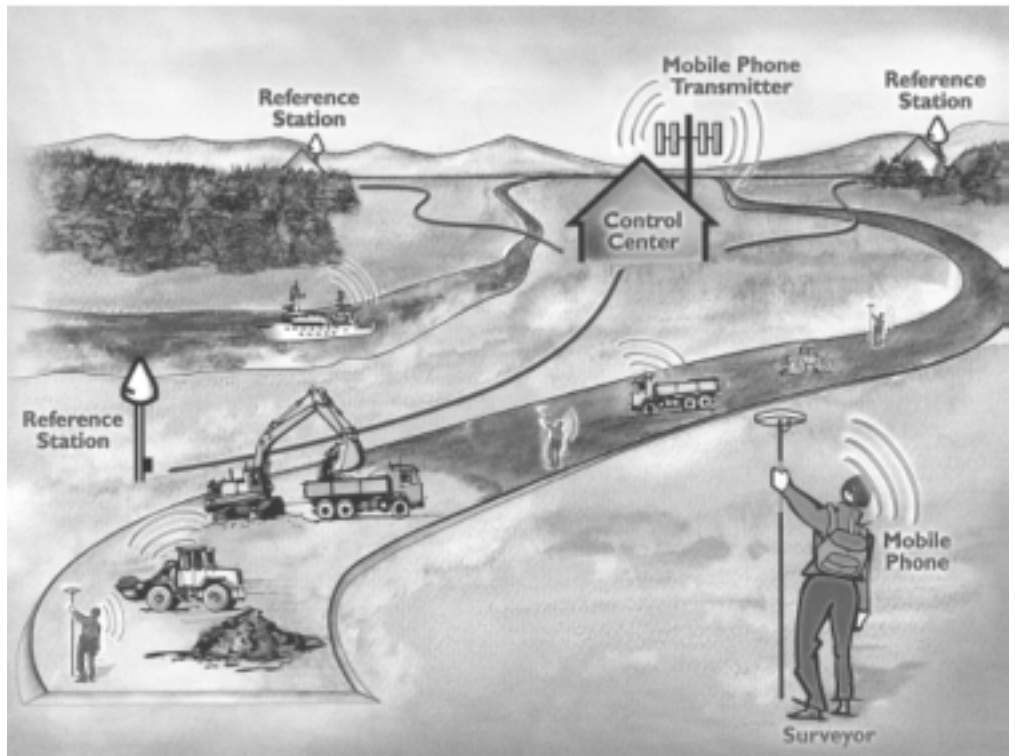


# GPS RTK-Network ja virtuaalitukiasema (VRS)

## GPS-MITTAUKSEN UUSI ULOTTUVUUS

GPS-mittauksen tarkkuus- ja luotettavuusvaatimukset asettavat mittausmenetelmille entistä korkeampia vaatimuksia. Mittaukset pitää pystyä tekemään sujuvasti myös entistä pidemmällä etäisyyksillä tukiasemasta ja vieläpä reaaliaikaisena. Perinteinen reaaliaikainen RTK-



tekniikka tukee mittauksia luotettavasti ja riittävällä tehokkuudella ainoastaan 10–15 (20) km:n etäisyyksille GPS-tukiasemasta GPS-mittaukseen vaikuttavista virhelähteitä johtuen. Tarvitaan tukiasemien verkottumista, Network-ratkaisua, tehokkaan, tarkan ja luotettavan GPS-mittauksen toteuttamiseksi pidemmällä etäisyyksillä tukiasemasta.

GPS RTK-Network-järjestelmä on tutkittu ja todettu toimivaksi ratkaisuksi myös Suomessa.

### Miksi tarvitaan tukiasemien verkottumista

Tarkka GPS-mittaus ja sovellusalueiden laajentuminen asettaa mittausmenetelmille ja mittauksen toteuttamiselle entistä suurempia vaatimuksia. Mittauksen tarkkuus, luotettavuus, tehokkuus ja sujuvuus ovat käsitteitä, jotka tuovat tukiasemien verkottumISRatkaisun välttämättömäksi ja keskeiseksi mittausjärjestelmän osaksi eri mittaussovelluksissa.

Perinteisellä RTK-tekniikalla on omat rajoituksensa esim. mittausetäisyyden ja tarkkuuden suhteen johtuen mm. ilmakehävirheiden (troposfääri ja ionosfääri) vaikutuksesta GPS-mittauksiin. Käytännön toimintaetäisyys perinteisellä RTK-tekniikalla on n. 10–15 (20) kilometriä. Pidemmällä etäisyyksillä mittauksen tarkkuus ja luotettavuus kärsii selvästi ja kunnan tulokset ovat ennemminkin sattunnaisia.

Network-ratkaisu sen sijaan poistaa käytännössä etäisyysriippuvuuden mittauksista ja luo samalla edellytykset toimia koko laajalla verkon toimialueella tehokkaasti ja tasalaatuista tarkkaa sijaintitietoa tallentaen.

### GPS:n virhelähteitä ja perinteinen RTK-mittaus

GPS-mittauksiin sisältyy monenlaisia virhelähteitä, jotka pitää pystyä minimoimaan tai eliminoimaan kokonaan mittauksista. RTK-mittauksen sisäisen tarkkuuden virhebudjettia tarkasteltaessa merkittävin virhelähde on eittämättä ilmakehävirheiden vaikutus. Mitä pidemmällä tukiasemasta mitataan, sitä enemmän ionosfääri- ja troposfääri- virheet vaikuttavat mittaukseen ja mittauksen luotettavuuteen.

Ilmakehävirheiden vaikutus on perinteisessä RTK-mittauksessa ongelmallinen,

	ABSOLUUTTINEN	SUhteellinen	VAIKUTUS
MONITIEHEIJASTUS (Code)	< 10 m	< 10 m	systemaattinen
MONITIEHEIJASTUS (Carrier)	< 10 mm	< 10 mm	systemaattinen
SATELLIITIN RATAVIRHE	20 m	1 ppm	skaala
TROPOSFÄÄRI (0–15 km)	< 30 m	< 10 mm	korkeus
IONOSFÄÄRI (70–1000 km)	< 100 m	< 50 ppm	skaala
<b>SAAVUTETTAVISSA OLEVA TARKKUUSTASO: 5–10 mm + 1–3 ppm</b>			

Kuva 1.  
RTK-mittauksen virhelähteitä.

koska virheen suuruus voi vaihdella hyvinkin nopeasti, jo 10–15 minuutin aikajaksolla yli 10 ppm:ää (10 cm / 10 km). Virheen vaikutusta ja muutosta ei pystytä mallintamaan perinteisessä RTK-mittauksessa eikä GPS-laitteiden yleismallilla kunnolla ja mittaustäisyys tukiasemasta on sen vuoksi rajoitettu.

### RTK-Network-ratkaisu

GPS-tukiasemat linkitetään tukiasema-verkoksi. Laskennan hermokeskuksena toimii Network-center, johon kaikki tukiasemat on liitetty. GPS-Network-ohjelmiston tehtäviä ovat mm.:

- GPS-datan tallennus: raakadata, Rinex-formaatti, Internet web-palvelin
- antennin vaihekeskipistekorjaukset (IGS mallit)
- GPS-virheiden reaaliaikainen mallinnus: ionosfääri, troposfääri, satelliittien ratavirheet jne.
- virtuaalitukiasemien laskenta
- virtuaalidatan välitys käyttäjille: reaaliaikainen, jälkilaskenta
- järjestelmän monitorointi ja laaturollointi.

Networkin reaaliaikainen virheiden mallinnus mahdollistaa RTK-mittaukset koko verkon alueella, jopa 40–45 km:n päässä fyysisestä tukiasemasta tarkasti, luotettavasti ja nopealla OTF-ratkaisulla. Tukiasemien verkottaminen poistaa käytännössä etäisyysriippuvuuden mittauksista, jolloin ei ole enää merkitystä sillä, mitataanko 100 m:n vai 40 km:n päässä tukiasemasta – tulokset ovat aina hyviä ja tasa-laatuista.

RTK-Network-ohjelmisto (Terrasat) on pitkän, yli 10 vuoden tukiasemaohjelmistokehityksen tulos, jossa hyö-

dynnetään Terrasatin kokemuksta eri tukiasemaratkaisuksista ja GPS:n virheenmallinnuksesta.

### Virtuaalitukiasema (VRS) – tuo näkymätön asemapisteen

Network-järjestelmä laskee jokaiselle käyttäjälle oman virtuaalitukiaseman aivan mittajaan viereen. Tukiasemaetäisyys pysyy näin aina erittäin lyhyenä. Virtuaalitukiasema on tarkka tunnettu piste, vaikka sitä ei maastossa fyysisesti olekaan. Virtuaalitukiaseman prosessointi tapahtuu välittömästi ja automaattisesti, kun mittaja on yhteydessä Network-järjestelmään. Virtuaaliasemia voi käyttäjällä olla useita päivän mittaan.

Virtuaaliratkaisu poistaa oman tukiaseman tarpeen ja mittaja voi toimia koko verkon alueella pelkästään liikkuvalla GPS-yksiköllä. ”Tunnettu asemapisteen” on jatkuvasti matkassa mukana, eikä mittauksen suorittamiseksi tarvita maastossa välttämättä lainkaan tunnettuja pisteitä.

### Testituloksia

RTK-Network järjestelmän toimivuutta ja tarkkuutta on testattu useissa eri tapa-

uksissa mm. Saksassa. Suomessa aloitimme alkukesästä laajat testimittaukset Etelä-Suomen alueella mm. TKK:n testiverkon pisteistöllä. Tavoitteena oli selvittää RTK-Network-menetelmän toimivuus, tarkkuus ja luotettavuus Suomen olosuhteissa.

Tulokset ovat lupaavia. Testimittaukset osoittavat selvästi, että Network-järjestelmän reaali-aikainen GPS-virheiden mallinnus

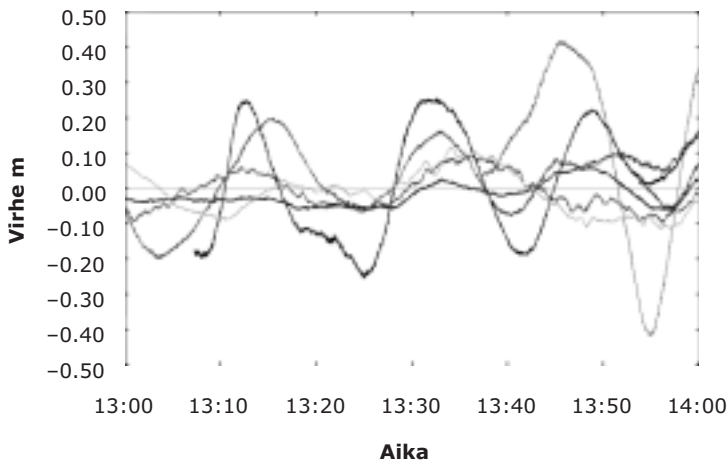
- parantaa mittaustarkkuutta
- nostaa mittauksen luotettavuutta ja antaa varmuuden tuloksen oikeellisuudesta pitkälläkin toimintaetäisyydellä
- nopeuttaa merkittävästi mittauksen OTF-alustusaikoja
- kasvattaa toimintaetäisyyttä tukiasemasta
- mahdollistaa RTK-mittauksen etäisyyksillä, missä perinteinen RTK-tekniikka ei toimi
- tuo uudenlaista tehokkuutta ja kustannussäästöä GPS-mittauksiin.

Testimittauksissa on voitu osoittaa etäisyysvaikutuksen (ppm) olevan lähellä 0 ppm:ää. Kuvassa 4 on esimerkki syksyn testimittauksen tuloksista: RTKNetworkin sisäinen hajonta 40 km:n (13 mm) ja 16 km:n (7 mm) päässä fyysisestä tukiasemasta. Laajemmat testitulokset ja -analyysit ovat käytettävissä.

### Virtuaalitukiasema vastaan perinteinen RTK

Verrattuna perinteiseen RTK-mittaukseen virtuaalitukiaseman edut tulevat selkeästi esille jo yli 5 km:n etäisyyksillä tukiasemasta. Myös lyhyemmillä etäisyyksillä mittauksen tarkkuus paranee ja mittaus nopeutuu.

Seuraavassa joitakin tunnuslukuja ja ominaisuuksia:



Kuva 2.  
Ionosfäärivirheet huhtikuu 2000, 50 km:n vektori.

### Perinteinen RTK

- < 10–15 km (20) tukiasemasta
- OTF-alustusaika 10–300 sek.
- OTF-alustuksen luotettavuus heikkenee etäisyyden kasvaessa ja riski saada väärä alustusratkaisu kasvaa
- OTF-ratkaisua ei saada aina esim. nopean ionosfäärimuutoksen aikana
- etäisyys heikentää mittaustarkkuutta 1–3 (5) ppm.

### Virtuaaliturkiasema/Network

- < 40–50 km fyysisestä tukiasemasta
- OTF-alustusaika tyypillisesti < 10–60 sek.
- OTF-ratkaisu aina luotettava
- tarkkuus samaa luokkaa koko laajalla verkon alueella, etäisyydestä ~0 ppm.

## Networkin sovellusalueita

GPS-Network tukee erityyppisiä mittaussovelluksia reaali-aikaisena, ”lähäs reaaliaikaisena” ja jälkilaskentana:

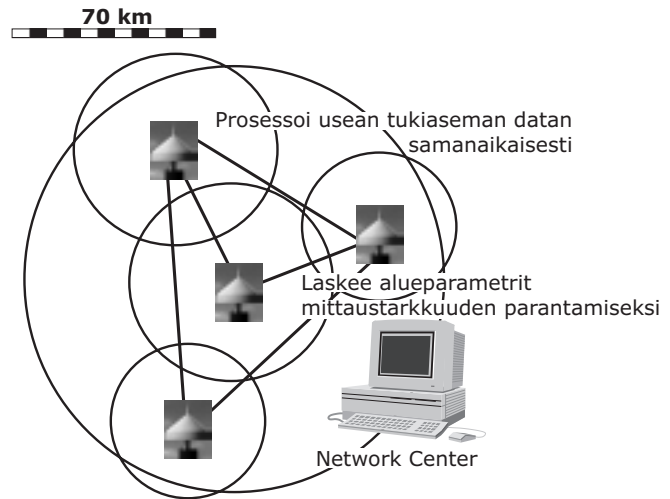
- maanmittaus
- kiinteistömittaukset
- paikkatietomittaukset
- ilmakuvaus
- koneen ohjauksjärjestelmät
- muodonmuutos- ja painumamittaukset
- merenmittaus
- navigointi
- ympäristönseuranta jne.

### Virtuaalikonseptin merkitys

Pyrittäessä tarkkaan, luotettavaan ja tehokkaaseen RTK-mittaukseen yli 10–15 km:n etäisyyksillä tukiasemasta GPS-virheiden reaaliaikainen mallinnus on välttämätöntä. Samalla mittausetäisyyttä fyysisestä tukiasemasta voidaan perinteiseen RTK-tekniikkaan verrattuna huomattavasti kasvattaa. Network-ratkaisu poistaa käytännössä etäisyysriippuvuuden GPS-mittauksista (ppm-vaikutus ~0) taaten tarkan ja tasalaatuisen sijaintitiedon koko verkon alueella. Tarve oman tukiaseman hankkimiseksi vähenee monissa organisaatioissa tukiasemien verkottamisen johdosta. Käytännössä verkon alueella mittaaja tarvitsee vain oman liikkuvan yksikön. Network-järjestelmä tuottaa käyttäjille automaattisesti yhteyden myös Euref-Fin-koordinaattijärjestelmään.

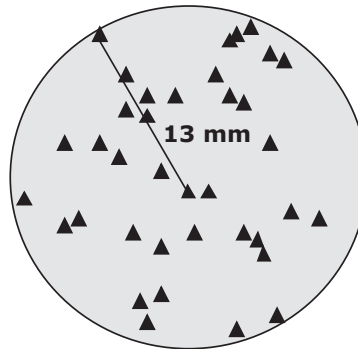
Network-ratkaisu on testattu Suomen olosuhteissa ja järjestelmä toimii. Tukiasemien verkottaminen tuo aivan uusia ulottuvuuksia mittaustoimen kehittämiselle ja koordinaattien hallinnalle.

**Kirjoittaja on kehityspäällikkö  
Geoditech Oy:ssä. Sähköposti:  
seppo.totterstrom@geoditech.fi.**

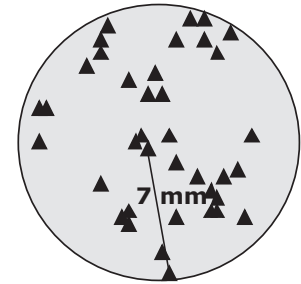


**Kuva 3.  
RTK-Network.**

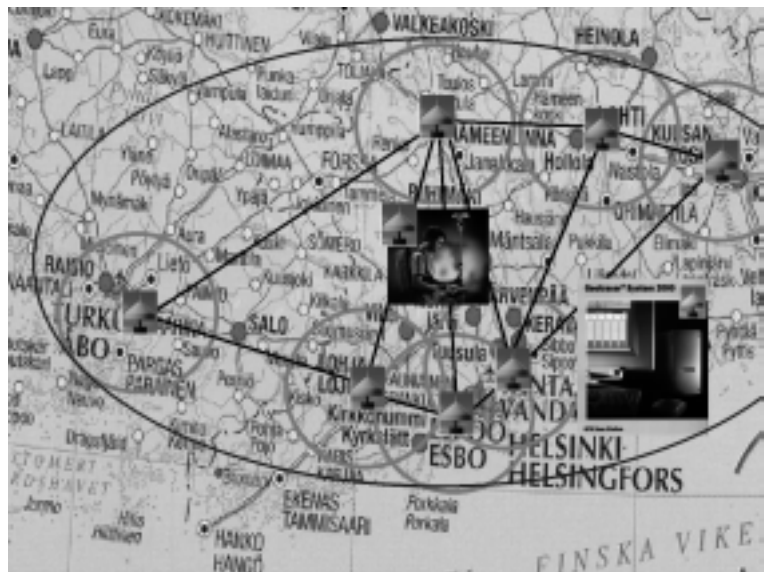
**RTKNet13,  
40 km tukiasemasta**



**RTKNet5,  
16 km tukiasemasta**



**Kuva 4.  
RTK-Network-testejä,  
Etelä-Suomi,  
syksy 2000.**



**Kuva 5.  
GPS RTK-Network.**