

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tietotekniikan koulutusohjelma
Sulautetut järjestelmät

Opinnäytetyö

Jukka Torkkel

TRIMBLE GPS PATHFINDER PROXH -VASTAANOTTIMEN PAIKANNUSTARKKUUS

Työn valvoja: Kai Poutanen

Tekijä:	Jukka Torkkel
Työn nimi:	Trimble GPS Pathfinder ProXH -vastaanottimen paikannustarkkuus
Päivämäärä:	22.4.2009
Sivumäärä:	22 sivua + 1 liitesivu
Hakusanat:	Trimble, GPS
Koulutusohjelma:	Tietotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto:	Tietokonetekniikka
Työn valvoja:	Kai Poutanen
<p>Tämän opinnäytetyössä tavoitteena on selvittää Trimble-yhtiön valmistaman GPS Pathfinder ProXH -vastaanottimen tarkkuus. Tutkimuksessa käytettiin Trimblen laitteista Ranger-kämmenmikroa sekä GPS Pathfinder ProXH -vastaanotinta. Ohjelmistoja käytössä oli TerraSync sekä GPS Pathfinder Office. Työ tehtiin AinaCom Oy:n laitteilla, jotka otettiin käyttöön syksyllä 2006. Laitteet ovat olleet markkinoilla varsin lyhyen ajan. Tästä syystä tutkittiin, kuinka tarkka laite todellisuudessa on valmistajan luvatussa laitteelle jopa 30 cm tarkkuuden.</p> <p>Mittaukset tehtiin keväällä 2007 Hämeenlinnassa Ahveniston moottoriradan tunnetulla pisteellä, joka on Hämeenlinnan kaupungin toimesta mitattu vuonna 1988, mistä paikalla on merkinä laatta. Työssä tehtiin kuusi mittausta, joissa käytettiin GPSnet.fi-tukiasemaverkkoa. Tukiasemaverkon avulla saadaan tarkin tulos jo maasto-olosuhteissa. Mittauksia tehtiin myös ilman tukiasemaverkon avustusta, jolloin saatiin vertailukohta tarkemmalle mittaukselle. Työssä tutkittiin myös vaihelukituksen merkitystä mittaamiselle.</p>	

Author:	Jukka Torkkel
Name of the Thesis:	Trimble GPS Pathfinder ProXH receiver positioning accuracy
Date:	22.4.2009
Number of pages:	22 pages + 1 appendices
Keywords:	Trimble, GPS
Degree program:	Computer Systems Engineering
Specialisation:	Embedded Systems
Supervisor:	Senior Lecturer Kai Poutanen
<p>The engineering work is to identify the accuracy of Trimble GPS Pathfinder ProXH -receiver. In this work were used the facilities of Trimble Ranger handheld computers and GPS Pathfinder ProXH –receiver. The used software was TerraSync and GPS Pathfinder Office. The work was done with AinaCom Ltd's equipment which was launched in autumn 2006. The equipment has been on markets relatively short time. The manufacturer promises up to 30 cm accuracy for device. That is why the actual accuracy were examined.</p> <p>Work measurements were made in spring 2007 in Hämeenlinna at Ahvenisto's motor track. There is a point, which is measured and marked by the city of Hämeenlinna in 1988. The work was done by six measurements in which GPSnet.fi base station network were used. The base station network gives the most accurate result on the field. Measurements were also made without the base station network which was the reference point for further measurements. The work also examined the importance of the phase lock for measurements.</p>	

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on aloitettu huhtikuussa 2007 tarkkuusmittauksilla, milloin olin AinaCom Oy:n palkkalistoilla dokumentoijana ja kartoittajana. Insinööriyön aiheen sain päähäni mitatessani puhelin- ja kaapeli-tv-verkkojen reittejä, joita AinaCom Oy rakensi. Mittausten aikana mietin kuinka tarkka kyseinen laite todellisuudessa on. Mietin Pasi Vesalan kanssa aihetta ja työn järkevintä aloitustapaa. Häneltä sain myös materiaalin työhöni.

Hattula 22. huhtikuuta 2009

Jukka Torkkel

LYHENNELUETTELO

GPS	Global Positioning System, Satelliittipaikannusjärjestelmä
WLAN	Wireless Local Area Network, langaton lähiverkko
CF	CompactFlash, muistikortti
GSM	Global System for Mobile Communications, matkapuhelinjärjestelmä
GPRS	General Packet Radio Service, liikkuva datapalvelu
SD	Secure Digital, muistikortti
PDA	Personal Digital Assistant, kämmentietokone
PPA	Predicted Postprocessed Accuracy, ennustettu jälkikäsitteilyn tarkkuus
RMS	root mean square, neliöllinen keskiarvo
RHCP	Right-hand circular polarized, oikeakätisesti ympyräpolarisoitu
LHCP	Left-hand circular polarized, vasenkätisesti ympyräpolarisoitu

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT.....	iii
LYHENNELUETTELO	iv
SISÄLLYSLUETTELO.....	v
1 JOHDANTO.....	1
2 TRIMBLE RANGER.....	2
4 TRIMBLE GPS PATHFINDER PROXH.....	4
5 H-STAR-TEKNOLOGIA	5
5.1 Ennustettu jälkilaskentatarkkuus.....	5
5.2 Jälkilaskenta.....	8
6 TUKIASEMAN VALINTA	9
7 TERRASYNC	11
8 KOORDINAATTIJÄRISTELMÄ.....	12
9 TARKKUUDEN MITTAAMINEN	13
9.1 Paikannustarkkuuden mittaaminen	13
9.2 Paikannustarkkuus ilman GPSnet.fi-tukiasemaa	15
9.3 Päätelmät tarkkuudesta.....	16
9.4 Vaihelukituksen menettäminen.....	18
9.5 Mittauksen aikainen keskihajonta	19
10 YHTEENVETO.....	20
LÄHTEET	22

1 JOHDANTO

GPS-tekniikka yleistyy päivä päivältä. Satelliittipaikannuslaitteita löytyy nykypäivänä keneltä tahansa autonavigaattoreina, kuin myös kämmenlaitteina, esimerkiksi multimediamatkapuhelimissa on navigaattori sisäänrakennettuna. Yrityspuolella laitteet ovat huomattavasti tarkempia kuin kuluttajille tarkoitetut laitteet. Nämä yrityskäyttöön tarkoitetut laitteet mittaavat desimetritarkkuudella kohteita maastossa GPS-satelliittien ja maanpäälle sijoitettujen Internet-pohjaisten tukiasemien avulla.

Tässä työssä perehdytään desimetrimittamiseen GPS-laitteilla, joita käytetään useimmiten maanmittaukseen tai kartoittamiseen. Tutkimuksessa käytetyt laitteet olivat Trimblen valmistamia: sisäänrakennetulla antennilla varustettu GPS-vastaanotin, kämmenmikro ja ohjelmisto. Käytetyt laitteet ovat AinaCom Oy:n mittalaitteita, joita käytetään puhelin- ja kaapeli-tv-verkkojen kartoittamiseen. Kyseessä olevat laitteet ovat olleet käytössä AinaCom Oy:llä vuoden 2006 syksystä.

Tutkittavana kohteena oli Trimblen GPS Pathfinder ProXH -vastaanotin, jonka epätarkkuudeksi luvataan alle 30 cm. Tässä työssä selvitetään erilaisilla mittauksilla, mikä on vastaanottimen todellinen tarkkuus. Lisäksi työssä käytettiin Trimblen mobiilikäyttöön tarkoitettua Ranger-kämmenmikroa ja Terrasync ohjelmistoa, joilla mitataan kohteet maastossa, sekä pc-pohjainen GPS Pathfinder Office, jolla jälkikäsitellään mittaukset toimistossa.

Trimble on kehittyneiden sijaintiin perustuvien mittalaitteiden valmistaja. Sen laitteilla voidaan optimoida tuottavuus ja parantaa kannattavuutta. Yhtiö on keskittänyt paikannustekniikan asiantuntemuksensa GPS-, laser-, optisia- ja inertia tekniikan kehittämiseen, sovellusohjelmistoihin sekä langattomaan viestintään. Näiden avulla Trimble kehittää ja tarjoaa täysin kaupallisia ratkaisuja. Trimble palvelee eri teollisuudenaloja, kuten maataloutta sekä suunnittelu- ja rakennustoimintaa, kuljetusta ja langatonta viestintää. Trimble-yhtiöllä on yli 850 patenttia hallussaan, minkä ansiosta Trimble on johtavassa asemassa

paikannustekniikassa. Trimblen on perustanut Charlie Trimble ja kaksi muuta Hewlett-Packardin entistä työntekijää vuonna 1978. Trimblellä on konttoreita maailmanlaajuisesti yli 18 maassa. Yrityksen tulos vuonna 2008 oli 1,3 miljoonaa Amerikan dollaria. /1; 2/

2 TRIMBLE RANGER /3/

Trimble Ranger on kämmenmikro, joka on suunniteltu kovaan käyttöön ja vaativiin olosuhteisiin. Sisäisen langattoman verkkoyhteyden ansiosta kämmenmikrolla pääsee käsiksi yrityksen tietojärjestelmiin. Alfanumeerisella näppäimistöllä syötetään mittauksessa tarvittavat tiedot laitteelle.

Trimble Ranger -känmenmikrossa on useita vaihtoehtoja langattomaan tiedonsiirtoon. Sisäänrakennetun Bluetooth-tiedonsiirron ansiosta kämmenmikroon voi liittää langattomasti muita Bluetooth-laitteita mukaan lukien Trimble GPS Pathfinder Pro -sarjan vastaanottimen.

Sisäänrakennetun langattoman WLAN-verkkoyhteyden ansiosta Trimble Ranger -känmenmikron saa liitettyä lähiverkkoon ja tämän avulla tiedonsiirto on helppoa ja vaivatonta. Näiden sisäänrakennettujen tiedonsiirtovaihtoehtojen lisäksi laitteeseen voi kahden CF-paikan ansiosta lisätä vaikka GSM- tai GPRS-tiedonsiirron.

Trimble Ranger -känmenmikrossa käytetään Pocket PC -laitteista tuttua Microsoft Windows Mobile 2003 -ohjelmistoa, jolloin vaihtoehtoisten sovellusten lukumäärä on lähes rajaton. Vakiona toimitettavien Microsoftin sovellusten (kuten Pocket Word ja Pocket Excel) ansiosta pääsee helposti käsiksi haluamiinsa tietoihin ja dokumentteihin.

Trimble Ranger -känmenmikrolla voidaan viedä maastoon numeerisessa muodossa olevia suunnitelmia, karttoja ja piirroksia, jotka näkyvät ulkokäyttöön soveltuvalla värinäytöllä. Trimble Rangerissa on runsaasti sisäistä muistia, jota voi tarvittaessa kasvattaa CF- ja SD-paikkojen avulla.

Trimble Ranger on paljon vankkarakenteisempi kuin kannettavat tietokoneet tai PDA-laitteet. Se on suojattu pölyltä, tärinältä ja vedeltä, joten sillä voi työskennellä sääolosuhteista välittämättä.

Trimble Rangerin käyttöjärjestelmänä on Microsoft Windows Mobile 2003 Second Edition. Kyseistä käyttöjärjestelmää käytetään Pocket PC -laitteissa. Trimble Rangerissa on prosessorina 516 MHz:n Intel XScale. Kämmenmikrossa on 512 MB:n Flash-muisti. Kämmenmikrossa on käytettävissä Bluetooth langatonta tiedonsiirtoa varten sekä WLAN langatonta verkkoyhteyttä varten. CF-paikkoja on kaksi muistinlaajennusta tai lisälaitetta varten ja yksi SD-paikka muistinlaajennukselle.



Kuva 1 Trimble Ranger kämmentietokone

4 TRIMBLE GPS PATHFINDER PROXH /4/

Trimble Ranger kämmentietokoneen parina Trimble GPS Pathfinder ProXH GPS - vastaanotin on toimiva pari. GPS Pathfinder ProXH koostuu vastaanottimesta ja sisäänrakennetusta GPS-antennista. Vastaanottimeen sisältyy myös akku, jolla voi työskennellä koko päivän. ProXH:lla voi mitata parhaimmillaan alle 30 cm:n tarkkuuteen Trimblen kehittämän H-Star-teknologian avulla. H-Star on teknologia, jossa yhdistyy GPS-laitetekniikka ja jälkilaskentaohjelmisto. ProXH -vastaanotin on suunniteltu ankariin olosuhteisiin. Sen kotelo suojaa vastaanotinta pölyltä ja sateelta (kotelointiluokka IP 54) ja se kestää noin metrin pudotuksen. ProXH-vastaanotin soveltuu myös hyvin Suomen olosuhteisiin laajan toimintalämpötila-alueen ansiosta (-20 °C - +60 °C). Pienen kokonsa puolesta ProXH on kätevä pitää mukana. ProXH-vastaanottimen mitat ovat 16,6 cm x 4,0 cm x 14,6 cm ja se painaa 0,53 kg.



Kuva 2 Trimble GPS Pathfinder ProXH - vastaanotin

ProXH GPS -vastaanotin on langaton Bluetooth-yhteyden ansiosta. ProXH GPS - vastaanotin on helppo liittää pariaksi maastotietokoneeseen kaapeleita. Bluetooth-yhteyden ansiosta ei ole helposti rikkoutuvia ja toisiinsa sekoittuneita kaapeleita. Bluetooth-yhteys helpottaa vastaanottimen liikuttamista maastossa. ProXH-vastaanottimeen on saatavana kartoitustanko, jonka kanssa on helppo mitata kohteita epätasaisessa maastossa.

5 H-STAR-TEKNOLOGIA

H-star-teknologia on kehitetty parantamaan GPS-vastaanottimen tarkkuutta kenttäolosuhteissa, joissa H-Star-dataa kerätään käyttäen Trimblen ohjelmistoja, jotka on suunniteltu varta vasten tarkan paikkatiedon keräämiseen. Tämä ohjelmisto (Predicted Postprocessed Accuracy (PPA) ennustettu jälkikäsitteilyn tarkkuus) näyttää jo mittauspaikalla ennustetun tarkkuuden, mikä jälkilaskennalla saavutetaan, kun H-Star-data on toimistossa käsitelty. H-Star-käsittelyllä on mahdollisuus saada 30 cm tarkkuus vähintään 2 minuutin yhtäjaksoisella mittaamisella. H-Star alkaa kerätä paikkatietoja heti, kun on saanut vaihelukituksen satelliitteihin. /5, s. 3/

Monitieheijastuma aiheuttaa GPS-vastaanottimelle virhettä, koska heijastunut signaali kulkee pitemmän matkan kuin suoraan vastaanottimelle tuleva signaali. Monitieheijastuma syntyy silloin, kun GPS-signaali heijastuu jonkin kohteen esimerkiksi puun tai talon seinän kautta, ennen kuin saavuttaa vastaanottimen. GPS-signaalin lähete on oikeakätisesti ympyräpolarisoitu (RHCP), heijastunut signaali on vasenkätisesti ympyräpolarisoitu (LHCP). ProXH-vastaanotin on rakennettu siten, että se käyttää sisäistä maapistettä heijastuman poistoon (EVEREST). Vastaanotin kykenee vaimentamaan vasenkätisesti ympyräpolarisoidun signaalin, jolloin mittausvirhe pienenee. Lisävarusteena saatava Zephyr-antenni toimii samantapaisella toimintaperiaatteella kuin ProXH-vastaanotin saavuttaakseen paremman tarkkuuden mittauksissa. /5, s. 3/

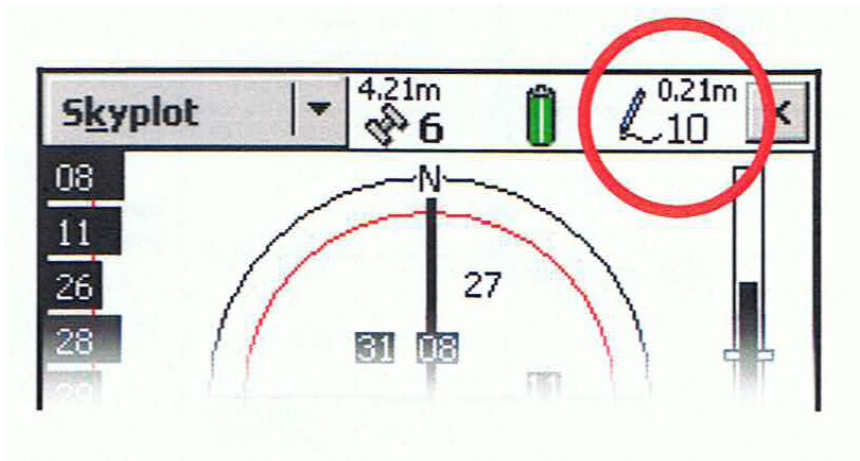
5.1 Ennustettu jälkilaskentatarkkuus /5, s.4 - 5/

Ennuste jälkilaskentaohjelmistolla saatavasta paikannusvirheen suuruusluokasta (PPA, Predicted Postprocessed Accuracy) on GPS-vastaanottimen käyttäjän nähtävissä jo mittaustilanteessa.

H-Star-järjestelmässä keskeisin pääpiirre on, että PPA-arvoa lasketaan jatkuvasti mittauksen aikana sekä näytetään mittausohjelmassa. Mittausvirhe riippuu antennin tyypistä, satelliittien ratageometriasta, vastaanottimen sijainninlaskentaan

käyttämien satelliittien lukumäärästä ja suunnasta sekä referenssiasiemien tietokantojen eheydestä. Monet ulkoiset tekijät vaikuttavat tarkkuuteen, kuten heijastumat ja ionosfääri. Näitä ei ole otettu huomioon PPA-laskennassa.

Kuvassa 3 PPA-arvo on 0,21 m, mikä tarkoittaa, että jälkilaskettu mittataustarkkuus pitäisi olla 21 cm tai parempi.



Kuva 3 TerraSync-ohjelma näyttää PPA-arvoksi 0,21 m

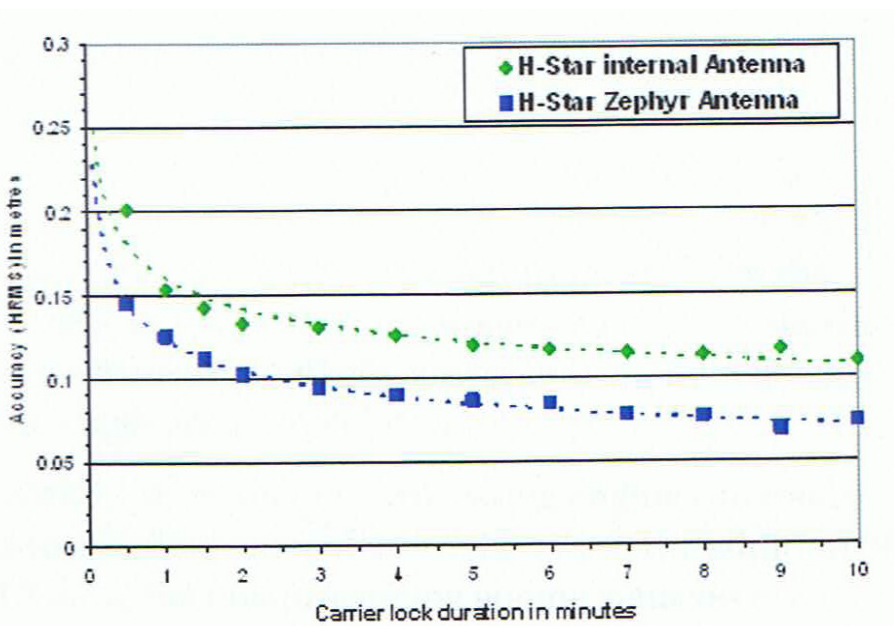
PPA ennustaa tarkkuuden, joka voidaan saavuttaa, kun H-Star-jälkilaskennan paikkatiedot on rekisteröity ja kun vaihelukitus on tapahtunut (Carrier lock). PPA-arvo on kerätyn H-Star-tiedon ja mittauksessa käytetyn ajan korrelaatio. Näin ollen, jos vastaanotin on jatkuvasti lukittuna kantaaltoon ja satelliittien geometria on hyvä, tarkkuus paranee koko tämän ajan, kun ollaan vaihelukituksessa.

H-Star-teknologiassa tarvittavaa tietoa kerätään, kunhan tarvittava vähimmäismäärä satelliitteja on jatkuvasti näkyvissä, eli kantaaltoon lukittuminen on jatkuvaa. Jos halutaan säilyttää vaihelukitus, vastaanottimeen täytyy olla jatkuvasti näkyvissä vähintään neljä satelliittia, kun vastaanotin on liikkumatta paikallaan. Vastaanotinta siirrettäessä vastaanottimen täytyy nähdä vähintään viisi satelliittia. H-Star-tarkkuutta voidaan kerätä samaan aikaan kun mitataan kohdetta, kunhan vaihelukitus säilyy.

Kuva 4 osoittaa vaihelukituksen kestoajan vaikutusta tarkkuuteen H-Star-vastaanottimella. H-Star-tietoa kerättiin kuuden tunnin ajan ProXH-

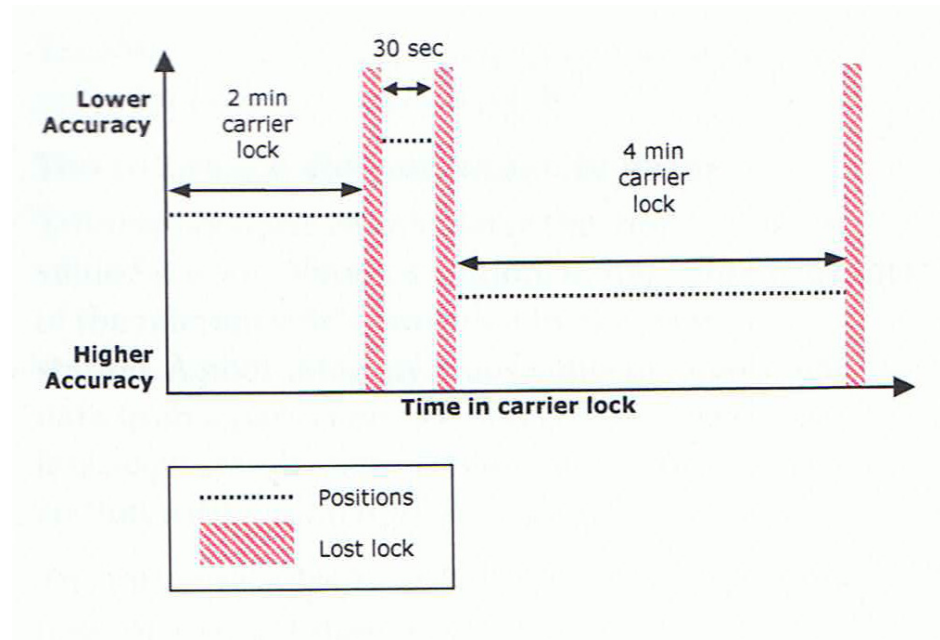
vastaanottimella taivasalla. Se on purettu osiin vaihelukituksen eri vaiheissa ja näytetään vain pieni osa mittauksen alusta, jotta saadaan näkyviin alun nopea muutos tarkkuudessa. Tiedostot on korjattu differentiaalisesti sekä käytössä oli kolme kaksoistaajuustukiasemaa, jotka olivat 20 km ja 120 km etäisyydellä vastaanottimesta.

Koska H-Star-prosessointi käyttää mittauksissa lukitusta ennen ja jälkeen nykyistä sijaintia, tarkkuus riippuu vaihelukituksen kestosta. Kuvassa 4 näkyy tarkkuuden nopea paraneminen parin ensimmäisen minuutin aikana vaihelukituksen tapahduttua. Kuvio osoittaa myös, että tarkkuutta voidaan vielä parantaa lisävarusteena olevalla Zephyr-antennilla



Kuva 4 Tarkkuus vaihelukituksen kestoajan funktiona ProXH:n sisäisellä antennilla ja Zephyr-antennilla

On tärkeää huomata, että kun paras tarkkuus saavutetaan, sitä tietoa sovelletaan kaikkiin mittapisteisiin niin kauan, kun vaihelukitus on voimassa. Kuvassa 5 on esitetty kuvallisesti, kuinka mittaustarkkuus paranee mitä pidemmän ajan vaihelukitus on ollut saatavilla. Mitä pidempään vaihelukitus kestää yhtäjaksoisesti, sitä parempi tarkkuus saavutetaan.



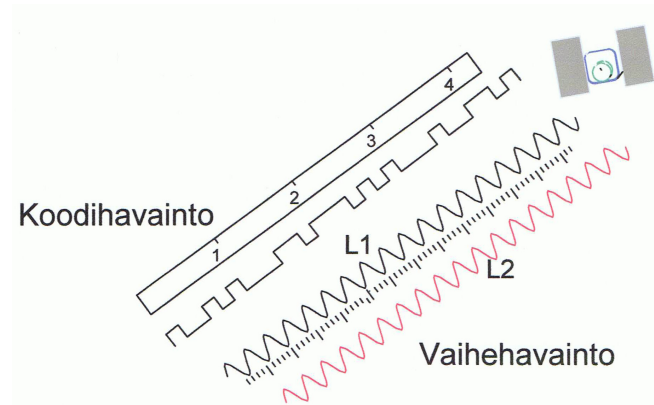
Kuva 5 Vaihelukituksen kestoajan vaikutus mittaustarkkuuteen

5.2 Jälkilaskenta /5, s. 6 - 7/

H-Star-vastaanottimessa on yhtä taajuutta vastaanottava sisäänrakennettu antenni. Mittauksen tarkkuutta voidaan parantaa jälkilaskennalla. Jos käytössä on kahta taajuutta vastaanottava Zephyr-antenni, jälkilaskentaohjelma käyttää toisen taajuuden avulla saatuja tietoja saavuttaakseen paremman tarkkuuden.

L1-kantoaalto-datan avulla jälkilaskentaohjelmisto kykenee mallintamaan ja arvioimaan ionosfääriviiveen. Lisäämällä L2-kantoaalto-data, jälkilaskentaohjelmisto saavuttaa paremman tarkkuuden laskemalla ionosfääriviiveen.

Jälkilaskennan tarkkuus riippuu käytössä olevista referenssitukiasemista, ja siitä, kuinka kaukana ne sijaitsevat alueelta, jossa tiedot on mitattu. Referenssitukiasemien tehossa ja laadussa on vaihtelua. Trimble ylläpitää luetteloa Internet-pohjaisista palvelun tarjoajista sekä valvoo suurien palveluntarjoajien, kuten SOPACin ja Yhdysvaltojen Geodetic Survey:n CORSin, uusia tukiasemia. Suomessa tukiaseman tarjoaja on GPSnet.fi. Tukiasemien tietokanta on käytössä Trimblen jälkilaskentaohjelmiston automaattisesti ladattavissa tiedostoissa.



Kuva 6 L1- ja L2-kantaalto esitys

Trimble laskee säännöllisesti referenssitukiasemien eheysindeksiä kullekin tukiasemalle ja ilmoittaa tukiasemien uuden tarkkuuslaadun. Alhainen eheysindeksi osoittaa, että tietyn tukiaseman korjaus on epätarkempi kuin tarkkuus tukiasemalta, jolla on hyvä eheys.

Eheysindeksi skaalataan 0 - 100, missä korkeimmat pisteet saanut tukiasema on paras. Tukiasema, jonka indeksi on suurin, ei välttämättä ole lähimpänä mittaajaa. Eheysindeksi lasketaan käyttäen eheyskartoitusta (järjestelmävirhe, tarkkuus ja luotettavuus) yhdessä suoraviivaisen etäisyyden GPS-vastaanottimen ja tukiaseman välillä. Paikannustarkkuutta voi huonontaa tukiaseman tai sen WEB-palvelun toimintahäiriö.

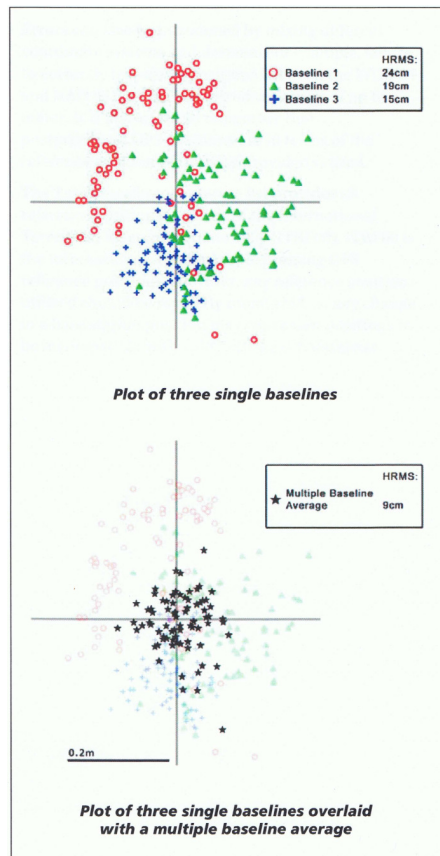
6 TUKIASEMAN VALINTA /5, s.7 - 8/

Kun valitaan tukiasemat käyttöön, yleinen sääntö on valita asemat, jotka ovat lähimpänä mittaajaa ja joilla on korkein eheysindeksi.

H-Star-jälkilaskennalla on mahdollista laskea keskiarvotulos useasta asemasta. Tukiasemien välimatkan vaikutuksesta syntyvä viive pystytään ohjelmallisesti pienentämään.

Käyttämällä keskiarvotulosta tasaisesti sijoitetuilta tukiasemilta pystytään vähentämään ilmakehän aiheuttamaa virhettä ja saavutetaan tarkempi mittaustulos kuin käyttämällä yhtä tukiasemaa. Ryhmä tukiasemia yhdestä suunnasta ei kykene parantamaan tarkkuutta.

Kuva 7 osoittaa, kuinka suuren poikkeaman tukiasemat muodostavat, jos vain yhdestä suunnasta mitataan sekä kuinka paljon parempi tarkkuus saavutetaan, kun käytetään keskiarvoa tukiasemien läheteestä.



Kuva 7 Yksittäisten tukiasemien mittaushajonta ja usean aseman keskiarvo hajonta

Optimaalisen tuloksen saavuttamiseksi Trimble suosittelee valitsemaan tukiasemaryhmän, jossa on vähintään kolme hyvin sijoitettua tukiasemaa ja joissa kullakin on hyvä eheyshakemisto. On kuitenkin mahdollista saavuttaa hyviä tuloksia käyttämällä yhtä luotettavaa tukiasemaa läheltä mittausta paikkaa (20 - 30 km). Mitä lähempänä tukiasema on mittajaan vastaanotinta, sitä vähemmän on vaikutusta ilmakehän aiheuttamalla virheellä.

7 TERRASYNC /6/

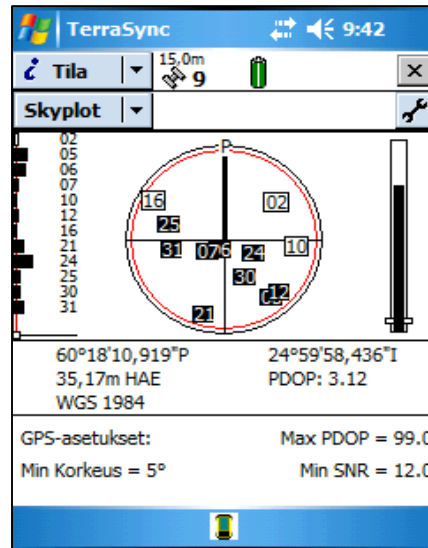
TerraSync on tehokas tiedonkeruuohjelma, joka on suunniteltu nopeaan ja tehokkaaseen paikkatiedon keruuseen ja ylläpitoon. Yhdessä Trimblen GPS-vastaanottimen ja maastotietokoneen kanssa siinä on kaikki tarvittava laadukkaaseen sijainti- ja ominaisuustiedon keruuseen paikkatietojärjestelmään.

TerraSync-tiedonkeruuohjelmalla pystyy mittaamaan nopeasti ja helposti useita samankaltaisia mittauskohteita tai kohteita, joissa on useita erityyppisiä mittaustietoja (esimerkiksi viiva, putkenpää ja kaivo). Tiedonkeruuohjelmaan voi perustaa mittaustiedoille ominaisuuskirjaston, joka nopeuttaa mittaamista ja helpottaa jälkikäsitteilyä. Ohjelmassa on useita aikaa säästäviä toimintoja, kuten ennalta luodut pudotusvalikot ja päivämäärä- ja aikakenttien automaattinen täyttö. TerraSync-ohjelmalla pystyy myös mittaamaan epäkeskisesti, jos mittaaminen suoraan kohteen päällä ei onnistu.

TerraSync-ohjelmalla voi tarkistaa maastossa paikkatietoaineistoja ja ylläpitää niitä. Mittaustietoja voi tarkastella listamuodossa tai värillisellä kartalla ilma- tai satelliittikuvan päällä. Kohteen voi valita joko listalta tai kartalta ja graafinen navigointinäyttö opastaa tarkasti haluttuun kohteeseen. Kun kohteen tiedot on päivitetty, TerraSync merkitsee automaattisesti kohteen päivitettyksi, jolloin siitä näkee mitä kohteelle on tehty ja mitä on vielä tekemättä.

TerraSync-ohjelmassa GPS-asetusten määrittäminen on yksinkertaista: voi käyttää liikusäädintä tai antaa räätälöidyt asetukset. Varmistaakseen tehokkaan ajankäytön maastossa voi käyttää graafista Rataennuste-toimintoa, jolla näkee parhaan satelliittitilanteen ja ajankohdan tiedonkeruuseen.

TerraSync-ohjelma toimii yhdessä erityyppisten Trimblen GPS-vastaanottimien kanssa. Mittausaineistoa voi korjata jälkikäsitteilyllä toimistossa, käyttää tosiaikaista korjausta tai tehdä molemmat. Lisätarkkuutta saa keräämällä H-Star-dataa GPS Pathfinder ProXH -vastaanottimella ja käyttämällä H-Star-jälkilaskentaa.



Kuva 8 Rataennuste-toiminto
TerraSync-ohjelmassa

8 KOORDINAATTIJÄRISTELMÄ //

Hämeenlinnan kaupungilla on oma paikallinen koordinaattijärjestelmä, joka on lähellä valtion vanhaa ns. Helsingin järjestelmää. Ero valtion käyttämään kartastokoordinaattijärjestelmään (kkj) vaihtelee kaupungin alueella, mutta keskimäärin kkj:ssä on y-koordinaatti vajaan metrin suurempi kuin kaupungilla ja x-koordinaatti vajaan 2 metriä pienempi kuin kaupungin järjestelmässä.

Keskimääräinen muunnoskaava kaupungin järjestelmästä kkj:hin on seuraava:

$$\begin{aligned} 1) \quad X &= -0,533 + 0,99999999x - 0,00005417y \\ Y &= -2,752 + 0,99999999y - 0,00005417x \end{aligned}$$

Keskimääräinen muuntokaava kkj:stä kaupungin järjestelmään on

$$\begin{aligned} 2) \quad x &= 0,533 + X + 0,00005417Y \\ y &= 2,752 + Y - 0,00005417X \end{aligned}$$

Kaavoissa X, Y tarkoittavat kkj-koordinaatteja ja x, y kaupungin koordinaatteja. Koordinaatit ovat kaavoissa kokonaisosaltaan viisinumeroisiksi katkaistuja,

täydellisten kkj-koordinaattien saamiseksi on kaavoilla 1 suoritettua muunnoksen jälkeen lisättävä X-koordinaatin eteen numero 67 ja Y-koordinaatin eteen numero 25. Vastaavasti nämä osat on erotettava kkj-koordinaattien alkupäistä ennen kaavoihin 2 sijoittamista.

9 TARKKUUDEN MITTAAMINEN

Trimble ProXH GPS -vastaanottimen paikannustarkkuuden mittaukseen käytettiin Hämeenlinnassa Ahveniston moottoriradalla olevaa tunnettua pistettä, joka sijaitsee varikon lähtöportilla 4,20 m katoksen kulmasta ja 10.20 m kaiteen lopusta. Paikan merkkinä on laatta asfaltissa. Pisteestä koordinaatit ovat y 22785,453 ja x 66050,379. Liite 1.

Tarkkuuden selvittämiseen tehtiin useita erilaisia mittauksia samassa pisteessä. Mittauksia tehtiin eripituisilla tallennusväleillä ja mittausmäärillä. Niiden aikana oli puhelimella yhteys GPSnet.fi-tukiasemaverkkoon. Vertailukohtien saamiseksi mittauksia tehtiin myös ilman yhteyttä tukiasemaverkkoon.

9.1 Paikannustarkkuuden mittaaminen

Mittauksessa oli käytössä GPSnet.fi-tukiasemaverkosto. Mittauksia on tehty kuudella erilaisella tallennusvälillä sekä tallennusmäärällä. GPS-vastaanottimen ilmoittama sijaintitieto on valtion koordinaattijärjestelmässä (kkj), joten tulokset täytyy muuttaa Hämeenlinnan järjestelmään käyttämällä muunnoskaavaa 2.

Taulukossa 1 on listattu mittauksissa käytetyt tallennusvälit, joiden yksikkö on sekunti sekä tallennusmäärä, joka ilmoittaa, kuinka monta tallennusta mittauksen aikana tehtiin.

Taulukko 1 Mittauksien 1...6 tallennusvälit sekä tallennusmäärät

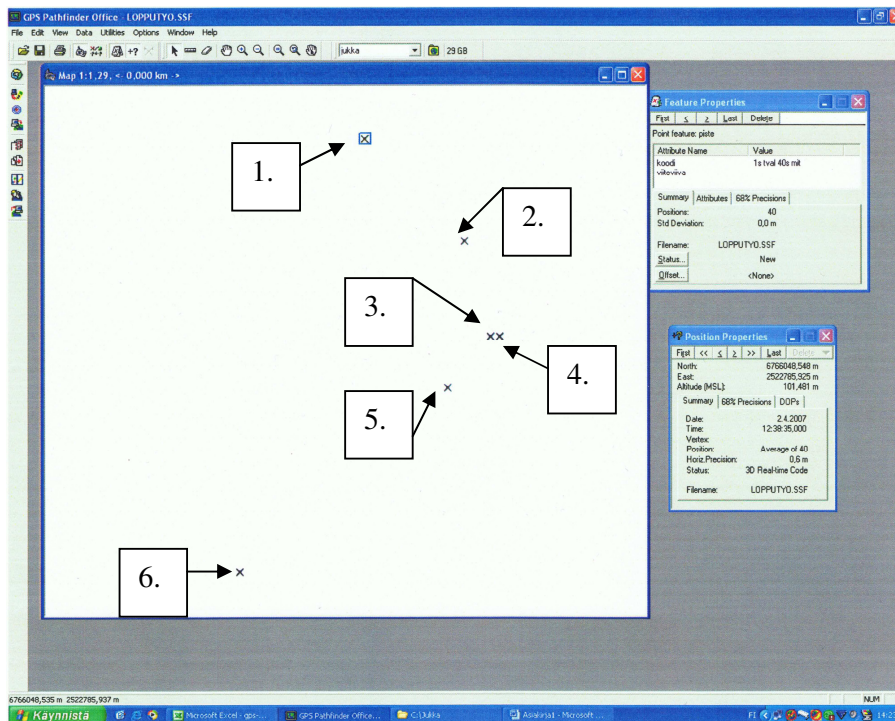
Mittaus	tallennusväli (s)	tallennusmäärä
1	1	40
2	1	20
3	1	10
4	5	10
5	5	5
6	5	20

Taulukossa 2 on listattu mittaustulokset sekä muunnostulokset, jotka on saatu kaavasta 2 laskettuna. Poikkeama on laskettu tunnetusta pisteestä erikseen y- ja x-suunnassa. Etäisyys tunnetusta pisteestä on laskettu Pythagoraan lauseella.

Taulukko 2 Mittauksien 1 - 6 tulokset sekä laskettu etäisyys tunnetusta pisteestä

Mittaus		kkj (m)		Hämeenlinna kaupungin (m)	poikkeama (cm)	etäisyys tunnetusta pisteestä (cm)
1	X	6766048,548	x	66050,315	6,4	35,9
	Y	2522785,925	y	22785,099	34,4	
2	X	6766048,498	x	66050,265	18,8	35,8
	Y	2522785,974	y	22785,148	30,5	
3	X	6766048,452	x	66050,219	16,0	33,3
	Y	2522785,986	y	22785,160	29,3	
4	X	6766048,452	x	66050,219	16,0	32,9
	Y	2522785,991	y	22785,165	28,8	
5	X	6766048,427	x	66050,194	18,5	36,3
	Y	2522785,966	y	22785,140	31,3	
6	X	6766048,337	x	66050,104	27,5	49,7
	Y	2522785,864	y	22785,038	41,5	

Kuvasta 9 selviää, kuinka mittaustulokset esiintyvät GPS Pathfinder Office -ohjelmassa. Kuvasta voidaan todeta, kuinka paljon mittaukset vaihtelevat.



Kuva 9 Mittaustulokset Pathfinder Office -ohjelmalla esitettyinä. Mittaukset on numeroitu järjestykseen

9.2 Paikannustarkkuus ilman GPSnet.fi-tukiasemaa

Vertailukohtana mittauksia tehtiin myös ilman GPSnet.fi-tukiasemavekostoa. Mittauksia on tehty kuudella erilaisella tallennusvälillä sekä tallennusmäärällä. Valtion koordinaattijärjestelmästä Hämeenlinnan koordinaattijärjestelmään tulokset muutetaan käyttämällä kaavaa 2.

Taulukossa 3 on listattu mittauksien 7...12 tallennusvälit sekä tallennusmäärät

Taulukko 3 Mittauksien 7...12 tallennusvälit sekä tallennusmäärät

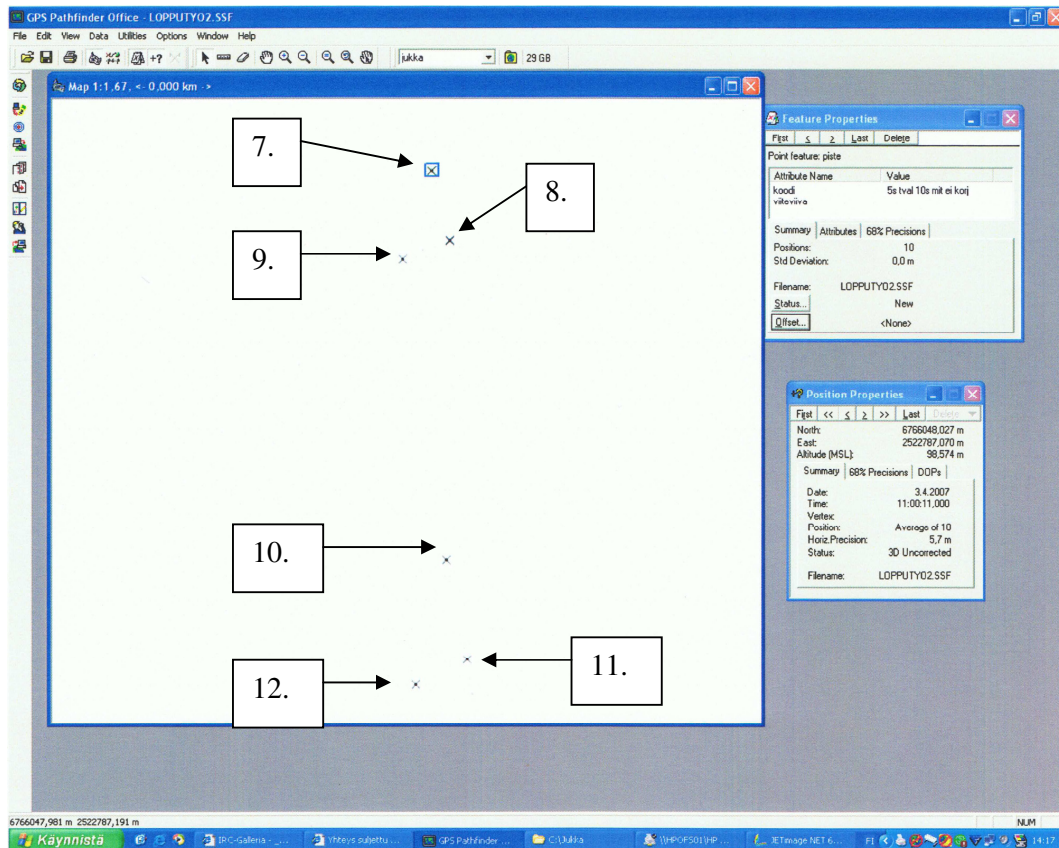
Mittaus	tallennusväli (s)	tallennusmäärä
7	5	10
8	5	5
9	5	25
10	1	40
11	1	5
12	1	10

Taulukkoon 4 on listattu mitaustulokset, jotka on saatu mittauksista ilman GPSnet.fi-tukiasemaverkoston käyttöä.

Taulukko 4 Mittauksien 7 - 12 tulokset sekä etäisyys tunnetusta pisteestä

Mittaus		kkj (m)		Hämeenlinna kaupungin (m)	poikkeama (cm)	etäisyys tunnetusta pisteestä (cm)
7	X	6766048,027	x	66049,794	58,5	98,3
	Y	2522787,070	y	22786,244	-79,1	
8	X	6766047,990	x	66049,757	62,2	101,4
	Y	2522787,080	y	22786,254	-80,1	
9	X	6766047,980	x	66049,747	63,2	100,0
	Y	2522787,055	y	22786,229	-77,6	
10	X	6766047,818	x	66049,585	79,4	110,3
	Y	2522787,078	y	22786,220	-76,7	
11	X	6766047,765	x	66049,532	84,7	117,1
	Y	2522787,089	y	22786,263	-81,0	
12	X	6766047,751	x	66049,462	91,7	120,5
	Y	2522787,062	y	22786,236	-78,3	

Kuvassa 10 on esitetty mittaukset 7 - 12 GPS Pathfinder Office -ohjelmassa. Mittaustulokset vaihtelevat huomattavan paljon mittauskerrasta riippuen.



Kuva 10 Mittaukset 7 - 12 Pathfinder -ohjelmalla esitettynä

9.3 Päätelmät tarkkuudesta

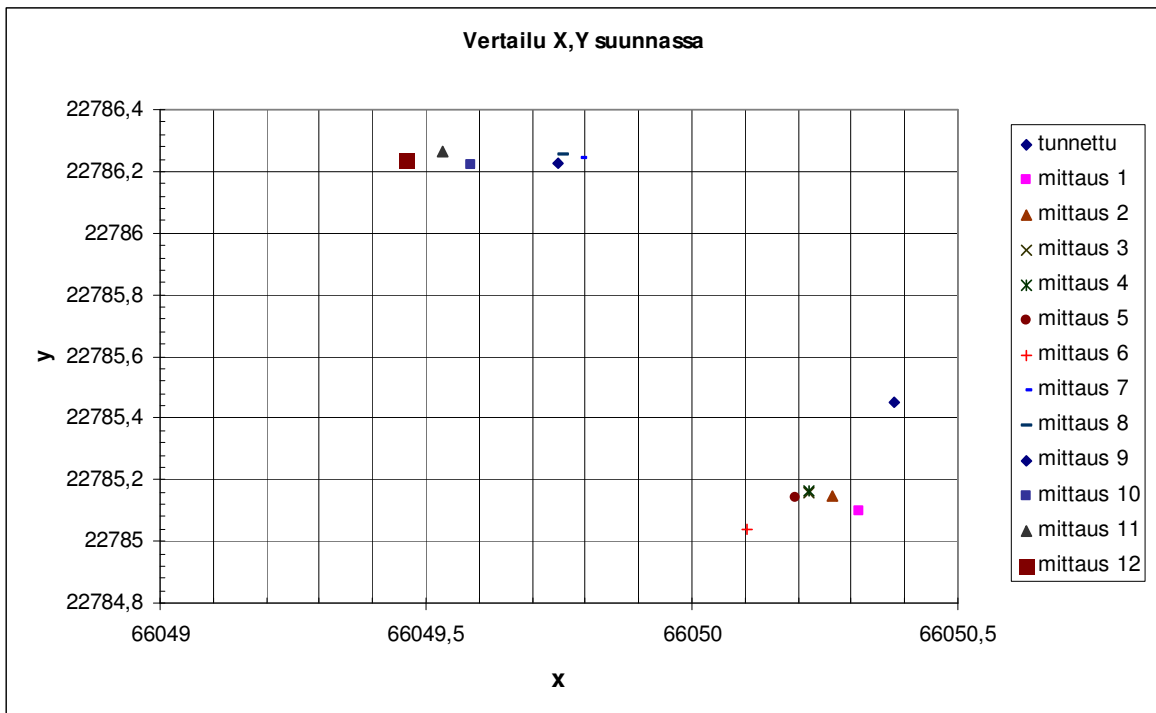
Näille mittauksille ei ole tehty jälkilaskentaa, joten niissä on hiukan enemmän virhettä, kuin jos ne olisi jälkilaskettu. Tarkoituksena oli, että mittauksilla selvitetään, kuinka tarkka on pelkkä Trimblen ProXH GPS -vastaanotin.

Mittausten perusteella mittauksista, joissa oli käytössä GPSnet.fi-tukiasemaverkko, epätarkimmaksi tulokseksi tuli 49,7 cm, joka mitattiin mittauksessa 6. Muut mittaustulokset olivat muutaman senttimetrin etäisyydellä toisistaan ja tunnetusta pisteestä noin 30 cm päässä. Näin ollen tallennusvälillä ja tallennusmäärällä ei ole suurta merkitystä mittauksen tarkkuuteen. Mittauksissa voi olla virhettä johtuen mittaustavasta, jossa mittaustankoa pidettiin käsivaraisesti pystyssä ja se saattoi

heilua hiukan. Tulosten perusteella ProXH-vastaanotin kykenee mittaamaan luvattuun 30 cm tarkkuuteen. Laite tosin tarvitsee GPSnet.fi-tukiasemaverkon antaman korjausinformaation.

Pelkällä vastaanottimella mitattuna sijainnin poikkeama oli noin 100 cm, joten pelkällä vastaanottimella mitattuna tulokseen ei voi täysin luottaa, mutta jo pelkän GPSnet.fi-tukiasemaverkon tarkistuksella mittaustuloksiin voi luottaa.

Kuvaan 11 on kerätty kaavioon mittaustulosten epätarkkuudet. Siitä pystytään todentamaan, että GPSnet.fi-tukiasemaverkoston tarkistuksella mittaukset ovat noin 30 cm etäisyydellä siistissä rykelmässä sekä ilman tukiasemaverkostoa mitatut kohteet ovat huomattavasti etäämpänä, mutta silti ryppäissä. Näin ollen ProXH-vastaanotin on luotettava mittalaite toistuvissa mittauksissa.



Kuva 11 Mittaustulosten esittäminen xy-koordinaatistossa

9.4 Vaihelukituksen menettäminen

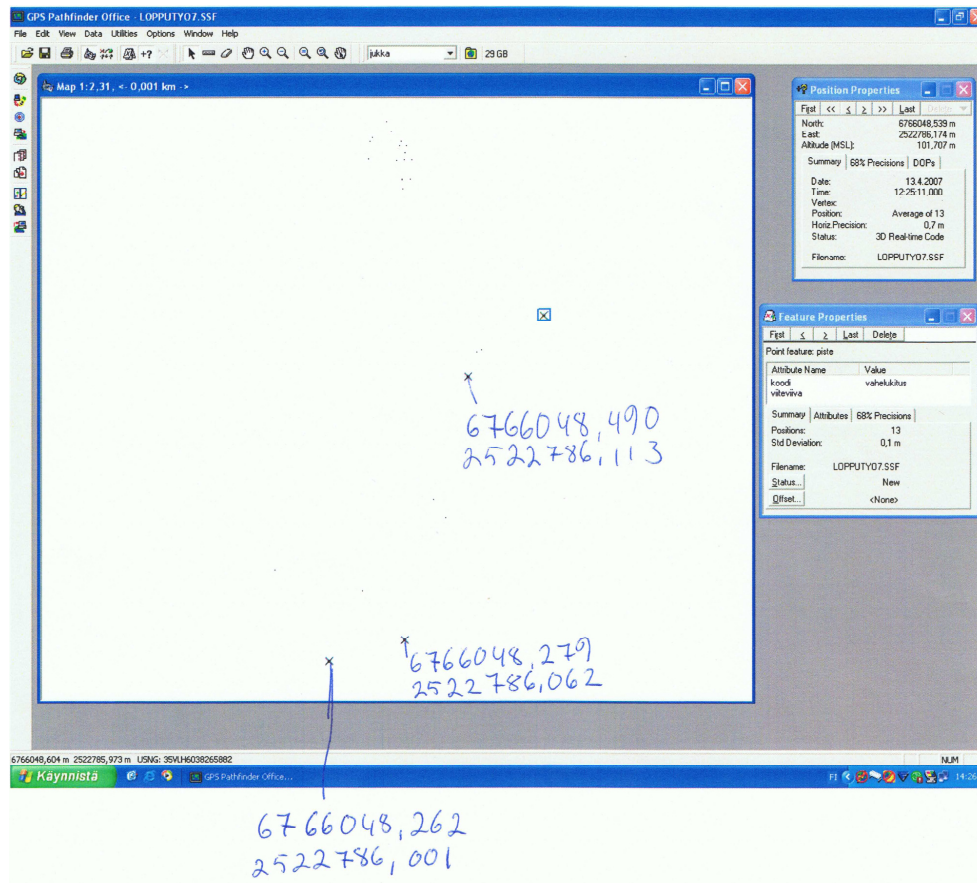
Kun vaihelukitus satelliittiin menetetään, ProXH-vastaanotin alkaa laskea uutta tarkkuutta. Seuraavassa mittauksessa on katkaistu vaihelukitus peittämällä antenni, minkä jälkeen on mitattu neljä lyhyttä mittausta 1 sekunnin tallennusvälillä ja mittausten lukumäärä on ollut 10 tallennusta.

Taulukossa 5 on esitetty vaihelukituksen jälkeiset mittaukset, valtion koordinaattijärjestelmässä sekä Hämeenlinnan kaupungin koordinaattijärjestelmässä. Taulukosta selviää myös poikkeama y- ja x- suunnassa sekä poikkeama tunnetusta pisteestä.

Taulukko 5 Vaihelukituksen menettämisen jälkeiset mittaukset

Tallennus		kkj (m)		Hämeenlinna kaupungin (m)	poikkeama (cm)	etäisyys tunnetusta pisteestä (cm)
1	X	6766048,262	x	66050,209	46,8	54,4
	Y	2522786,001	y	22785,175	27,8	
2	X	6766048,279	x	66050,046	33,3	39,7
	Y	2522786,062	y	22785,236	21,7	
3	X	6766048,490	x	66050,257	12,2	20,6
	Y	2522786,113	y	22785,287	16,6	
4	X	6766048,539	x	66050,306	7,3	12,7
	Y	2522786,174	y	22785,348	10,5	

Kun vaihelukitus menetetään, ProXH-vastaanotin alkaa laskea tarkkuutta uudelleen. Mitä kauemmin vastaanotin saa laskea tarkkuutta, sitä parempi tulos saavutetaan. Kuten mittauksessa huomataan, ensimmäinen mittaus on 54,4 cm:n etäisyydellä tunnetusta pisteestä, toinen mittaus on 39,7 cm:n etäisyydellä, kolmas mittaus on 20,6 cm:n etäisyydellä sekä neljäs mittaus vain 12,7 cm:n etäisyydellä tunnetusta pisteestä. Neljännen mittauksen tarkkuus on erittäin hyvä ilman jälkitarkistusta. Tästä voidaan päätellä, että laitteiden on hyvä saada kerätä tarkkuustietoa satelliitista ennen mittauksen aloittamista, koska näin saavutetaan paras tulos. Jos mittauksen aikana antenni hävittää vaihelukituksen, on hyvä odottaa ennen kuin jatkaa mittausta. Vaihelukituksen voi menettää esimerkiksi, jos antenni kääntyy alaspäin tai jos antenni menettää näköyhteyden satelliitteihin.



Kuva 12 Vaihelukituksen menettämisen jälkeiset mittaukset

9.5 Mittauksen aikainen keskihajonta

Neljännessätoista mittauksessa tarkasteltiin mittauksen aikana tulevaa hajontaa. Mittauksen aikana oli käytössä toiminto, jolla saadaan selville, kuinka mittauksen aikana paikka vaihtelee. Mittauksessa tallennusvälinä oli 5 sekuntia ja mittausaika oli 100 mittauspistettä. Tulokseksi saatiin $X=6766048,247$ m ja $Y=2522786,142$ m, jotka ovat kaupungin koordinaattijärjestelmään muutettuna:

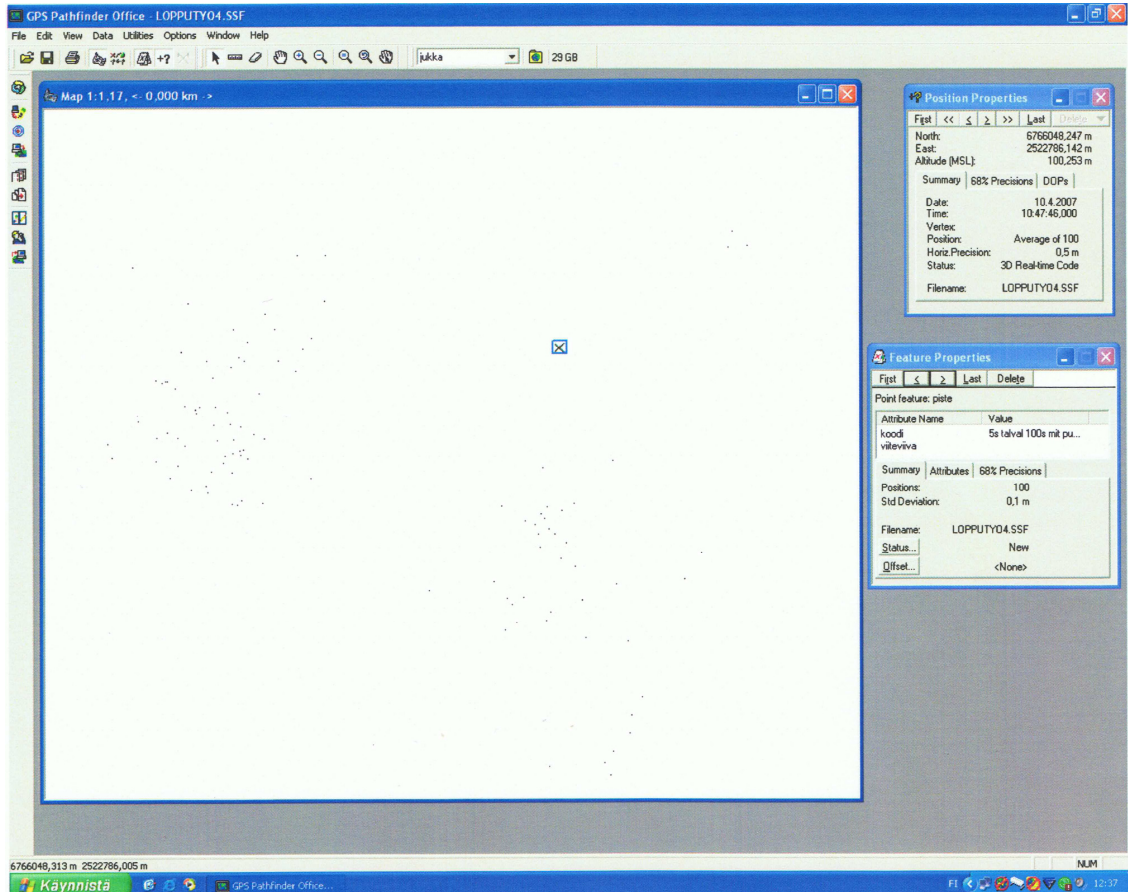
$$x=66050,143 \text{ m}$$

$$y=22785,316 \text{ m}$$

jotka ovat x-suunnassa 23,6 cm ja y-suunnassa 13,7 cm sivussa tunnetusta pisteestä.

Piste on siis 27,3 cm sivussa tunnetusta pisteestä.

Kuvasta 13 selviää, kuinka laajalla alalla mittauspisteet ovat mittauksen aikana. Rykelmien etäisyys saavutetusta mittapisteestä on noin 47 cm:n etäisyydellä mitatusta pisteestä.



Kuva 13 Välitalennukset mittauksen aikana

10 YHTEENVETO

Satelliittipaikannusta käytetään moneen tarkoitukseen. Satelliittien avulla selvitetään oma sijainti sekä navigoidaan maantieliikenteessä. Yrityspoolella satelliittipaikannusta hyödynnetään tätä nopeampaan, tarkempaan sekä yksityiskohtaisempaan paikkatiedon tallentamiseen.

Työn tarkoituksena oli selvittää Trimblen GPS Pathfinder ProXH -vastaanottimen todellinen tarkkuus. Kykeneekö GPS-vastaanotin luvattuun tarkkuuteen, joka on

alle 30 cm. Työssä mittaukset suoritettiin Hämeenlinnassa Ahveniston moottoriradalla olevalla tunnetulla pisteellä. Tunnettu piste on Hämeenlinnan kaupungin asentama ja mittaama paikka. Piste on asennettu vuonna 1988 ja sen merkinä on laatta.

Mittaustulosten perusteella Trimblen GPS-vastaanotin on täysin luotettava laite AinaCom Oy:n käyttötarkoitukseen, sillä mittausten perusteella epätarkimmaksi mittaustulokseksi saatiin 49,7 cm. Tätä tulosta ei ole jälkilaskettu GPS Pathfinder Office -ohjelmalla, sillä tarkoituksena oli mitata pelkästään GPS-vastaanottimen tarkkuus. Mittauksen aikana parhaimman tuloksen saavuttaa, kun TerraSync on esimerkiksi matkapuhelimen välityksellä yhteydessä GPSnet.fi-tukiasemaverkkoon. Todellisissa reittimittauksissa tulokset jälkilasketaan, sekä sijoitetaan karttapohjalle, josta piirretään kartalle mitatut reitit. Karttaohjelmassa pisteiden sijaintia voidaan vielä muuttaa kartalle sopivaksi. Mittausten tarkoituksena on auttaa kartanpiirtäjää hahmottamaan reitin paikka.

Mittausten aikana mittajaan on tarkkailtava, että vastaanotin on vaihelukituksessa satelliittien kanssa. Jos vaihelukitus menetetään, mittajaan on syytä odottaa vähintään kaksi minuuttia kantoaallon lukittumisen jälkeen, jotta saadaan paras mittaustulos.

Työssä mittausten suorittaminen oli yksinkertaista ja nopeaa, mutta raportoinnissa tuotti vaikeuksia laitteiden sekä H-Star-teknologian selvittäminen. Laitteiden sekä ohjelmien selvittämiseen käytössä oli ainoastaan esitemateriaalia.

LÄHTEET

Sähköiset lähteet:

1. www.trimble.com/abouttrimble.shtml
2. www.trimble.com/about-glance.shtml

Geotrim Oy:n luovuttamat materiaalit:

3. Trimble Rangerin tuotetiedot
4. GPS Pathfinder ProXH:n tuotetiedot
5. H-Star technology explained
6. Terrasyncin tuotetiedot

Hämeenlinnan kaupungin rakennusvirasto:

7. Hämeenlinnan kaupungin koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät