

Ohjeet satelliittipaikantimien ostajille ja käyttäjille v 1.1

Ari Kilpelä, TkT, TJ / Dimense OY / www.dimense.fi / 040-5388 318 /
ari.kilpela@dimense.fi

Mitä tarkoittaa RTK GNSS ?

Tämä kirjoitus on tarkoitettu ohjeeksi RTK GNSS- satelliittipaikantimien ostajille. **RTK GNSS (Real-Time Kinematic Global Navigation Satellite System)** -laitteita käytetään tarkkaan (senttimetriluokan) paikannukseen ja sijainnin määrittämiseen esim. **maanmittauksessa, rakennusalan sovelluksissa, tienrakennuksessa, maanviljelyssä ja muissa tarkkuutta vaativissa tehtävissä**, joissa tarvitaan tarkkaa ja reaaliaikaista sijaintitietoa. Pelkkä sana GNSS tarkoittaa satelliittipaikannusta, jossa käytetään hyväksi kaikkia maailman satelliittijärjestelmiä, joista Suomessa tärkeimmät ovat GPS (USA), Galileo (EU), Beidou (Kiina) ja Glonass (Venäjä). Myös esim. Intialla ja Japanilla on omat järjestelmänsä. Sana RTK tarkoittaa käytännössä korjattua satelliittipaikannusta, jossa tukiasemalta tai tukiasemilta tuleva referenssitieto yhdistetään mittaajan oman laitteen mittaustulokseen ja näin saadaan tarkkuutta parannettua kymmenien senttimetrin-metrin luokasta senttimetriluokan tarkkuuteen.

RTK GNSS -järjestelmä koostuu vähintään kahdesta GNSS-laitteesta: yksi tukiasemana (tai tukiasemina, ns. base) ja toinen liikkuvana laitteena (kuten maanmittausväline, traktori tai lennokki. ns. rover). **Tukiasema vastaanottaa signaaleja satelliiteilta ja lähettää korjaussignaaleja mittaavalle laitteelle**, mikä mahdollistaa tarkemman sijainnin määrittämisen verrattuna perinteiseen GNSS:ään. Korjaussignaali voi tulla suoraan yhdeltä tukiasemalta joko laitteiden sisäisten radioiden välityksellä tai internetin kautta. Jotta mittalaite pääsee internettiin, siinä itsessään pitää olla GSM-modeemi tai se voi päästä esim. Wifin ja kontrollerin (puhelimien) kautta nettiin. Tukiasema voi olla myös **tukiasemien verkko** (ns. **CORS eli Continuously Operating Reference Station**), jotka voivat muodostaa ns. **VRS (Virtual Reference Station)-** aseman eli useista asemista tulevat signaalit muodostavat käyttäjän lähelle ns. **virtuaalisen aseman**. Se voi olla hyvinkin lähellä käyttäjää. On huomattava, että RTK GNSS-järjestelmän rinnalle on tullut (2024) myös maksuttomia järjestelmiä, kuten **Beidou PPP¹ ja Galileo HAS²**, joiden avulla päästään 10 cm (Beidou) / 15-20 cm (Galileo) horisontaaliresoluutioon. Nämä järjestelmät vaativat laitteelta kykyä vastaanottaa ao. signaaleja, kuten esim. Southin laitteissa on³.

RTK GNSS -laitteita käytetään siis tilanteissa, joissa tarvitaan **tarkkaa ja reaaliaikaista sijaintitietoa**, esimerkiksi tarkkuutta vaativassa maanmittauksessa, paikannuksessa rakennusprojekteissa tai tienrakennuksessa, sekä maanviljelyssä esimerkiksi tarkkuuskylvöissä tai sadonkorjuussa.

Yleensä yhden pisteen mittaustapahtuma on sellainen, **että mittalaite (joka sisältää antennin) on kiinnitetty n. 180-200 cm pitkän mittasauvan päähän** ja sauvan pää on maassa siinä kohdassa, jonka paikka halutaan määrittää. Laitetta ohjataan ns. **kontrollerilla, joka on nykyään useimmin Android-laite**, esim. normaali puhelin tai tabletti tai kenttäkäyttöön tarkoitettu vahvistettu ja suojattu puhelin, jossa voi olla sekä mekaaninen että kosketusnäppäimistö. Käytännössä kaikki markkinoilla olevat RTK GNSS-mittalaitteen on tarkoitettu **ulkokäyttöön vaihtelevissa lämpötiloissa, myös pakkasella ja ne kestävät kosteusrasitusta (sadetta) ja jopa upotuksen veteen**.

¹ <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/5/1358>

² <https://www.maanmittauslaitos.fi/ajankohtaista/galileon-has-tarkkuuspalvelu-tarjoaa-tarkempaa-paikannusta>

³ <https://www.youtube.com/watch?v=FugHENPCha4>

Mikä on RTK GNSS-laitteiden tarkkuus ?

RTK GNSS -laitteiden tarkkuus riippuu monista tekijöistä, kuten käytetystä laitteistosta, signaalien laadusta ja ympäristöolosuhteista. Yleensä tarkkuutta ei kuvata sillä sanalla (accuracy) vaan sanalla "precision" eli mittausepävarmuus. Se kuvaa sitä, millainen hajonta samassa pisteessä mitatuilla arvoilla on. Yleensä sillä tarkoitetaan ns. normaali- eli Gaussin jakauman sigma-arvoa⁴ eli hajontaa, jonka sisälle menee n. 68 % tuloksista. Huomaa, että on siis ihan mahdollista, että vaikka laite toimii oikein, se voi antaa yksittäistuloksen, joka ei ole yhden sigma-arvon (eli SD-arvon) sisällä. Sana tarkkuus puolestaan pitää sisällä kaikki tulokseen vaikuttavat virhelähteet, joihin kuuluu RTK GNSS-järjestelmässä myös tukiaseman (tai tukiasemien) järjestelmälle antama tarkkuus.

Ideaalitilanteessa, kun käytössä on korkealaatuiset GNSS-vastaanottimet ja hyvä signaalien saatavuus, mittausepävarmuus voi olla **jopa alle senttimetrin luokkaa** sekä vaakasuunnassa että pystysuunnassa. **Kuitenkin käytännön sovelluksissa tarkkuus voi riippua ympäristöstä, kuten signaalien häiriöistä, signaalia heijastavista pinnoista tai satelliittien näkyvyydestä.** Perinteisesti järjestelmän tarkkuutta on kuvattu termillä "pystyssä oleva kananmuna", eli +/- 10-15 mm vaakasuunnassa ja n. +/-15-20 mm pystysuunnassa. Kun mittaustuloksia keskiarvoistetaan, mittausepävarmuus voi olla jopa muutamia millimetrejä.

RTK GNSS -laitteiden tarkkuuteen vaikuttaa pääasiassa muutama tekijä:

- 1) **Satelliittisignaalin laatu:** Satelliittien signaalien vahvuus, esteetön näkyvyys ja signaalien monipuolisuus vaikuttavat suoraan tarkkuuteen. Parempi signaalien laatu johtaa yleensä parempaan tarkkuuteen.
- 2) **GNSS-vastaanottimen laatu:** Laadukkaat GNSS-vastaanottimet pystyvät paremmin käsittelemään signaaleja ja tarjoamaan tarkempaa sijaintitietoa. Tämä sisältää vastaanottimen herkkyyden ja kyvyn korjata signaalin häiriöitä. Laadusta puhuttaessa tärkeitä parametreja **ovat satelliittitaajuuksien määrä** (näitä ovat esim. GPS:llä L1, L2, L5 jne.) ja **kanavien lukumäärä** (vaihtelee kymmenistä jopa yli 1500 kanavaan). Satelliittitaajuuksien määrän lisäämisen on osoitettu parantavan toimintaa häiriöllisessä monitie-etenemisympäristössä (GPS vs GNSS)⁵. Kanavien lukumäärän lisääminen mahdollistaa laitteelle paremman kyvyn käsitellä heijastuneita häiriösignaaleja ja nopeamman toiminnan, mutta se myös samalla lisää laitteen energian kulutusta⁶.
- 3) **Korjaussignaalin saatavuus:** RTK-järjestelmä vaatii korjaussignaalin lähettämistä tukiasemasta liikkuvalla laitteella. Korjaussignaalin saatavuus ja laatu vaikuttavat suoraan tarkkuuteen. Suomessa Maanmittauslaitos on rakentanut koko Suomen kattavan tukiasemaverkoston. Karera myy tämän verkon korjaussignaalia kaupallisesti. Jos käytät omaa tukiasemaa, ota huomioon, että tarkkuus heikkenee etäisyyden kasvaessa. Yleisesti mittausepävarmuus (precision) heikkenee 0.5-1 ppm (miljoonasosan) verrattuna etäisyyteen eli jokainen 10 km lisäys etäisyyteen tukiasemasta heikentää tarkkuutta 0.5-1 cm verran. Koska RTK-järjestelmässä itse asiassa mitataan etäisyyttä tukiasemiin, siitä seuraa, että jos tukiaseman /asemien paikan määrittelyssä on virhettä, ao. virhe näkyy suoraan kentällä mittaavan laitteen, roverin, tuloksessa.

⁴ https://en.wikipedia.org/wiki/Normal_distribution

⁵ https://www.researchgate.net/publication/345719792_Adaptive_GNSS_Receiver_Design_for_Highly_Dynamic_

⁶ <https://globalgpsystems.com/gnss/understanding-satellite-frequencies-and-gnss-receiver-channels/>

- 4) **Ympäristöolosuhteet:** Rakennukset, puut, vuoret ja muut esteet voivat heijastaa tai tukkia satelliittisignaaleja, mikä voi vaikuttaa tarkkuuteen. Myös sääolosuhteet, kuten pilvisuus tai sateet, voivat vaikuttaa signaalien laatuun.
- 5) **Vastaanottimen sijainti:** GNSS-vastaanottimen sijainti maastossa voi vaikuttaa signaalien vahvuuteen ja niiden määrään, mikä puolestaan vaikuttaa tarkkuuteen. Ns. **PDOP-luku** kertoo satelliittien näkyvyydestä. **Dilution of Precision (DOP)**⁷ on termi, jota käytetään satelliittinavigaatioissa ja geomatiikan⁸ suunnittelussa määrittämään virheen eteneminen navigointisatelliittien geometrian matemaattisena vaikutuksena paikannusmittauksen tarkkuuteen. **PDOP ottaa huomioon kaikki kolme dimensiota (3D).** Jos arvo on alle 1, arvo on ideaalinen eli paras mahdollinen ja arvot välillä 1-2 tarkoittavat erittäin hyvää tilannetta.
- 6) **Laitteen käyttötapa:** Oikein kalibroitu ja käytetty GNSS-vastaanotin voi tarjota paremman tarkkuuden kuin huonosti kalibroitu tai esim. väärässä kulmassa oleva vastaanotin. Useimmissa ammattikäyttöön tarkoitetuissa RTK GNSS-laitteissa on ns. **IMU (Inertial Monitoring Unit), joka korjaa vinossa olevan mittasauvan aiheuttaman mittausvirheen.** IMU siis "tietää", mihin suuntaan ja kuinka paljon sauva on kallistuneena ja korjaa virhettä vastaavasti. Mittaustilanne voi olla sellainen (esim. mitattaessa puunrungon paikkoja), että mittasauva täytyy olla vinossa, koska muuten satelliittisignaalien laatu heikkenee liikaa eikä saada mitään mittaustulosta eli ns. RTK Flxiä. Käytännössä IMU mittaa siis paitsi kallistusta, myös kallistuksen kompassisuuntaa ja kompassisuunnan mittauksen käytetään paitsi magnetometriä (joka vastaa kompassia), myös kiihtyvyysantureita, jotka mittaavat laitteen liikettä ja sen suuntaa koko ajan. Sillä on suuri merkitys varsinkin niissä RTK-laitteissa, joissa on integroituna lasermittaus.

RTK GNSS-laitteiden tarkkuus käytännössä

RTK GNSS-laitteiden datalehdissä on ilmoitettu laitteen tarkkuus esim. näin: Horizontal: 8 mm + 0.5 ppm RMS , Vertical: 15 mm + 0.5 ppm RMS. Tässä ilmoitustavassa on **kaksi tärkeää termiä, ppm ja RMS**. Näistä ensinmainittu tarkoittaa **metrin miljoonasosaa (parts per million) kertaa etäisyys tukiasemasta metreinä** eli esim. 0.5 mm ppm tarkoittaa 10 km etäisyydellä: $0.5 \times 10^{-6} \times 10000 \text{ m} = 5 \times 10^{-3} \text{ m} = 5 \text{ mm}$. Huomaa, että VRS-tukiasema voi olla hyvinkin lähellä. Termi RMS (Root Mean Square) on myös hyvin tärkeä. Se tarkoittaa jakauman hajontaa eli ns. sigma-arvoa. Normaalijakaumalla sigma-arvon sisällä on +/-34.1 % eli 68.2 % kaikista mittaustuloksista⁹. Esim. 8 mm + 0.5 ppm RMS tarkoittaa (tukiaseman ollessa 10 km päässä), että horisontaali (N-E) mittauksen RMS-hajonta on 8 mm+5 mm = 13 mm. Jos taas tukiasema on käyttäjän vierellä, hajonnaksi tulee 8 mm, koska etäisyyden sisältävä termi jää pois.

Onko eri merkkisten ja erilaisten laitteiden välillä sitten eroja käytännössä ? Kuten on osoitettu, tarkkuus ja mittausepävarmuus riippuvat siitä, kuinka paljon hyvin laitteet näkevät satelliitit (PDOP-luku) ja kuinka lähellä signaaleja heijastavia esteitä on. Jos mitataan "keskimääräisen haastavissa" oloissa, eri merkkisten laitteiden väliset mitatut pisteet ovat "standardikananmunan" sisällä¹⁰. Kun mittaus tehdään "vaikeissa" oloissa, joissa satelliittilukumäärä putoaa selvästi ja lähellä on signaaleja heijastavia kohteita, laitteiden välille voi tulla selviä eroja. On jopa mahdollista, että jotkut laitteet eivät

⁷ [https://en.wikipedia.org/wiki/Dilution_of_precision_\(navigation\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Dilution_of_precision_(navigation))

⁸ <https://fi.wikipedia.org/wiki/Geomatiikka>

⁹ https://en.wikipedia.org/wiki/Normal_distribution

¹⁰ https://dimense.fi/site/assets/files/1268/rtk_gnss_comparison.pdf

toimi ollenkaan tai niillä kestää kauan aikaa päästä ns. RTK FIX-tilaan eli siihen toimintatilaan, jossa ne saavat jatkuvasti korjaussignaalia ja kykenevät yhdistämään omat mittaustuloksensa korjaussignaaliin. On mahdollista, että tilanteessa, jossa yksi laite ei pääse ollenkaan RTK FIX-tilaan, toinen laite mittaa koko ajan RTK FIX-tilassa. [Käytännön mittauksissa](#) on osoitettu, että **suuresta kanava- ja satelliittitaajuuksien lukumäärästä on etua vaikeissa oloissa mitattaessa.**

IMU-korjauksen eli **kallistuskorjauksen mittausepävarmuus (precision)** voi olla ilmoitettu esim. näin ”less than 10mm + 0.7 mm/° tilt to 30°”. IMU (voi olla ilmoitettu esim. sanalla ”tilt correction”) voi joko olla päällä tai poissa päältä. Koska IMUn mittausepävarmuuden ilmaisevassa lausekkeessa on termi 10 mm, se tarkoittaa, että jos se on päällä, se heikentää heti hajontaa 10 mm ja jos vielä kallistuskulma on 30 astetta, niin hajonta lisääntyy termillä $10 \text{ mm} + 0.7 \times 30 \text{ mm} = 31 \text{ mm}$. Eli tarkimman tuloksen saa niin, että IMU kytketään pois päältä ja mittasauva säädetään tarkasti pystysuoraksi. Tyypillinen mittasauvan kallistuskulmavirhe (silloin kun sitä yritetään pitää käsin pystysuorassa) voi olla n. 5-10 astetta eli ym. kaavalla laskettu mittaustulosten hajonta lisääntyy silloin lukemalla $10 \text{ mm} + 5-10 \times 0.7 \text{ mm} = 13.5-17 \text{ mm}$ eli ollaan vielä ns. kananmunatarkkuudessa.

Erot ohjelmistojen välillä

Ohjelmistot toimivat nykyään **yleensä Android-alustalla**. Aiemmin ja vähäisessä määrin vielä nykyäänkin on ollut saatavana **Windows-alustalla** toimivia ohjelmia, mutta Android-alustan edullisuus ja monipuolisuus on tehnyt sen, että se on selvästi Windowsia yleisempi. On olemassa myös joitain **iOS-alustalla** toimivia ohjelmia.

Ohjelmistoja on pääsääntöisesti kahdenlaisia: **joko ao. merkille tehtyjä tai ns. geneerisiä**, jotka toimivat usean eri merkkisen (esim. 10-15 eri merkin) laitteen kanssa. Ohjelmat eroavat toisistaan näissä: 1) **laitteen konfigurointiominaisuudet** (geneerisissä ohjelmissa on vähemmän laitteen konfigurointiominaisuuksia), 2) tarjolla olevat **mittausominaisuudet** (kuten perusmittaukset -paikan mittausta ja paalutus, koodikirjastojen käyttö, CAD-tuonti, mittausta CAD-kuvista, linjojen luonti, kuvien käyttö eli AR-ominaisuudet, linkitys muihin laitteisiin kuten kaikuluotaimeen tai takymetriin jne.), 3) **lisensointi** (on olemassa sekä ikuisen lisenssin että vuosilisenssin ohjelmia). Merkkikohtaisten ja maksullisten geneeristen mittausohjelmien (esim. **Aplitop TcpGPS**) lisäksi on olemassa myös ilmaisia geneerisiä mittausohjelmia, kuten **Qfield**, joka on ns. GIS-ohjelma (geographic information system) eli paikkatietojärjestelmä, joka luo, hallitsee, analysoi ja kartoittaa kaiken tyyppistä dataa. Myös suomalainen rakennusympäristöön tehty **Infrakit** on yksi mahdollisuus, joka tuo mukanaan lisäominaisuuksia, kuten tietojen siirron työpöytäympäristön ja mittausympäristön välillä ja **BIM-ominaisuudet** (Building Information Modeling eli rakennuksen tietomallin).

Perusmittaus-toiminnot maanmittausohjelmissa ovat **paikanmittaus ja paalutus / kohteen haku**. Ensin mainittu tarkoittaa sitä, että maastossa on joku kohde, jonka koordinaatit halutaan tietää. Silloin mittasauvan kärki viedään maastossa sen pisteen kohdalle, jonka koordinaatit halutaan tietää. Mittauksen lopputulos on tällöin yksinkertaisesti lista pisteistä (esim. csv-muodossa), joka sisältää pisteiden koordinaatit halutussa koordinaatistossa ja korkeuden halutulla geoidimallilla. Mittauslaite tekee koordinaatti- ja geoidimallimuunnokset mittauksen yhteydessä. Mittaus voi nykyään tapahtua myös etänä laserilla tai fotogrammetrialla. Lasermittaus on nopea, mutta ei ihan yhtä tarkka kuin normaali RTK-mittaus. Fotogrammetria voi olla yhtä tarkka kuin RTK-mittaus, mutta yleensä kentällä toimivissa laitteissa ei riitä laskentakyky fotogrammetrian täysimääräiseen hyödyntämiseen vaan kohteesta otetut kuvat tai video viedään toimistolle, jossa laskenta tehdään tietokoneella. Paalutus /

kohteen haku voi tapahtua **joko CAD-kuvalla tai pistelistan avulla**. CAD-kuva (dxf,shp) tai yksittäinen piste tai lista pisteistä tuodaan laitteeseen ja siitä osoitetaan piste, jonka paikka halutaan määrittää ("paaluttaa" eli merkitä paalulla). Pistelistan avulla tapahtuvassa mittauksessa laite osoittaa nuolilla, mihin suuntaan käyttäjän pitää siirtää mittasauvaa, jotta listan ao. piste on sauvan kohdalla. Uusimmissa laitteissa paalutuksessa voidaan käyttää myös kamerakuvaa apuna.

On mahdollista, että laitteen **konfigurointi tehdään kokonaan mittausohjelmalla tai** erillisellä ohjelmalla (jossa on yleensä enemmän säätömahdollisuuksia), joka toimii selaimella, kun jollain älylaitteella on kytkeydytty laitteen muodostamaan Wifi-hotspottiin.

Koordinaatistomahdollisuuksissa voi olla eroja. Kaikissa Suomessa myytävissä ohjelmissa pitää olla tarjolla vähintään koko Suomen kattava **ETRS-TM35FIN ja paikalliset GK-koordinaatistot**. Myös vanhemmat **KKJ-koordinaatistot** saattavat olla joissain tapauksissa tarpeellisia. Koordinaattijärjestelmien välillä voi tehdä muunnoksia Paikkatietoikkunassa¹¹. Korkeusjärjestelmänä on nykyään käytössä **N2000, johon kuuluvat esim. geoidimallit FIN2005N00 ja FIN2023N00**. Myös **N60- ja N43-** järjestelmät ovat käytössä. Niinikään korkeusjärjestelmien välillä voi tehdä muunnoksia^{12,4}.

Laite ei toimi, mitä tehdä ?

Jos laite toimii huonosti tai ei ollenkaan, se voi johtua useammasta seikasta:

- 1) Onhan **laitteen ja kontrollerin (puhelin tai padi) välillä yhteys** ? Se voi olla Wifin tai Bluetoothin kautta. On mahdollista, että mittauspaikassa ei ole käytössä 4G/5G-verkkoa. Tällöin ainoa mahdollisuus on käyttää UHF-verkkoa ja toista laitetta tukiasemana.
- 2) tarkista, että laite saa **RTK-korjaussignaalia** joko internetin tai UHF-radion kautta. On mahdollista (mutta harvinaista), että korjaussignaalissa olisi jotain vikaa, mutta jos sinulla on oma tukiasema, sen paikan määrittely voi olla virheellinen
- 3) millainen on **mittauspaikka ja mikä on PDOP-luku** ? Jos mittaat hyvin hankalassa paikassa, jossa satelliittien näkyvyys estyy, siirry parempaan paikkaan ja tarkista toimivuus siellä. Jos PDOP on luokkaa 1-2, se on vielä normaali ja jos alle 1, se on paras mahdollinen luku¹³ (PDOP kertoo satelliittien näkyvyydestä). Suomessa on palvelu nimeltä GNSS-Finland-Service, josta voi nähdä Maanmittauslaitoksen asemilta mitatut kunkin satelliitin signaalivoimakkuudet¹⁴
- 4) jos epäilet, että samasta paikasta otetut lukemat heittelevät liikaa, tarkista, että **kallistuskorjaus on päällä** (jos laitteessa se on) tai tarkista, että **mittasauva on aina mitattaessa suorassa**
- 5) jos epäilet, että yksittäistuloksilla **on liian suuri hajonta**, laita mittalaite kolmijalalle ja ota pidemmän aikaa yksittäismittaustuloksia ja **laske niistä keskihajonta** ja tarkista, onko se linjassa laitteen oman lukeman kanssa (ota huomioon keskihajonnan määritelmä¹⁵)
- 6) jos samaa paikkaa mitattaessa tulokset vaihtelevat, tarkista kohdat 3 ja 4 ja tarkista vielä, että sauva ei uppoa maaperään – **kovalla alustalla tehdyt mittaukset ovat luotettavimpia**
- 7) jos mittaustuloksesi mukaan olet kaukana sieltä, missä sinun pitäisi olla, tarkista, että tulokset ovat kartan ja muiden tietojen mukaan **samassa koordinaatistossa**. Suomessa on käytössä

¹¹ <https://kartta.paikkatietoikkuna.fi/>

¹² <https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/koordinaattimuunnokset/fin2000-geoidimalli>

¹³ [https://en.wikipedia.org/wiki/Dilution_of_precision_\(navigation\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Dilution_of_precision_(navigation))

¹⁴ <https://gnss-finland.nls.fi/#/stations>

¹⁵ https://en.wikipedia.org/wiki/Standard_deviation

mm. ETRS-TM34,35 ja 36FIN ja ETRS-GKxx-koordinaatistot, missä xx voi vaihdella 19-31¹⁶. Ota huomioon, että GK-koordinaatistoissa voi esiintyä sekä ”pitkää” että ”lyhyttä” koordinaattia, mikä lyhyen tapauksessa tarkoittaa, että lukemasta puuttuvat kaksi ensimmäistä numeroa (eli GK-lukema). Jos näin on, voit mahdollisesti korjata tilanteen laitteen mittausohjelmassa kohdassa ”**false easting**”, jossa voit lisätä esim. GK26:n tapauksessa sinne lukeman 26000000. Voit tehdä korjaukset myös jälkikäteen esim. Excelillä

- 8) **GNSS-häirintä** on mahdollista, varsinkin Suomen raja-alueilla. Häirintätilanteissa mittaus voi olla mahdotonta
- 9) Auringon aktiivisuus voi olla niin voimakasta, että se estää mittauksen. Tarkista tilanne RWC:n sivuilta: <https://rwc-finland.fmi.fi/>
- 10) Jos laite tarvitsee ihan oikeasti huoltoa, monilla alla esitetyillä merkeillä on EU-alueella huolto / tarkistuspiste, johon laite voidaan toimittaa. Näitä on Dimensen laitteilla sekä EU-alueella että tehtailla Kiinassa. Laitteissa voi olla myös sisäänrakennettuna **tarkastusohjelmia**, jotka käyvät läpi laitteen toiminnan. Ne löytyvät usein laitteen konfigurointiasetuksista. Jos laite on kokenut voimakkaan täräyksen, se voi tarvita ns. e-bubblekalibroinnin, jonka käyttäjä voi tehdä itsekin Southin laitteissa käytetyllä Survstar-ohjelmalla.

Vinkkejä laitteen ostajalle

Se, millainen laite on käyttäjälle paras, riippuu paljon laitteen käyttötarkoituksesta. Laitteet eroavat toisistaan 1) hinnan, 2) ominaisuuksien, 3) koon ja painon ja 4) varusteiden, kuten laukun, laturin ja mittasauvan ja 5) ohjelmiston osalta. Alla on esitelty muutamia valinnassa käytettyjä painotusvaihtoehtoja ja niiden perusteella tehtyjä valintoja Dimense Oy:n tuotevalikoimasta. Ajantasaiset hinnat löytyvät Dimensen sivuilta. Yhteistä kaikille laitteille on USB-C- ja Bluetooth-liitännät. Yleensä laitteissa on kiinteät akut, mutta joissakin kalleimmissa malleissa on vaihdettavat akut. Kaikki laitteet toimivat normaaleissa olosuhteissa reilusti työpäivän yli ilman lisälatausta. Ohjelmistojen saatavuudessa on eroja eli jotkut valmistajan omat ohjelmat ovat ilmaiseksi ladattavissa ja toiset taas maksullisia. Ensin mainitut voivat olla hyödyllisiä siinä tilanteessa, että laitteella on useita käyttäjiä, jotka kaikki käyttävät laitteen kontrollerina omaa puhelinta. Toisaalta mittalaitteen mukana kulkeva kontrolleri on sikäli hyödyllinen, että ladatut taustakartat, mittaustulokset ja asetukset ovat silloin yhdessä paikassa ja valmiina käyttöön.

Laitteiden tarkkuuksia ei ole otettu tarkasteluun siitä syystä, että RTK FIX-tilan tarkkuudet ovat datalehtien perusteella hyvin lähellä toisiaan. Näin on myös mitattu olevan, kunhan ei mennä liian vaativiin mittausympäristöihin. Tällainen vertailutesti on tehty Dimensellä v. 2024 ja tulokset ovat nähtävissä [täällä](#).

1: Pieni, edullinen ja kätevä laite

Tässä kategoriassa on 2 laitetta: Singular XYZ Sfaira One Plus ja FJDynamics V4E / V4E Pro ovat molemmat pieniä ja keveitä ”jätskitötteröitä”, jopa taskuun mahtuvia, kuitenkin täysiverisiä RTK GNSS-laitteita. Ominaisuuksiltaan ne ovat hieman riisutumpia kuin isoveljensä samoilta merkeiltä, näissä on kommunikointimuotona ulospäin vain Bluetooth ja USB-C eli näissä ei ole sisäisiä GSM-modeemeita

¹⁶ <https://www.einouikkanen.fi/geodocs/kkjgps.htm>

tai UHF-radioita. Tämän kategorian laitteet ovat hinnaltaan suhteellisen lähellä toisiaan, noin 1600-1700 euron luokassa, sisältäen mittausohjelman, laitteen ja mittasauvan (alv. 0).

Singular XYZ Sfaira ja One Plus:n koko on 149 x 51 mm ja paino **409 grammaa**. Sfaira One Plus:ssa on **1408 kanavaa**. **Siinä on myös kallistuskompensointi**, joka toimii **60 asteen** kallistukseen saakka. Toimintalämpötila-alueeksi luvataan **-45 C - +75 C ja suojaustasoksi IP65**. Mittausohjelma **SingularPad** on toiminnoiltaan verrannollinen muihin täysin varustettuihin kilpailijoiden ohjelmiin eli siinä on mukana myös **kerrosten valinta, CAD-tuonti (dxf ja dwg, ei shp:ta), linjaominaisuudet, taustakartan valinta ja koodikirjastot**. Testi on osoittanut, että suorituskyky on lähellä isompia laitteita, mutta tarkkuus on hieman huonompi vaatisissa paikoissa¹⁷.



Kuva 1. SingularXYZ Sfaira One Plus

Uutuutena syksyllä 2025 tuli FJDynamicsilta laite ainutlaatuisella ominaisuudella: **V4E Pro**, jonka pohjassa on alaspäin mittaava laser, joka voi eliminoida mittasauvan tarpeen. Tämä on hyödyllinen ominaisuus esim. suurien jännitteiden ympäristössä, kuten sähköistetyllä junaradalla sekä esim. kun halutaan mitata alas tai alaviistoon johonkin syvempänä olevaan kohteeseen, johon mittasauvan pituus ei riitä. V4E Prossa on kallistuskompensointi, joka toimii 30 asteen kallistukseen saakka. Laseretäisyysmittari toimii 20 metrin etäisyyteen saakka. V4E ja V4E Pro ovat myös pieniä (**182x53x53 mm**) ja keveitä (**320 grammaa**). Hinta V4E Standardilla Trion Survey-ohjelman kanssa on **999 euroa**, V4E Pro + Trion Survey maksaa **1499 euroa** ja mittasauva molempiin **149 euroa**. V4E Standardissa ei oke kallistuskompensointia eikä laseria, mitkä löytyvät Pro-mallista. Molemmat laitteet ovat **IP67 vesi/pölytiivitä** ja käyttölämpötila-alue on **-20 C - +60 C**.



Kuva 2. FJDynamics V4E Pro

¹⁷ https://dimense.fi/site/assets/files/1993/comparison_4_gnss_devices.pdf

2. Peruslaite kaikilla varusteilla

Tässä "Toyota Corolla"- luokassa on kaikkien merkkien peruslaitteet, kuten **South V3, South V4, FJDynamics V10a ja V10i sekä Tersus Luka**. V10i ja 10a on käsitelty seuraavassa kappaleessa. Nykyään (2025) jo peruslaitteissa on kamerat, joilla voi hakea kohdetta. Näin on South V4:n ja V3:n kohdalla. Hintaluokka on pelkälle laitteelle, mittasauvalle ja ohjelmalle noin 2190 e-4300 e. Toisaalta koko paketin (laite, kontrolleri, laukku, laturi, kaapelit, mittasauva, ohjelma, kontrollerin pidike) voi saada jopa 2890 eurolla ([V4-paketti](#)). Kallein on Tersuksen laite, mutta siinä on huomioitava, että sen täydellisen NUWA-mittausohjelman voi ladata ilmaiseksi niin moneen laitteeseen kuin haluaa.

[South V4](#) on tämän luokan edullisin laitepaketti. Siinä on sama vastaanotin kuin [testivoittaja G4:ssä](#). Siinä on **1698 kanavaa**. Laitteen mitat ovat **105mm(φ)×58mm(H) ja paino 540 grammaa**. Laitteen kotelo on **IP68** veden ja pölynpitävä ja kestää 100 % kosteutta ja pudotuksen betonilattialle 2 m korkeudelta (mittakepin kanssa). Käyttölämpötila-alue on **-45 C - +75 C**. Kallistuskompensoinnin **mittausalue on 0- 60 astetta**. **Kontrolleri H9** vastaa ominaisuuksiltaan suurelta osin kilpailijoitaan: IP68, "oikea" näppäimistö kosketusnäytön ohella, näyttö 6.0-inch CTP, 720*1440, 500 cd/m, paino **409 grammaa, 7700 mAh akku ja muisti 4G DDR4 + 64G**. Käyttölämpötila-alue on -20 C - +55 C. Täydelliseen pakettiin kuuluu laturi, kovamuovisalkku ja mittasauva.



Kuva 3. South V4 ja kontrolleri H6.

[South V3](#) :ssa on sama vastaanotin kuin G4:ssä ja V4:ssa eli **1698 kanavan** kallistuskompensointiyksiköllä (IMU) varustettu RTK GNSS-vastaanotin. Laitteiden välinen ero on siinä, että V3 sisältää GSM-modeemin, mitä puolestaan V4 ei sisällä. V3:n mitat ovat **134mm(φ)×79.1mm(H) ja paino 860 grammaa**. Näiden GNSS-yksikkö on integroitu edistyneeseen SoC:hen (eli koko toiminta on integroitu yhteen piiriin). Sirun etuna on korkea integrointi ja pieni tehokulutus, häiriösignaalien tehokas vaimennus ja laadukkaampi havaintodata satelliitteista. V3 ja V4 sisältävät kallistuskompensoinnin, joka toimii pisteestä toiseen ilman uudelleen kalibrointia ja kallistuskulma voi olla jopa 60°. V3 saa RTK GNSS- korjausdataa kontrollerin (H9) kautta internetistä tai oman "**Farlink**"- **radion** kautta suoraan toiselta GNSS-laitteelta. V3:ssä on RTK-korjaussignaalin vastaanotto mahdollinen myös laitteen oman **GSM (4G)-modeemin** kautta. Laitteen horisontaalinen tarkkuus on **8**

mm + 0.5 ppm RMS ja vertikaalinen 15 mm + 0.5 ppm RMS (NTRIP-korjauksella). Sisäänrakennettu **6800 mAh** akku kestää jopa **25 tuntia jatkuvaa toimintaa**. **USB-C**-tyypin liitin mahdollistaa sisäänrakennettujen akkujen lataamisen PD-pikalaturilla, kuten myös pääsyn sekä sisäiseen muistiin että verkkokäyttöliittymään samanaikaisesti ilman työtilan vaihtamista. **SOUTH V3** on **IP68**-pölyn/vedenpitävä, kestää kaatua mittasauvan kanssa 2 m korkeudelta betonille ja käyttölämpötila-alue on **-45°C~+75°C**.

Kontrolleria H9 voidaan käyttää monen merkkisten laitteiden kanssa varustettuna yleiskäyttöisellä mittausohjelmalla, kuten Aplitop TcpGPS tai Qfield. H9 on uuden sukupolven ammattimainen Android-ohjain. Siihen on asennettu **Android 12 OS** ja siinä voidaan ottaa käyttöön **täydellinen mekaaninen näppäimistö** erillisillä näppäimillä 26 kirjaimelle ja numerolle, mikä tekee käytöstä kentällä nopeamman ja on hyödyllinen varsinkin kylmällä säällä. 6 tuuman näytön resoluutio on 720*1440 ja kirkkaus 500 cd/m². Laite on pöly/vesitiivis (**IP68**) ja 1.5 metrin pudotuksenkestävä. Käyttölämpötila-alue on **-20 to +55°C**. Sisäänrakennettu **7700 mAh** Li-ion akku kestää pitkään, koko työpäivän. **Kaksi nano-SIM-korttia** tukevat 4G-verkkoa. Mikro-SD-kortilla tallennustilaa voidaan laajentaa 256 Gt saakka. Laitteessa on integroituna erilaisia antureita, kuten NFC, gyroskooppi, e-kompassi, G-sensori jne. Uuden sukupolven Bluetooth V5.0:ssa työetäisyys on yli 20 metriä. Edistynyt WIFI-moduuli mahdollistaa työskentelyetäisyydeksi jopa 30 metriä.



Kuva 4. South V3 ja kontrolleri H9.

Tersus on v. 2014 perustettu yritys, jolla on toimipisteet Kiinassa, USAssa, EU-alueella ja Australiassa. Se on yksi maailman kuudesta GNSS-vastaanottimia valmistavasta yrityksestä, jotka suunnittelevat itse satelliittivastaanotinpiirit. **LUKA** on Tersuksen uusi malli, jossa on käytetty hyväksi Oscarista saatua kokemusta ja tuotu sama suorituskyky edullisemmalla hintatasolla. LUKA GNSS -vastaanotin tukee kalibrointivapaata kallistuksen kompensointitoimintoa, joka on immuuni magneettisille häiriöille. LUKA GNSS -vastaanottimesta on neljä versiota, eli valittavina ominaisuuksina ovat UHF-radio ja kallistuskompensointi (IMU), kaikissa malleissa on 4G-modeemi. Lukan koko on **132 x 68 mm** ja paino **835 grammaa**. LUKAssa on **1568 kanavaa**, 410-470MHz UHF-radio, 4G-modeemi, Wi-Fi, Bluetooth, NFC, kallistuksen kompensointi ilman kalibrointia, **8GB** sisäistä tallennustilaa, jopa **19 tuntia** työskentelyä 4G/3G/2G-verkossa ja Rover-radiotilassa ja **IP68**-luokiteltu pöly- ja vesitiivis kotelo ja se on MIL-STD-810G-testattu. Tersuksella on myös mahdollisuus hankkia Ilmainen Tersus Caster Servicen (TCS) tilaus, jolla korjaustiedot välitetään Luka Basesta Roverille. LUKA-vastaanotinta voidaan

käyttää mittauksiin Tersuksen omalla Android-pohjaisella kontrollerilla (**TC20 tai TC50**) tai millä tahansa nykyaikaisella Android-puhelimella. Ohjelma voi olla joko Tersuksen oma **Nuwa-ohjelma** (ilmainen) tai jokin muu Android-pohjainen ohjelma, kuten **Aplitop TcpGPS**. Tersus TC20 -ohjain on kestävä älypuhelin, jossa on **4,3 tuuman kosketusnäyttö, 3Gb/32Gb muistia ja aakkosnumeerinen näppäimistö. TC50:ssä on 5 tuuman kosketusnäyttö, tehokkaampi prosessori ja enemmän muistia (4Gb/64Gb)**. Molemmat laitteet ovat täysin yhteensopivia Tersus NUWA-ohjelmiston kanssa. Ammattimaisen **IP68**-luokituksen ansiosta ne ovat kestäviä ja luotettavia ankarissa käyttöolosuhteissa. NUWA-ohjelmistossa on **suomalaiset koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät**. NUWA on ladattavissa ilmaiseksi Tersuksen sivuilta. Myös LUKA on esiintynyt vertailutestissä ¹⁸.

TAP-järjestelmä

Huhtikuusta 2025 eteenpäin on LUKA saatavilla myös mallina, joka toimii sekä RTK-verkossa että myös maailmanlaajuisessa TAP-verkossa. Tarkkuus tässä verkossa on 15 mm vaakasuunnassa ja 30 mm pystysuunnassa. Ensimmäinen mittaus eli konvergointi kestää vähän kauemmin kuin RTK-verkossa, eli muutaman minuutin, mutta sen jälkeen mittaus on yhtä nopeaa kuin RTK-verkossa. TAP-verkko on paitsi laajempi, myös edullisempi kuin RTK-verkot.



Kuva 5. Tersus Luka ja kontrolleri TC50.

3. Augmented Reality-, fotogrammetria- ja laserlaitteet

Viime vuosina (2024-2025) on markkinoille tullut uusia laitteita, joilla voidaan käyttää kameraa joko yksittäisten pisteiden etämittaukseen (AR eli Augmented Reality) tai fotogrammetriapistepilven tekemiseen kohteesta (kuten drone-kuvauksessa, mutta ”maan päällä”). Näitä laitteita ovat esim.

¹⁸ https://dimense.fi/site/assets/files/2023/comparison_4_gnss_devices.pdf

South V3 (forogrammetriamalli) , Inno8 ja ALPS1 sekä FJDynamics V10i (fotogrammetria) ja V10L (laser ja fotogrammetria).

South V3 (ja myös Inno8) ovat normaaleja RTK GNSS-laitteita, mutta niissä on kamerat. Perustuen integroituun GNSS-paikannusteknologiaan, IMU kompensointiin, kuvantamiseen ja reaaliaikaisen vastaanottimen korkeuden laskemiseen, V3 tarjoaa elävää visuaalista dataa, jonka tuloksena merkintäkohde näkyy tarkasti näytöllä. Siitä on hyötyä varsinkin paalutustoiminnossa, jossa laite ohjaa käyttäjää kuvan perusteella. Laite toimii Southin omalla Survstar-ohjelmalla. V3:sta on siis 2 eri mallia, joista kalliimmassa on myös fotogrammetria. Se hyödyntää SoC-tyyppistä GNSS-piiriä 1698 kanavalla usealla satelliittiperheellä ja monitaajuista seuranta varten. AR-tekniikka näyttää virtuaalisen suuntaviivan ja etäisyydet kohteesta reaaliaikaisessa kuvanäytössä; siksi mittausohjelmisto voi ohjata mittajan pisteisiin reaaliaikaisten kuvien avulla, jolloin ei tarvitse huolehtia reittiohjeiden tunnistamisesta, mikä säästää aikaa ja vaivaa.

South INNO8 GNSS -vastaanottimessa on jopa 1760 kanavaa (eri malleja saatavana). Se integroi perinteiseen RTK GNSS- laitteeseen edistyneitä ominaisuuksia, kuten mittausympäristön 3D-mallinnuksen. INNO8 voi kerätä suoraan kuva- ja koordinaattitiedot. Käyttäjät voivat ottaa valokuvia tai kuvata videoita kävellessään. Vain yhden valokuvaryhmän tai videon avulla käyttäjät voivat saada koordinaatit kaikille kohteille mitattavissa olevan alueen sisällä, mittaamalla satoja pisteitä muutamassa minuutissa. Laitteen mitat ovat **155 mm (φ) x 98.5 mm (H) ja paino 1.2 kg**. Käyttölämpötila-alue on **-45 C - +75 C**, tiiveysluokka on **IP68** ja se kestää upotuksen 2m syvyyteen sekä pudotuksen 2 m korkeudelta betonilattialle. Laitteessa on 2 kameraa, ns. **AR-kamera (2 Mp)** alas/eteenpäin ja **8 Mp pääkamera**. IMU (kallistusanturi) toimii **0-60 asteen kallistuksilla** ja sen päivitysnopeus on **200 Hz**.

South V3:lla tai INNO8:lla tapahtuvan valokuvien tai videoiden keräämisen jälkeen käyttäjät voivat saada koordinaatit PC:n jälkikäsittelyohjelmistolla. Mittaus tapahtuu SurvSTAR-ohjelmalla ja 3D-mallinnus SGO-ohjelmalla. Tallennus voi tapahtua joko video- tai kuvamoodissa. Videona tallennettu 30 s otoksen jälkikäsittely viel 3 minuuttia ja 60 sekunnin videon käsittely noin 5 minuuttia. Tyypillinen mittausetäisyys on 10 m ja tarkkuus 5 cm.

Fotogrammetrian merkittävä ominaisuus on työvoiman säästö. Visuaalista paikannusta hyödyntäen maanmittaajat voivat työskennellä kentällä nopeasti. Kuvatietoja voidaan säilyttää pitkään ja käyttää uudelleen milloin tahansa. Nämä ominaisuudet soveltuvat erityisen hyvin epätavanomaisiin GNSS-mittaustehtäviin, kuten onnettomuuspaikkojen ja kaupunkien julkisten tilojen kaivauskohteiden tallentamiseen.

V3:a tai INNO8:aa käytettäessä mittaajat voivat tehdä etämittauksia jopa 10-20 metrin etäisyyksiltä tai enemmän (ihanteellisessa tilanteessa), joka eliminoi tarpeen lähestyä fyysisesti jokaista mittauspistettä.



Kuva 6. South Inno 8

South ALPS1 tarjoaa kaikki V3:n ja INNO8:n fotogrammetriaominaisuudet, mutta lisäksi lasermittauksen, joka hyödyntää suunnan määrittelyssä IMU-yksikköä. Tyypillinen lasermittauksen tarkkuus 5-10 cm etäisyyksillä on 5-20 m. ALPS 1 vastaa kooltaan V3-laitetta, mutta siinä on lisäksi laser. Lasermittaus tapahtuu samalla tavalla kuin normaali mittaus, mutta tulokseksi tulee sen pisteen koordinaatit, johon lasersäde osuu. Ominaisuuksista on jouduttu jättämään SIM-kortti pois, jotta laseryksikkö on mahtunut mukaan. ALPS1:n koko on 134mm(φ)×79mm(H) ja paino 860g. Käyttölämpötila-alue on -45 °C~+75 °C ja pöly/ vesitiiviys IP68.



Kuva 7. South ALPS1- mittauspaketti.

FJDynamics V10a ja V10i vastaavat Southin V3-malleja (AR stakeout ja fotogrammetriamallit). V10a:n kameroilla voi hakea kohteita paalutukseen ja V10i-laitteessa voi lisäksi tallettaa kuvia fotogrammetriaa varten. V10i:n 2 megapikselin etukamera ja 5 megapikselin alakamera, tehokas 4-ytiminen prosessori ja monen ytimen algoritmi varmistavat, että V10i antaa selkeän kuvan kohteesta AR Stakeout -toiminnossa. V10a:ssa molemmat kamerat ovat 5 Mp kameroita. **FJDynamics V10Li:ssä** on lisäksi lasermittaus eli se vastaa South ALPS1-mallia. Siinä on 2 kpl 2 Mp kameroita ja vihreä lasersäde toimii jopa 80 m etäisyydelle saakka. Käyttölämpötila-alue on **-35°C-65°C** ja pöly/vesitiiviys **IP68**. Se kestää kaatumisen 2 m korkeudelta mittasauvan kanssa. Akun kapasiteetti on **7000mAh**. Laitteen koko on **Φ130×83 mm** ja paino **980 gr**. Toiminta-aika rover-tilassa on **15 tuntia**.



Kuva 8. FJDynamics V10i ja kontrolleri E600.



Kuva 9- FJDynamics V10Li ja kontrolleri E600.