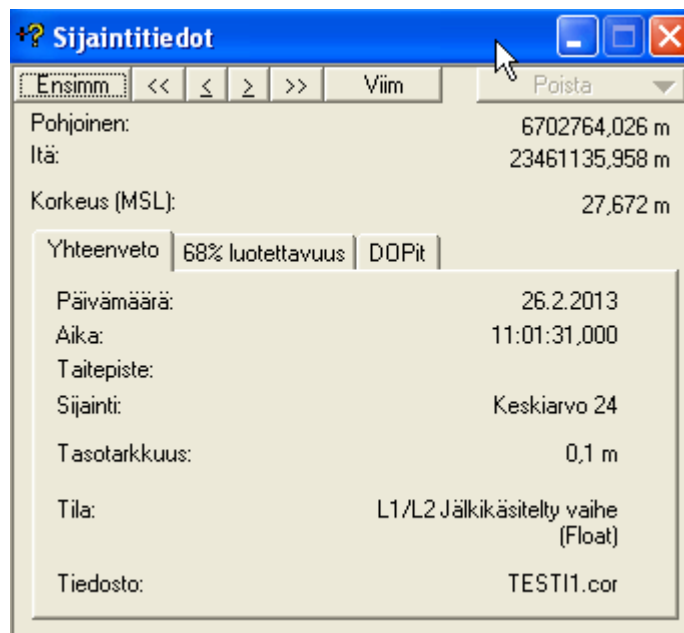
Pilottityöhön osallistuneiden henkilöiden kanssa järjestettiin yhteenvetopalaveri Turussa 5.3.2013. Yhteenvetopalaverin aiheena oli mittaustulosten tutkiminen sekä keskustelu käyttäjien kokemuksista. Palaverin päätavoitteena oli selvittää laitteiden käytön ja käyttöönoton helppous käyttäjien näkökulmasta sekä tulosten tarkkuuden riittävyys erilaisiin ja erilaista tarkkuutta vaativiin mittauksiin.

Käyttäjien kokemusten mukaan laitteiden käyttö ja niillä mittaaminen oli helppoa pienen totuttelun ja opiskelun jälkeen. Käyttäjät pitivät käyttöliittymää yksinkertaisena. Taustakarttojen vaihtoa ja mittaustilan selkeyttä kehuttiin. Laitteita käyttäneet henkilöt eivät olleet ennen käyttäneet vastaavanlaisia laitteita, joten heiltä saatiin arvokkaita kommentteja ajatellen laitteiden tulevaa käyttöä. Käyttäjien mukaan ainakin kaupunkisuun-

nittelun henkilöstöllä olisi suurta tarvetta kyseisen kaltaiselle laitteelle. Heidän mukaansa siitä olisi apua erilaisissa maastokäyntiä vaativissa suunnittelutöissä.

Tausta-aineistot sekä mittauksessa tarvittavat keruulistat oli siirretty molempiin laitteisiin jo valmiiksi maastopäivää varten, joten käyttäjien ei tarvinnut niitä itse alkaa siirtämään. Yhteenvetopalaverissa järjestetyssä pienessä esittelyssä, jossa esiteltiin tausta-aineistojen siirtoa ja keruulistojen luontia, nämä kaksi asiaa koettiin melko haastaviksi. Tulevaisuudessa, mikäli kyseinen laite Kiinteistöliikelaitokselle hankitaan, olisi hyvä olla työhöjeet näiden asioiden tekemistä varten.

Käyttäjien huolen herätti muutama asia. Ensimmäinen huolenaihe oli tarkkuuden jäljitettävyyys. Tällä tarkoitettiin sitä, jääkö mittauksiin minkäänlaista tietoa yhden kohteen arvioidusta tarkkuudesta, koska mittauksista ei olisi juuri mitään hyötyä, jos kaikkien kohteiden arvioitu tarkkuus olisi noin kaksi metriä. Jokaiselle pisteelle jää kuitenkin attribuuttitietoihin arvioitu tarkkuus, jolloin mittaukseen voidaan luottaa paremmin. Kuvasta 14 nähdään esimerkiksi rakennuksen nurkkapisteen arvioitu tarkkuus. Toinen asia, joka herätti kysymyksiä palaverissa, oli kuvien liittäminen pisteen attribuuttitietoihin. Kuvan liittäminen tietyn pisteen attribuuttitietoihin onnistuu tekemällä keruulistan attribuuttilistaan kohdan ”tiedosto”, jolloin paikalla otettu kuva linkittyy suoraan pisteen ominaisuuksiin.



Kuva 14. Tasotarkkuus kohteen attribuuttitiedoissa

Laitteiden paremmuudesta ja tarpeesta oltiin melko yksimielisiä. Juno 5D-laitetta pidettiin liian epätarkkana ympäristösuunnittelun tarpeisiin, kun taas GeoExplorer sai kehuja tarkkuudestaan. Palaverissa todettiin, että Juno 5D sopisi luontopolkujen mittaamiseen ja muiden pienempää mittaustarkkuutta vaativien kohteiden kartoittamiseen. GeoExplorer-laitteesta oltiin innoissaan ja sille keksittiin monia erilaisia käyttösovelluksia.

4.3.3 Mahdolliset käyttökohteet

Mahdollisia käyttökohteita saatiin paljon etenkin ympäristötoimialalta. Käyttökohteiden määrästä ja pilottityöhön osallistuneiden käyttäjien innokkuudesta päätellen laitteelle olisi paljon tarvetta. Käyttökohteita saatiin Katariina Hilkeen lähettämien kyselyiden mukana myös esimerkiksi museopalveluilta sekä liikuntapalveluilta. Museopalveluilla olisi tarvetta päivittää tärkeiden muistomerkkien sijainteja. Museopalveluiden tarve oli yksi varteenotettava ehdotus insinööriyön pilottityöksi, mutta lumen määrä haittasi sen toteuttamista. Liikuntapalveluiden tarve taas olisi kartoittaa ulkoilureittejä ja niiden esteellisyttä esimerkiksi vanhuksia ajatellen. Lisäksi voitaisiin kartoittaa levähdyspaikat ja muut reitin varrella olevat kiinnostavat kohteet. Alla olevasta listasta nähdään poimintoja siitä, millaisia tarpeita ympäristötoimialan henkilöstöllä olisi kyseiselle laitteelle.

- Maisemakuva
 - Maisematilojen rajaukset
 - Voimalinjat ja liikenneväylät
 - Arvoalueet ja maamerkit

- Luonnonsuojelu
 - Suojeltavien kohteiden rajaukset
 - Ekologiset käytävät

- Hulevesien hallinnan kannalta merkittävät kohteet
 - Hulevesien hallinnan ongelmakohdat

- Asemakaavoitettavan alueen yksityiskohtaiset luontotiedot
 - Säilytettävä kasvillisuus, puut sekä geologiset muodostumat

- Yleis- ja asemakaavan aluerajaukset
 - Aluevarausten rajat
 - Katulinjat.

Listassa on vain osa ilmenneistä tarpeista. Tarpeita tulee varmasti lisää, kunhan laitteen mahdollisuudet saadaan paremmin eri yksiköiden tietoon esimerkiksi insinööryön esittelyn avulla. Nyt on jo kuitenkin havaittavissa, että Turun Kiinteistöliikelaitoksella olisi tarvetta tällaiselle laitteelle.

5 Yhteenveto

Molemmat laitteet, GeoExplorer 6000 GeoXH sekä Juno 5D, havaittiin pilottityötä tehdessä esitteissä ja haastattelussa kerrotun kaltaisiksi. Molemmat laitteet olivat suorituskvyyltään maahantuojan arvioiden mukaiset. Laitteet toimivat maastomittauspäivän aikana moitteettomasti. Käyttäjien kommenttien perusteella laitteita oli helppo käyttää maastossa. Kaupunkisuunnittelun yksikössä työskentelevät käyttäjät olivat lisäksi sitä mieltä, että paikkatiedonkeruulaitteesta olisi hyötyä tulevia työtehtäviä ajatellen. Käyttäjät kiinnostuivat enemmän paremman mittaustarkeyden laitteesta GeoExplorer 6000 Geo XH. Myös GeoExploreriin kiinnitettävä säädettävä sauva on hyödyllinen tarkempia mittauksia tehdessä. GeoExplorer-laitteen mittaustarkeyteen oltiin tyytyväisiä. Juno 5D -laitteesta oltiin taas sitä mieltä, että sen tarkkuus ei riitä kaupunkisuunnittelun henkilöstön tarpeisiin. Juno 5D:n tarkkuus todettiin riittäväksi luontopolkujen tai vastaavien reittien mittaamiseen, mutta ei esimerkiksi rakennusten nurkkapisteiden maastoon merkintään. Mahdollista hankintaa ajatellen kannattaa siis keskittyä GeoExplorer-laitteeseen tai muuhun vastaavaan laitteeseen. Museopalveluiden sekä liikuntapalveluiden työntekijöille olisi myös hyötyä tarkemmasta laitteesta.

Mikäli paikkatiedonkeruulaite Kiinteistöliikelaitokselle hankitaan, tulee miettiä etukäteen, mikä yksikkö tekee kaikki ennakkovalmistelut mittauspäiviä varten. Paikkatiedonkeruulaite ei toimi ainoastaan niin, että se vain otetaan mukaan ja lähdetään mittaamaan. Ennakkovalmisteluina siihen on tällä hetkellä siirrettävä tausta-aineistot sekä luotava keruulistat. Keruulistojen luonti on toki kertaluonteinen, eli samaa keruulistaa voi käyttää aina samantyyppisissä mittauksissa. Aina, kun erilaisia mittauksia tehdään, keruulista tulee päivittää. Keruulistojen tekeminen ei ole kovin vaikeaa, mutta sen opettaminen jokaiselle käyttäjälle erikseen voi olla haastavaa. Taustakarttojen siirrossa

ilmeni ongelmia jo pilottityön alkuvalmisteluja tehdessä, ja niitä saattaa tulla lisää käyttömäärän kasvaessa. Mikäli tulevaisuudessa on mahdollista käyttää Turun WMS-palvelun kautta taustakarttoja, tältä ongelmalta vältytään. WMS-palvelun toimintaan saaminenkaan ei poista koko ongelmaa, sillä esimerkiksi kaupunkisuunnittelun henkilöstön kaavaluonnokset eivät löydy Turun WMS-palvelusta. Suunnitelmakuvat tulisi siis edelleen siirtää PathFinder Officen kautta paikkatiedonkeruulaitteeseen. Lisäksi taustakartan siirtäjän tulisi ymmärtää melko paljon koordinaattijärjestelmistä sekä tiedostoformaateista. Tämän vuoksi tulee päättää yksikkö, joka vastaa taustakarttojen siirrosta ja keruulistojen luonnista. Tällöin käyttäjillä olisi pienempi kynnyksen käyttöönnottoon.

Aineistoa voidaan siirtää eteenpäin PathFinder Office-ohjelmasta esimerkiksi MapInfoon tai AutoCadiin. Tätä tiedonsiirtoa ei kuitenkaan insinöörityön rajallisuuden vuoksi ehditty juuri testaamaan. Insinöörityössä testattiin vain, että tiedonsiirto MapInfon mif-tiedostoformaattiin onnistuu. Tämänkin tiedonsiirron tekeminen ja tutkiminen vaatisi jonkinlaista tukea ja pidempää perehtymistä asiaan.

Laitteen hankintaa Kiinteistöliikelaitokselle tukee säästöt kustannuksissa. Laitteen hankintakustannus on kertaluontoinen, ellei oteta huomioon sen käyttämisen Internet-yhteyden sekä VRS-sopimuksen aiheuttamia kustannuksia. Laitteesta aiheutuvat säästöt muodostuvat siitä, että aina ei tarvitse kutsua mittaryhmää paikalle, kun tarvitaan sijaintitietoa. Laitteen avulla käyttäjät voivat itse kerätä tarvitsemansa tiedot. Esimerkkinä säästöistä Turun Kiinteistöliikelaitoksella yhden mittaryhmän päivämittauksen kustannukset ovat noin 500 euroa/päivä. Laite maksaa siis itsensä melko nopeasti takaisin.

Laitteen hankinnassa tulee ottaa huomioon myös paikkatiedonkeruussa ja paikkatiedon käsittelyssä tarvittavat ohjelmistot. Molemmat ohjelmat, GPS PathFinder Office sekä TerraSync, ovat Trimblen kehittämiä paikkatieto-ohjelmia, jotka eivät myöskään ole ilmaisia. TerraSync-ohjelma on valmiiksi asennettu paikkatiedonkeruulaitteeseen, mutta tietokoneelle asennettava PathFinder Office on asennettava it-henkilöstön avustuksella jokaiseen tietokoneeseen erikseen. Tämä johtuu Kiinteistöliikelaitoksen rajoitetuista Windowsin käyttöoikeuksista. Insinöörityötä varten PathFinder Office -ohjelma oli asennettu valmiiksi yhteen tietokoneeseen, mikä helpotti työn aloittamista. Insinöörityössä käytössä olleessa tietokoneessa oli Windows XP –käyttäjärjestelmä, jolloin tie-

donsiirto paikkatiedonkeruulaitteesta vaatii ActiceSync-ohjelman. Uudemmassa Windows 7 -käyttöjärjestelmässä ActiveSync-ohjelmaa ei enää tarvita.

Kiinnostusta paikkatiedonkeruulaitteen hankinnalle on ollut melko paljon etenkin kaupunkisuunnittelun yksikössä. Hankinnan yhteydessä tulee kuitenkin miettiä, kuinka paljon laitteelle todellisuudessa on käyttöä. Kesäaikana laitteelle todennäköisesti löytyy paljon käyttäjiä, koska silloin mitattavat kohteet ovat paremmin esillä ja mittaaminen on luonnollisesti mukavampaa. Laitteen tarpeesta talviaikana kannattaakin keskustella enemmän, sillä jo pilottityökohdetta etsiessämme huomasimme, että kaikkia kohteita ei voitu mitata lumen vuoksi.

Hankinnasta tekee ongelmallista myös se, että vielä ei ole tiedossa, mille organisaatiolle laitteen hankinta kuuluu. Paikkatiedonkeruulaitteen hankkiminen on kuitenkin melko suuri yksittäinen hankinta, ja tulee tarkasti miettiä, mille osastolle hankinta kuuluu. Ennen hankintaa tulee siis vielä päättää, mikä yksikkö alkaa järjestellä hankintaa.

Insinööriytyö on esiselvitys laitteen käyttöönotolle, ja sen perusteella laitteelle olisi käyttöä Turun Kiinteistöliikelaitoksella. Hankinnassa tulee ottaa huomioon ja selvittää muuttamat ongelmakohdat sekä miettiä mahdollista tukihenkilöä. Mikäli laitteelle ei saada tarvittavaa tukihenkilöä, tarvittaisiin ainakin jonkinlainen työskentelyohje käytön avuksi. Yksi vaihtoehto laitteen käyttöönotolle voisi olla jonkinlainen jatkokäyttösopimus Geotrim Oy:n kanssa insinööriytyön jatkoksi. Tällöin saataisiin kesän aikana kokeiltua laitetta huomattavasti enemmän ja hahmotettua paremmin, onko laitteelle käyttöä esimerkiksi talviaikana. Insinööriytyö on kuitenkin vain alustava tutkimus laitteen erilaisista mahdollisuuksista ja tarpeesta. Mikäli laite Kiinteistöliikelaitokselle hankittaisiin, käyttäjiltä saataisiin varmasti lisää arvokasta tietoa laitteen käytön ongelmista.

Lähteet

1. Poutanen, Markku. 2011. Satelliittipaikannus. Geodeettinen laitos.
2. Laurila, Pasi. 2008. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen ammattikorkeakoulu.
3. Official U.S. Government information about the Global Positioning System and related topics. Verkkodokumentti. 12.2.2013. Luettu 16.2.2013.
<<http://www.gps.gov/systems/gps/space/#generations>>
4. Federal Space Agency. Information-Analytical Center. Luettu 5.2.2013.
<<http://www.glonass-center.ru/en/GLONASS/>>
5. European GNSS Agency. About Egnos. Luettu 16.2.2013. <<http://www.egnos-portal.eu/discover-egnos/about-egnos>>
6. Mäenpää, Sakari. Tuotepäällikkö, Geotrim Oy, Vantaa. Haastattelu 28.1.2013
7. Trimble GeoExplorer 6000 Series, Tekniset tiedot. Trimble Oy. 2012. Verkkodokumentti. Luettu 30.1.2013.
<http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-605397/022501-285A-FIN_Geo%20Series%206000_DS_0212_MGIS_HR_nc.pdf>
8. H-Star Technology. Trimble Oy. 2011. Verkkodokumentti. Luettu 30.1.2013.
<http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-415145/022501-148E_H-Star_DS_1011_MGIS_HR_nc.pdf>
9. Trimble Floodlight Technology. Trimble Oy. 2011. Verkkodokumentti. Luettu 31.1.2013. <http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-528912/022501-264A_Floodlight%20Technology%20Brief_DS_0411_MGIS_LR.pdf>
10. Trimble Juno 5 Series, tekniset tiedot. Trimble Oy. 2012. Verkkodokumentti. Luettu 31.1.2013. <http://www.geotrim.fi/wp-content/uploads/2012/10/Juno_5_Series-tekniset-tiedot-suomi.pdf>
11. GPS PathFinder Office Software. Trimble Oy. Verkkodokumentti. Luettu 1.2.2013.
<http://www.trimble.com/mappingGIS/PathfinderOffice.aspx?dtID=key_benefits>
12. TerraSync Software. Trimble Oy. Verkkodokumentti. Luettu 1.2.2013.
<<http://www.trimble.com/mappingGIS/TerraSync.aspx?dtID=applications&>>

13. Koivistoinen Juha. Digitaalinen kuvankäsittely. Verkkodokumentti.
<<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojaksot/0303010/1141990090210/1145963193823/1145963567458/1145964399894.html>>. Luettu 26.3.2013.
14. Compressing and decompressing Tiff-images. Verkkodokumentti.
<www.verypdf.com/pdf2tif/compression.html>. Luettu 10.3.2013
15. Rahkonen, Jukka. ESRI World file eli TFW-tiedosto. 2012. Verkkodokumentti.
Luettu 17.2.2013. <http://latuviitta.org/documents/ESRI_World_file_eli_TFW-tiedosto.pdf >
16. JHS180, Liite 1 Karttakuvapalvelu. Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta. 2013. Verkkodokumentti. Luettu 18.3.2013. <http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS180_liite1/JHS180_liite1.pdf>
17. Rajapintapalvelut. Maanmittauslaitos. Verkkodokumentti. Luettu 18.3.2013.
<<http://www.maanmittauslaitos.fi/aineistot-palvelut/rajapintapalvelu>>

