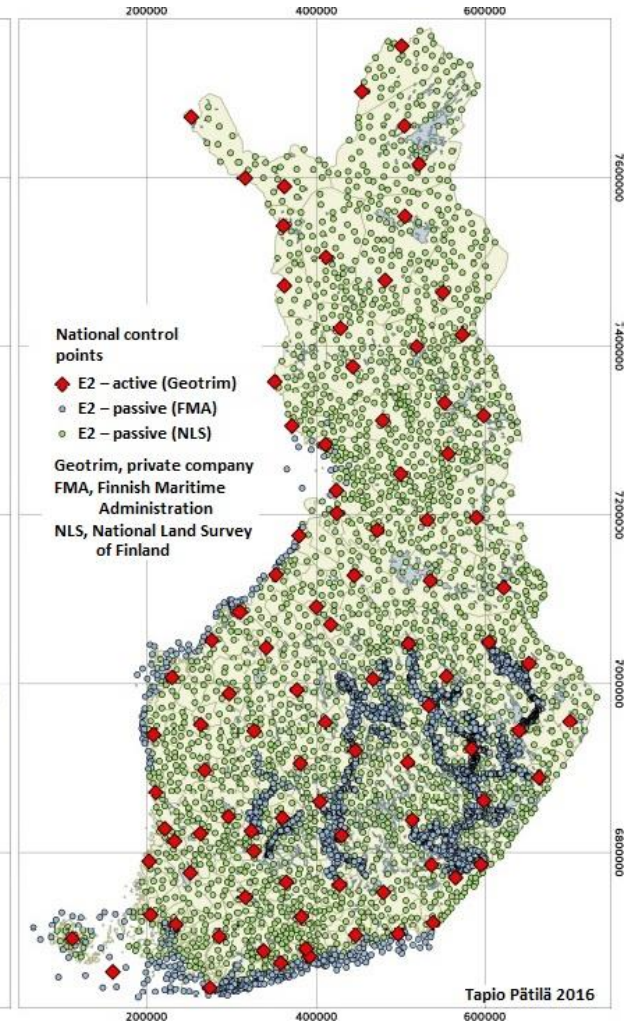
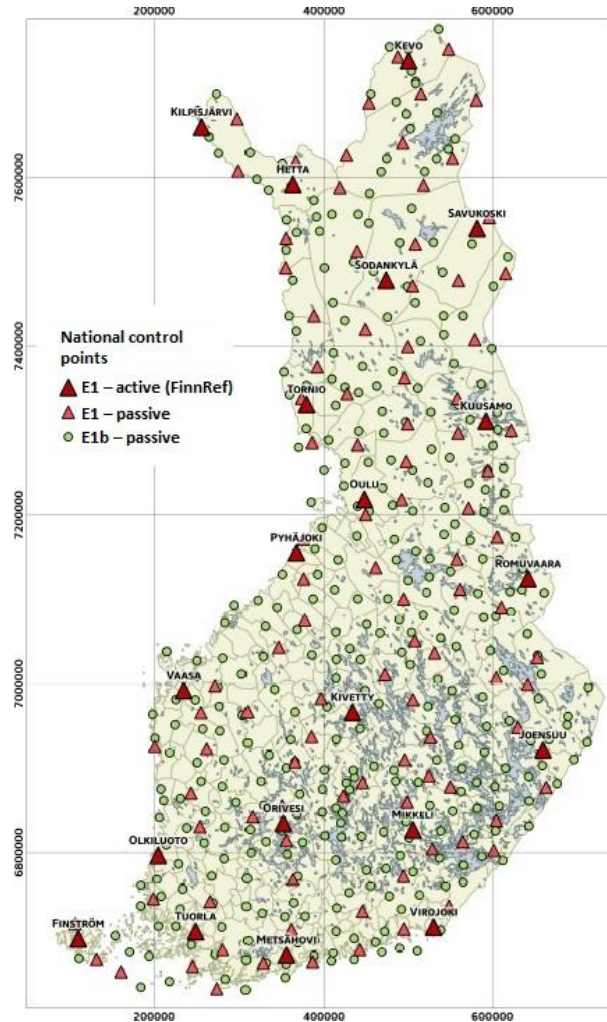


KIINTO- PISTEIDEN MITTAUS GNSS- MITTAUKSIN

Pasi Laurila
Lapin AMK
2.9.2019

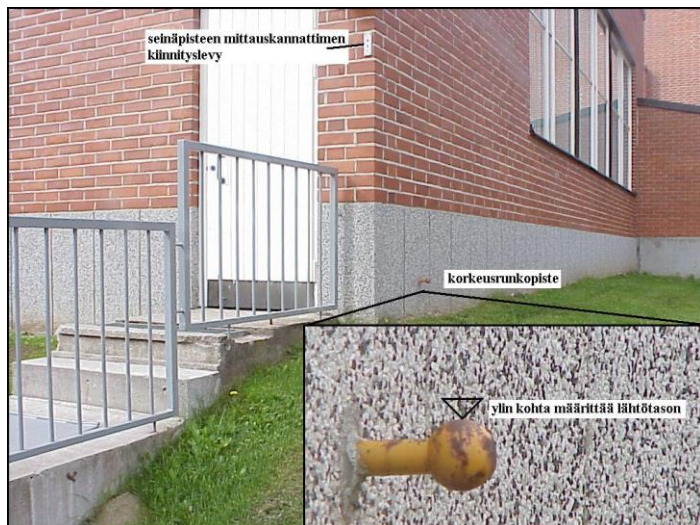


Kiintopisteet

Kiintopisteet ovat pysyvään käyttöön tarkoitettuja koordinaateiltaan ja/tai korkeudeltaan tunnettuja pisteitä

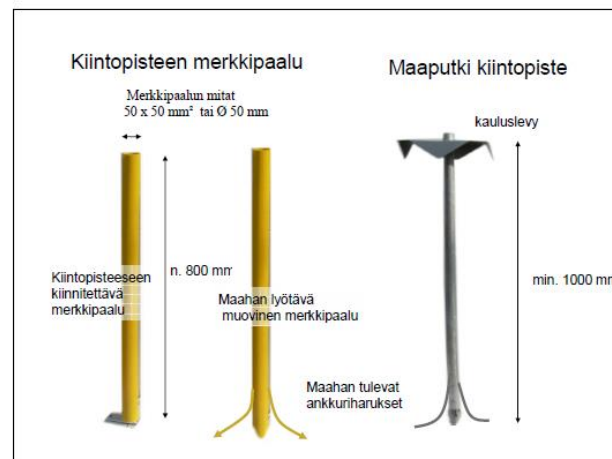
Kiintopisteet, runkopisteet, lähtöpisteet, liitospisteet, tukipisteet

Taso-, korkeus- ja yhdistetyt kiintopisteet



Kiintopisteitä

Lähde: Tiehallinto 2008. Tienrakentamisen mittaus suunnitelman laatiminen, s. 41



Tasorunkomittaukset

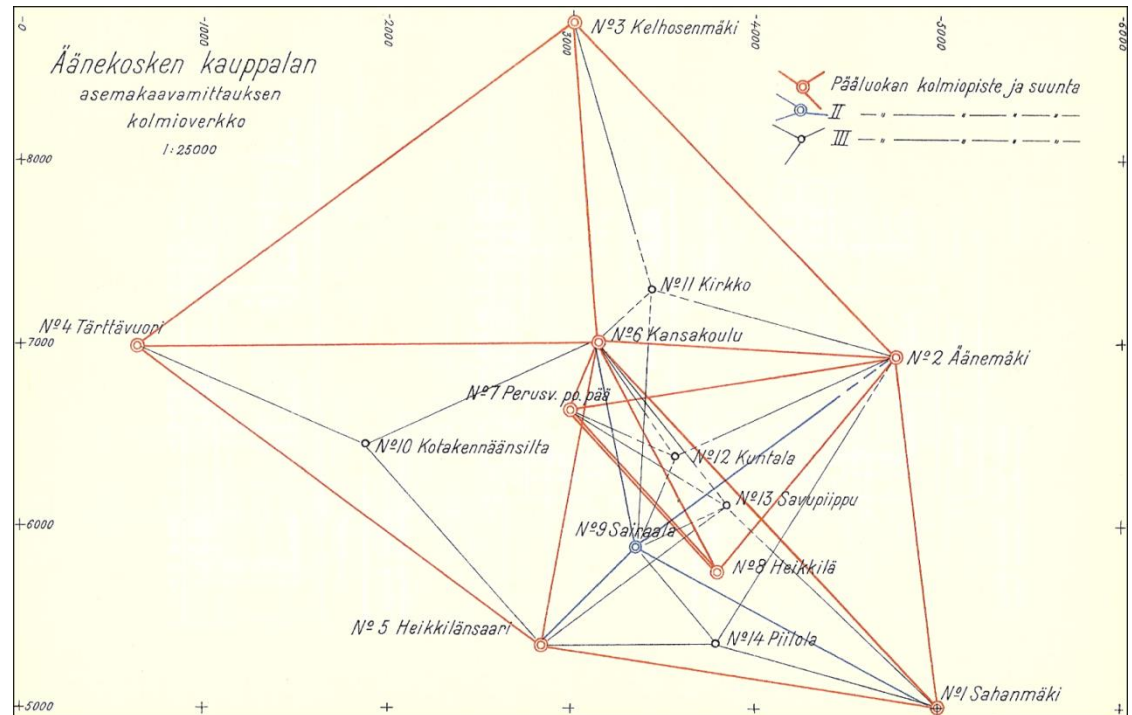
Runkomittauksen avulla tehdään (= realisoidaan) mittausalueelle koordinaatisto ja korkeuden vertailutaso

Koordinaatisto → tasokiintopisteet → tasorunkomittaus

Korkeus → korkeuskiintopisteet → korkeusrunkomittaus

3D-kiintopisteet?
→ EUREF-FIN on aito 3D-järjestelmä

Kolmiomittaus on perinteinen tasokiintopisteiden mittausmenetelmä. Staattinen GNSS-mittaus on nykyajan kolmiomittaus



Kiintopistemittaukset ovat mittauksen suunnittelun, havaintotyön ja laskennan osalta vaativia mittauksia, joten on luonnollista, että niitä ohjataan mittasuohjeiden avulla

Tasokiintopisteiden luokittelu kaavoitusmittausohjeissa

Yleisesti katsotaan, että kiintopistemittausten tulee olla hierarkkisia

KMO 1983	KMO 2003		Suhteellinen tarkkuus	Mittausmenetelmä	
I	Valtakunnalliset kiintopisteet	EUREF-FIN-tihennyspisteet	2 ppm	Satelliittimittaus (GNSS)	Kolmiomittaus
II			10 ppm		
III			20 ppm		
III	Kunnan kiintopisteet	Peruskiintopisteet			
IV		Käyttökiintopisteet			50 ppm
V					
VI					

Eri aikaisia ohjeita käytetään rinnakkain. Ohjeet eivät ole täysin ristiriidattomia

Suhteellisen tarkkuuden arvot ovat taulukossa osaksi suuntaa-antavia

Tasokiintopisteiden luokittelu JHS 184 -suosituksessa

Kiintopistemittaus EUREF-FIN – koordinaattijärjestelmässä

Uudet ohjeet muuttavat perinteisiä näkemyksiä kiintopistemittauksista

ETRS89/EUREF-FIN on aidosti kolmiulotteinen koordinaattijärjestelmä

Passiiviset ja aktiiviset kiintopisteet

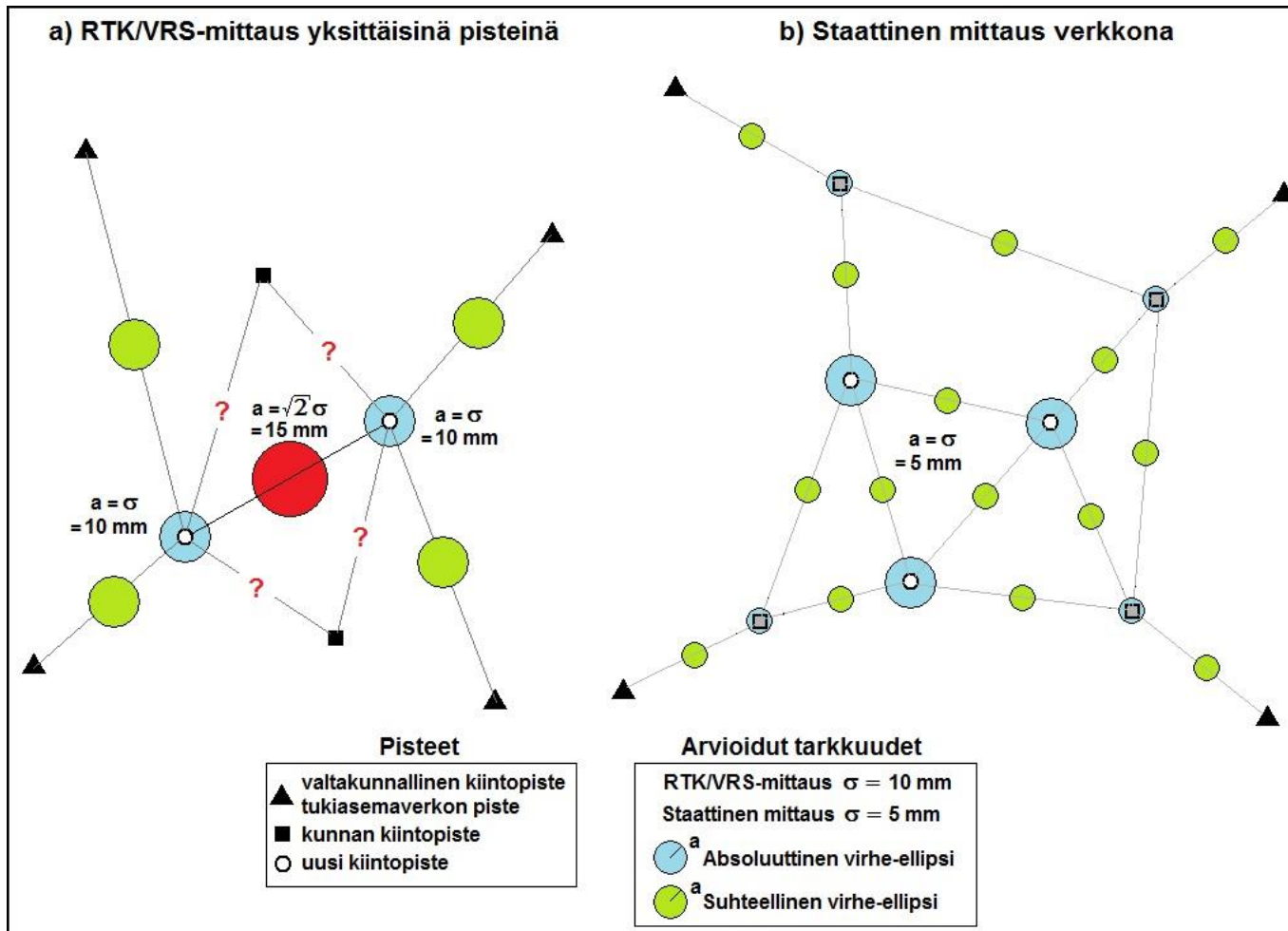
Hierarkian yli mittaaminen

Reaaliaikaiset mittausmenetelmät

Kontrollispisteet ja tarkkuusrajat

Tunnus	Passiiviset pisteet	Aktiiviset pisteet	GNSS-mittaus	Takymetri-mittaus
E1 (100 km)	EUREF-FIN-tihennyspisteet	FinnRef-asetat	Staattinen mittaus	
E1b (35 km)	EUREF-FIN-tihennyspisteet			
E2 (10 - 15 km)	EUREF-FIN-tihennyspisteet	Pysyvät GNSS-asetat		
E3 (4 - 10 km)	EUREF-FIN-tihennyspisteet Kunnan ylemmät peruskiintopisteet			Kolmio-mittaus (vaativiin työmaamittauksiin liittyen)
E4 (0.5 - 5 km)	Kunnan alemmat peruskiintopisteet			
E5 (0.1 – 0.5 km)	Kunnan ylemmät käyttökiintopisteet		Staattinen tai reaaliaikainen mittaus	Jono-mittaus
E6 (0.1 – 0.5 km)	Kunnan alemmat käyttökiintopisteet			

Miksi kiintopistemittaukset tehdään ensisijaisesti verkkona?



Luotettavuus

Tarkkuus

Suhteellinen tarkkuus

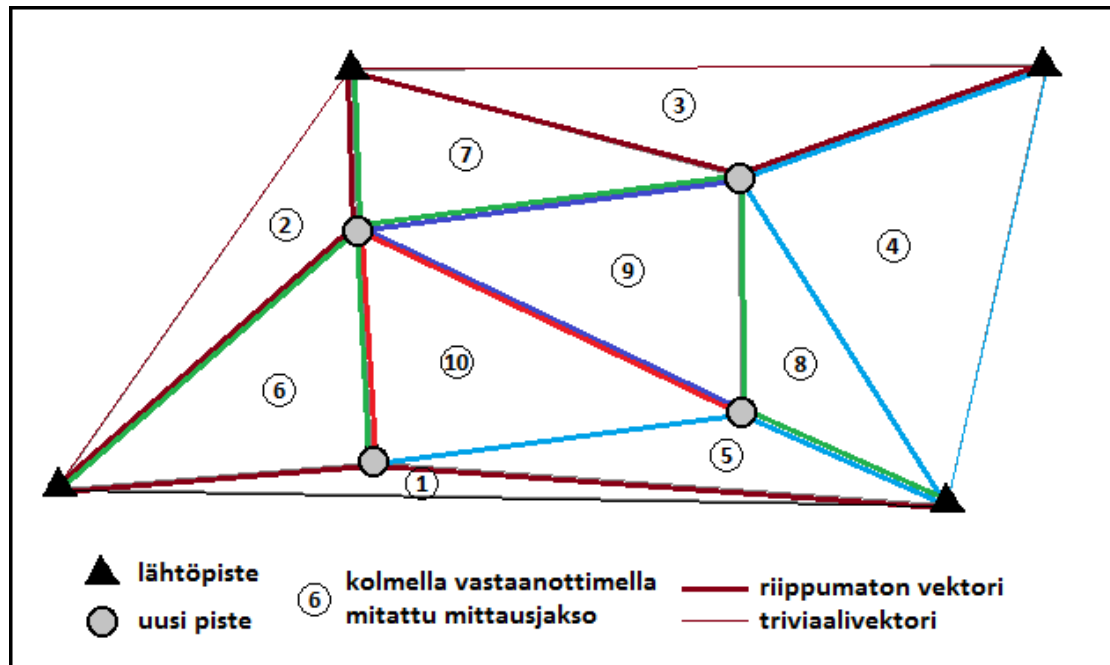
Tarkkuuden homogeenisuus

Tietojen todentaminen

Dokumentointi

Staattinen GNSS-mittaus

Staattinen mittaus on tarkin satelliittipaikannuksen mittaustavoista. Mittausten aikana kaikki vastaanottimet ovat paikoillaan. Havainnot yhdistetään ja tarkat koordinaatit lasketaan mittausten jälkeen (jälkilaskenta, post processing)



Tämä ei
ole aivan
ohjeiden
mukainen
verkko!

Staattista mittausa käytetään erityisesti kiintopistemittauksissa. Staattisen mittauksen verkko muodostuu sulkeutuvista kuvioista ja muistuttaa perinteistä kolmiomittauksen verkkoa. Staattisessa mittauksessa onkin kyse verkon sivujen pituuksien ja suuntien mittauksesta (→ vektorit)

Suhteellisten mittausten tarkkuus yleisesti

Laitevalmistajien tietoja kaksitaajuusvastaanottimista. Kinemaattinen mittaus tarkoittaa RTK-mittausta

Laite	Staattinen mittaus		Kinemaattinen mittaus	
	Taso	Korkeus	Taso	Korkeus
Trimble R8	5 mm + 0.5 ppm	5 mm + 1 ppm	10 mm + 1 ppm	20 mm + 1 ppm
Topcon Hiper Pro	3 mm + 0.5 ppm	5 mm + 0.5 ppm	10 mm + 1 ppm	15 mm + 1 ppm

Tutkimustietoja (Hofmann-Wellenhof ,Lichtenegger ja Wasle 2008). Laitteet ovat yksitaajuusvastaanottimia, jotka havaitsevat viittä satelliittia normaaleissa olosuhteissa

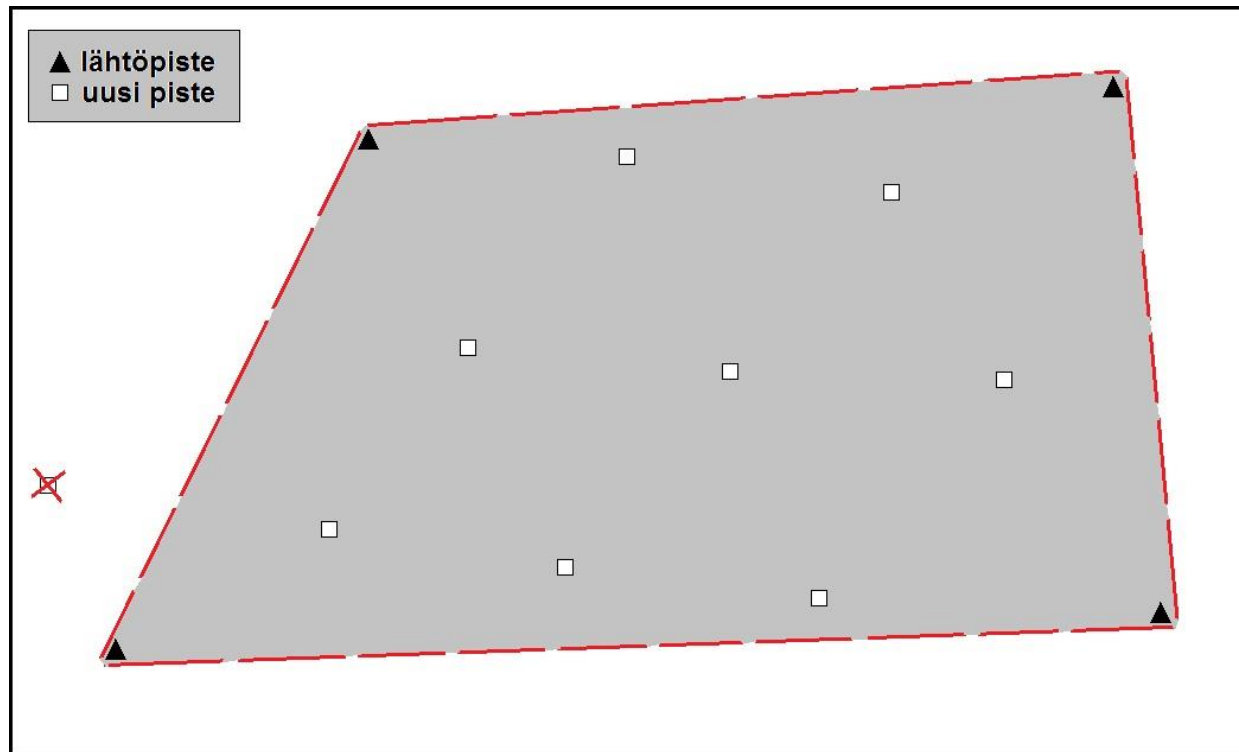
Mittautapa	Tasotarkkuus
Staattinen mittaus	5 mm + 0.5 ppm
Kinemaattinen mittaus	50 mm + 5 ppm

Staattisen mittauksen pisteistö

Vähintään kolme
tasolähtöpistettä,
mutta mielellään
enemmän

Uusien pisteiden tulee sijaita
lähtöpisteiden muodostaman
alueen sisäpuolella

Pisteiden pitää
olla riittävän
etäällä toisistaan



Pisteiden
välimatkojen
tulisi olla
suurin piirtein
yhtä pitkiä

Kontrolli-
pisteet
alueen
sisälle

Lähtöpisteiden pitää olla ylempää luokkaa kuin uusien pisteiden

Havaintojakso (sessio)

- Staattisen mittauksen havaintojen keruu tapahtuu havaintojaksoittain (mittausjaksoittain)
- Havaintojakso tarkoittaa samanaikaisesti havaitsevia vastaanottimia ja niiden yhteistä havaintoaikaa
- Havaintoajat vaihtelevat mittausluokittain: E5 ja E6 30 min, E3 ja E4 1 h, kun vektorit < 10 km
- Havaintojakson havainnot käsitellään jälkilaskennassa (post processing) yhtenä kokonaisuutena
- Laskennan tuloksena saadaan pisteiden väliset vektorit (paikkavektorit)

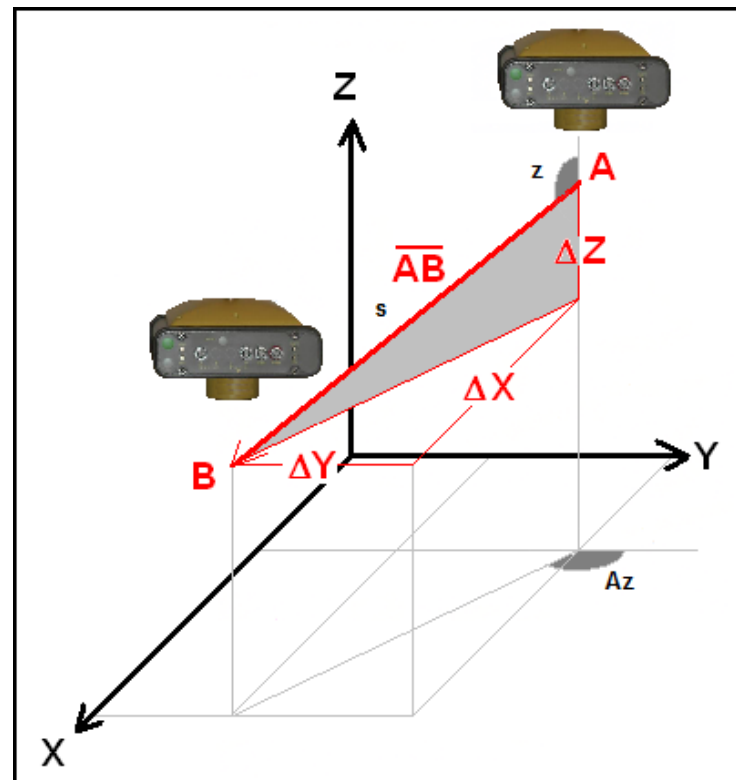
Paikkavektori

Suhteellisella mittauksella mitataan vektoreita, joita kutsutaan paikkavektoreiksi

Vektori mitataan kahdella vastaanottimella

Vektori on suure, jolla on suunta ja suuruus (pituus)

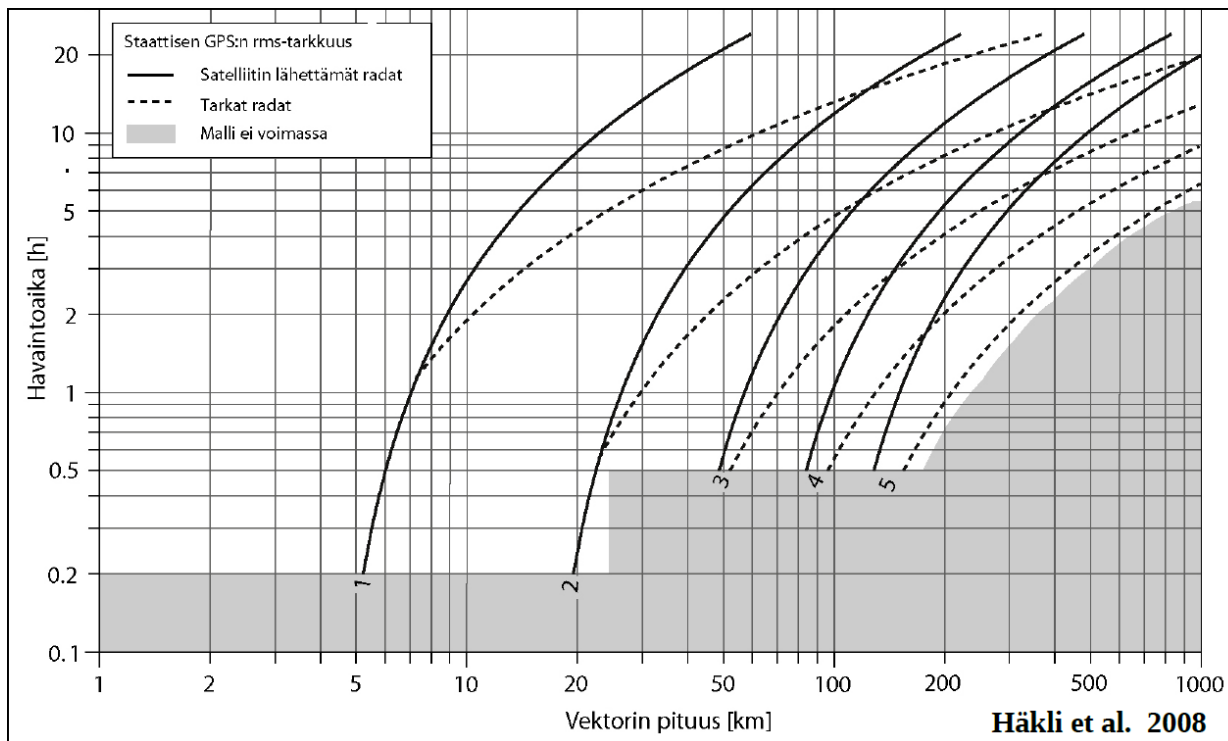
Paikkavektori voidaan esittää koordinaattieroina (ΔX , ΔY , ΔZ) tai vaihtoehtoisesti suunnan (Az), pystykulman (z) ja pituuden (s) avulla



Suunnan, pystykulman ja pituuden avulla esitetty paikkavektori on kuin takymetrillä tehty havaintoryhmä

Vektorin tarkkuus, pituus ja havaintoaika

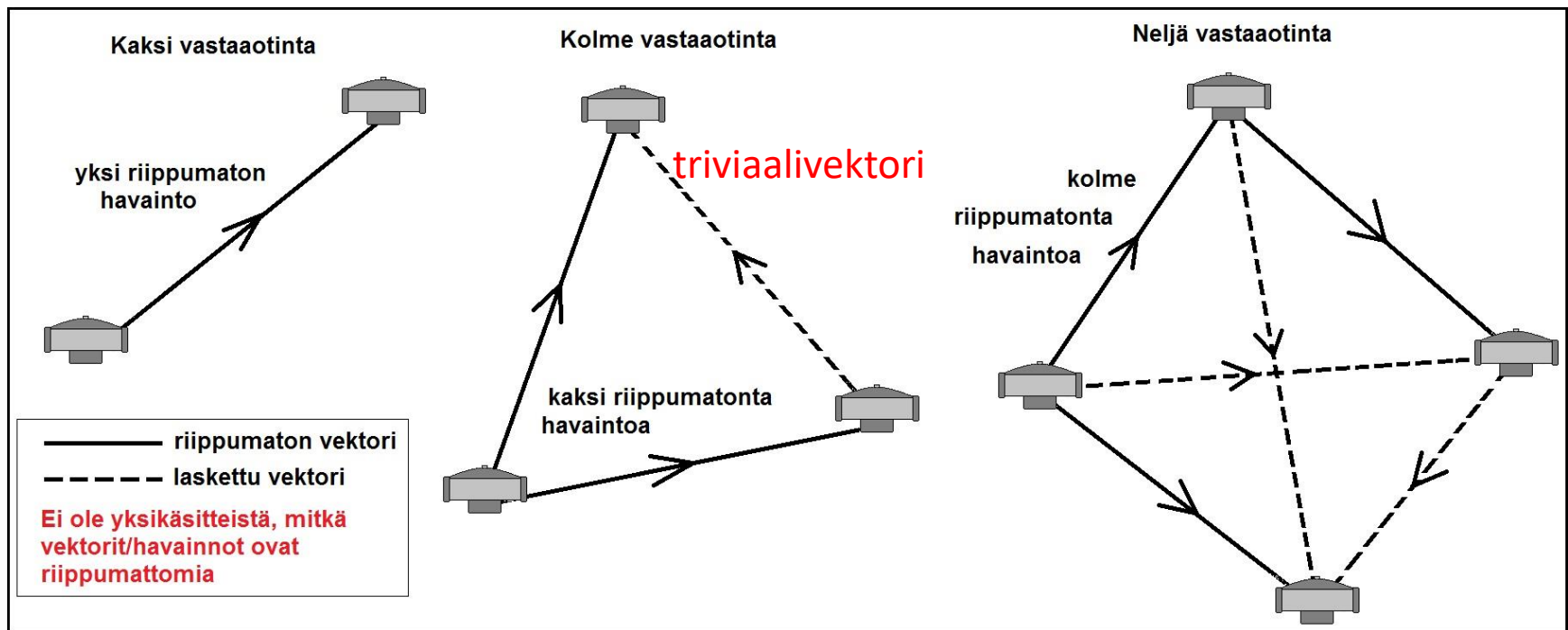
Kaavio on tarkoitettu pitkille, yli 5 kilometrin vektoreille



Käyrien luvut 1-5 kertovat tarkkuuden (rms, hajonta) senttimetreinä

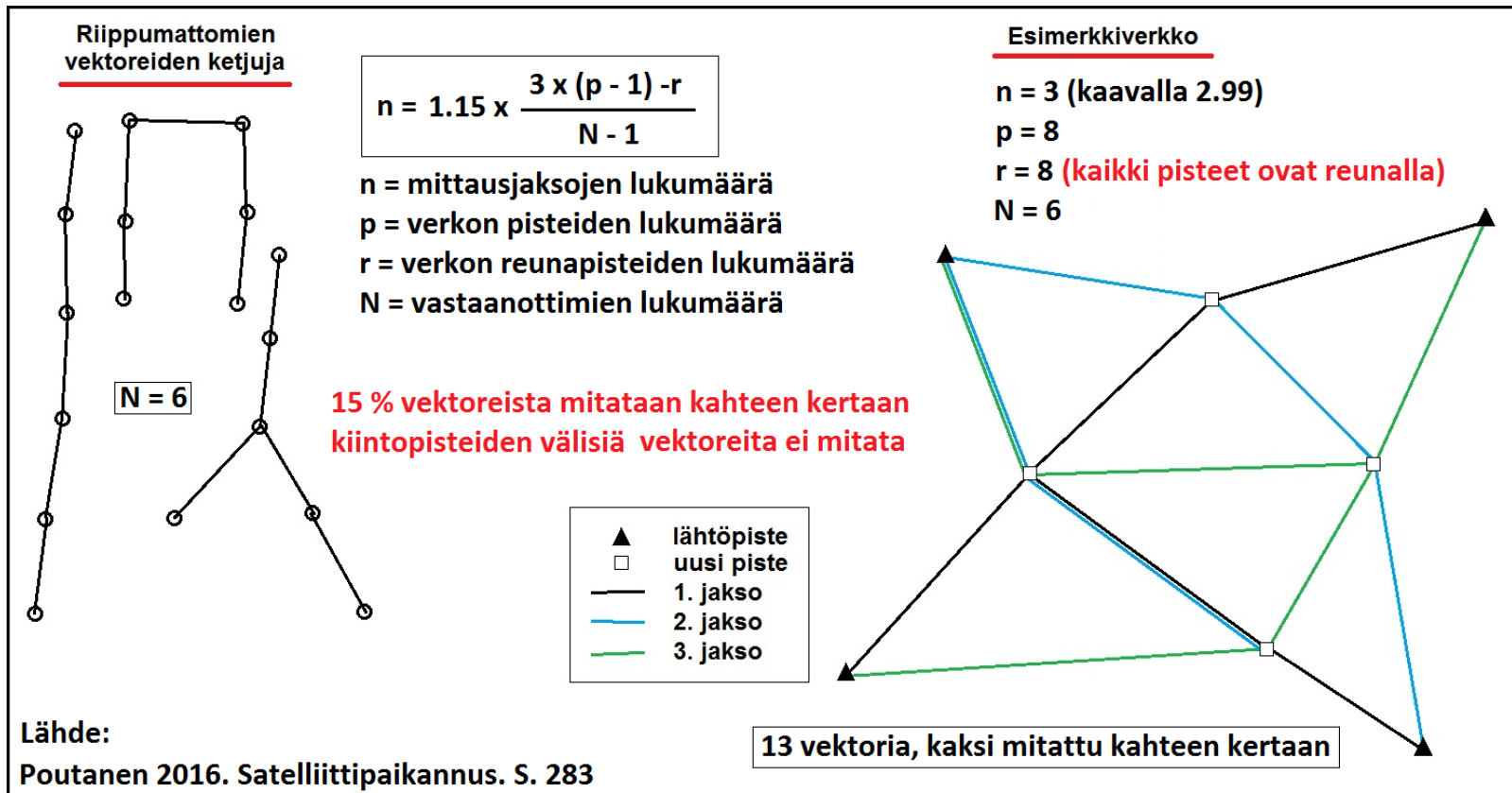
Riippumattomat vektorit

Runkomittauksista varten pitää kerätä riittävä määrä riippumattomia havaintoja (riippumattomia vektoreita). Riippumattomuuden käsitteen ymmärtämistä helpottaa vektorialgebran ymmärrys.



Runkomittaus pitää suunnitella niin, että saadaan riittävästi riippumattomia vektoreita ja myös kahteen kertaan mitattuja riippumattomia vektoreita

Mittausjaksojen suunnittelu



Verkko ja mittausjaksot suunnitellaan riippumattomille vektoreille
Kaavan antama jaksojen lukumäärä pyöristetään ylöspäin kokonaislukuun
Kaava on suuntaa antava: oleellista on riittävä ylimääritys ja verkon hyvä rakenne
Lähtöpisteiden pitää liittyä vähintään kahdella riippumattomalla vektorilla uuteen verkkoon

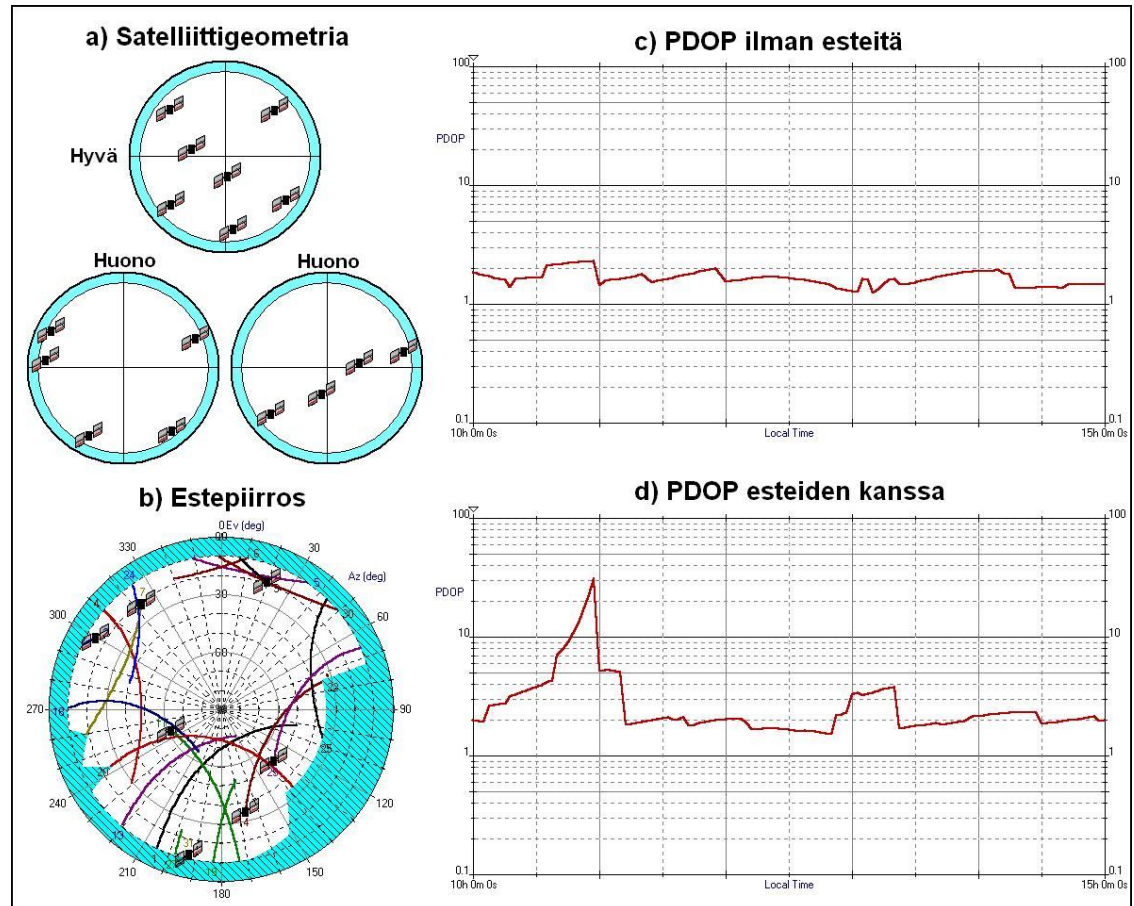
Näkemäesteet voivat heikentää paikannustarkkuutta

Jos näkymä taivaalle on esteetön, DOP-luvut ovat paikannuksen kannalta lähes aina hyviä

Pienetkin näkemä-esteet kriittisessä suunnassa voivat kuitenkin heikentää oleellisesti satelliittisaatavuutta ja paikannustarkkuutta

Rakennukset, muut rakenteet ja kasvillisuus ovat näkemäesteitä

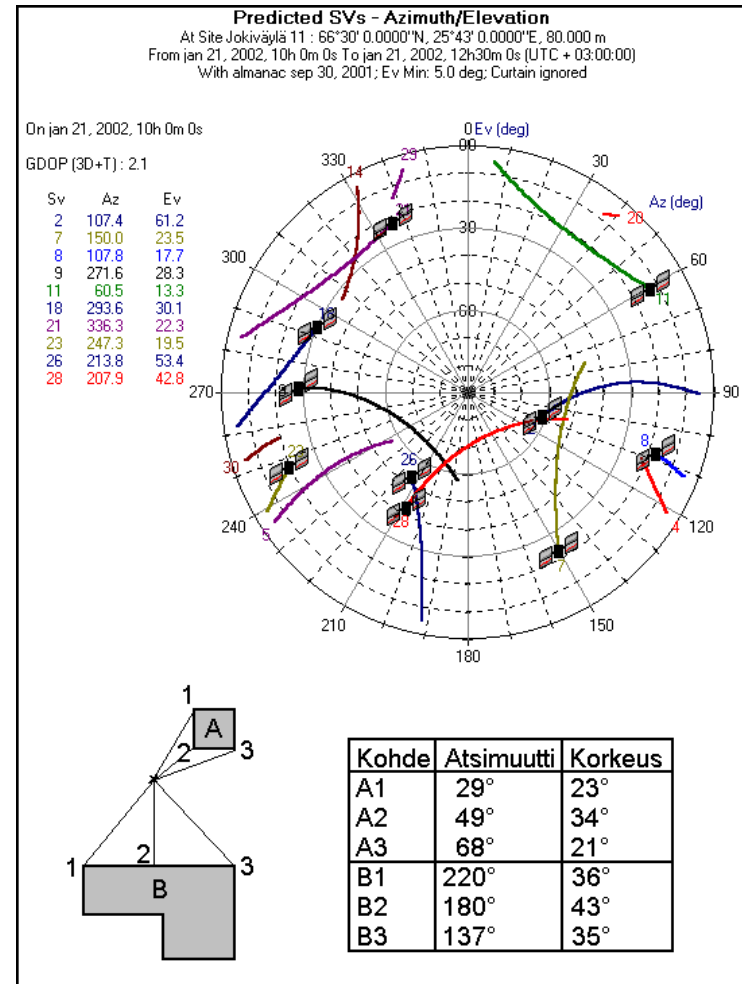
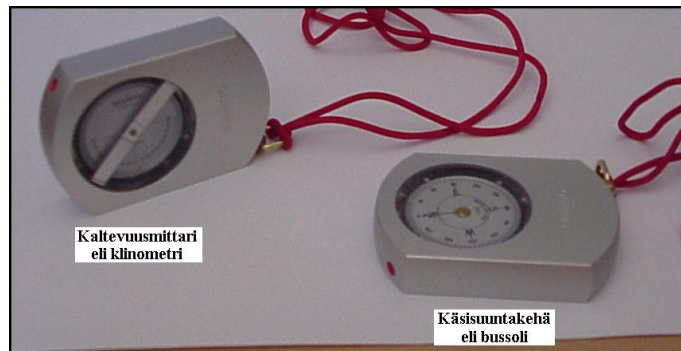
Kiintopistemittauksissa PDOP saa olla enintään viisi



Näkemäesteiden kartoitus

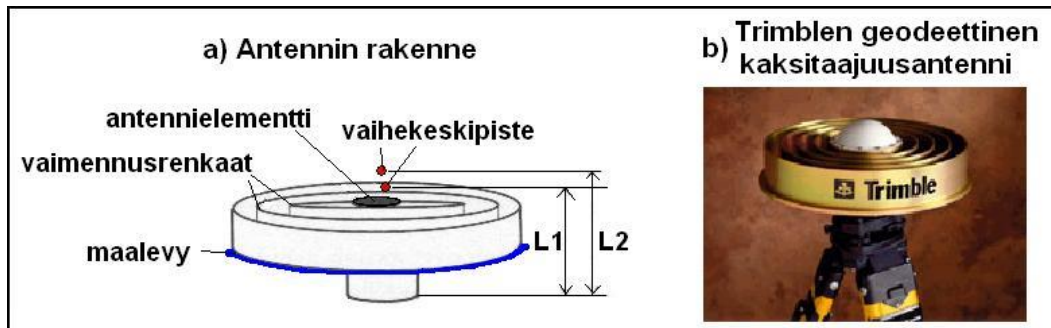
Jos on syytä epäillä näkemäesteiden heikentävän satelliittisaatavuutta, esteet pitää kartoittaa ja valita sopiva mittausajankohta ns. rataennusteohjelman avulla

Näkemäesteet voidaan kartoittaa kaltevuusmittarin ja käsisuuntakehän avulla



Antenni ja sen keskistys on tärkeää

Antenni keskistetään pisteelle ja antennikorkeus mitataan rakenteellisen keskipisteen suhteen. Mittaus tapahtuu kuitenkin vaihekeskipisteen suhteen. Vaihekeskipiste vaihtelee signaalin taajuuden ja voimakkuuden sekä satelliitin korkeuden ja suunnan perusteella. Vaihtelut voivat olla tasossa ja etenkin korkeudessa senttimetrejä.



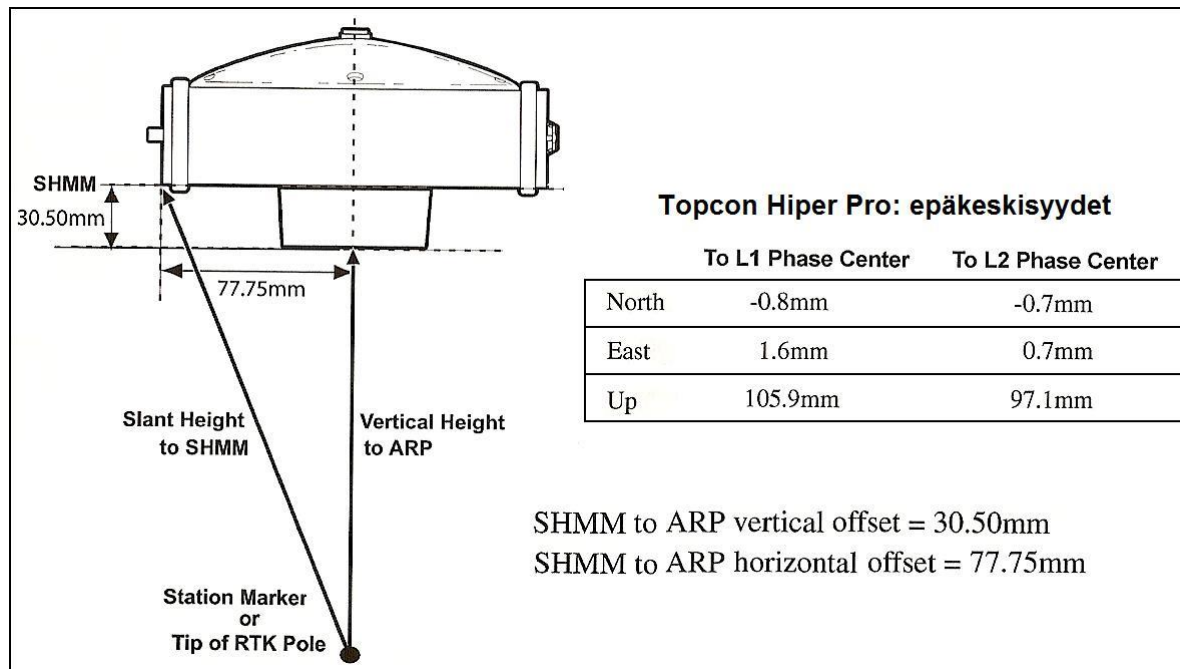
Onko antenni tarkasti pisteellä?



ARP,
PCO,
PCV

Runkomittauksen luotettavuus paranee, jos kaikki mittauksessa käytettävät antennit ovat samaa tyyppiä. Laskennassa pitää lisäksi tietää antennien tiedot, yleensä tyyppikalibroinnin perusteella. Internetistä on saatavissa antennien teknisiä tietoja.

Esimerkki vaihekeskipisteen epäkeskisyydestä



Runkomittauksissa antennikorkeus ("slant height") mitataan ennen ja jälkeen mittauksen ja kirjataan huolellisesti muistiin

PITÄÄ MYÖS MUISTAA, ETTÄ JALUSTOJEN JA TASAUSALUSTOJEN (TASAIMET JA OPTISET LUODIT) PITÄÄ OLLA KUNNOSSA

Reaaliaikaisia mittauksia harkiten

- Kiintopisteet mitataan ensisijaisesti verkkona
- Kuitenkin E5- ja E6-luokan pisteitä saa mitata reaaliaikaisesti RTK/VRS-mittauksin
- JHS 184 –ohjeen mukaan reaaliaikaisesti mitattavien kiintopisteiden välimatkat eivät saa olla alle 500 m (→ suhteellinen tarkkuus)
- Alle 500 pistevälit pitää mitata staattisella mittauksella tai takymetrillä niin, että myös pisteiden välinen vektori mitataan

Topconin Pinnacle-ohjelman työpöytä



Laskennan vaiheet

Yksittäiset mittausjaksot lasketaan heti mittausten jälkeen

- Havaintojen ja lähtötietojen kokoaminen
- Laskentaprojektin perustaminen
- Havaintojen tuonti
- Havaintojen prosessointi, jälkilaskenta, post processing
 - fixed-ratkaisu
 - tuloksena vektorit
- Vapaa verkkotasointus
 - karkeat virheet
 - sisäinen tarkkuus
- Pakotettu verkko-tasointus
 - sidonta paikan koordinaatistoon
- Raportointi laskennan eri vaiheissa
- Tulosten arviointi
 - mittausohjeet

Tulokset raportoidaan ja arvioidaan

- Mittauksen perustiedot ja tarkoitus
- Vektoriratkaisut
- Vapaa verkkotasointus
- Pakotettu verkko-tasointus
- Suhteelliset tarkkuudet
- Vertailu mittaussuunnitelmaan ja mittaus-ohjeisiin
- Tulosten arvioinnissa huomioida:
 - vektoriratkaisujen ominaisuudet ja erot
 - jäännösvirheet ja painoyksikön keskivirhe
 - Sulkuvirheet
 - Erot kontrollipisteisiin
 - mahdolliset karkeat virheet
 - suhteelliset tarkkuudet

**LASKENTAOHJELMAT EIVÄT AINA TUOTA MITTAUSOHJEISSA
KÄYTETÄVIÄ TARKKUUDEN TUNNUSLUKUJA**

JHS 184 –ohjeen kriteerit

Kriteeri	E3	E4	E5	E6
Verkon laskenta yhtenä tasoituksena	Kyllä	Kyllä	-	-
Satelliitin tarkat radat, kun verkossa on yli 10 km vektoreita	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Silmukan pistesulkuvirhe enintään	60 mm	75 mm	-	-
Suurin sallittu ero kahteen kertaan mitatuissa vektoreissa	NE: 28 mm H: 56 mm	NE: 30 mm H: 60 mm	-	-
Suuri sallittu ero kontrollipisteellä	NE: 25 mm H: 50 mm	NE: 33 mm H: 50 mm	NE: 40 mm H: 70 mm	NE: 40 mm H: 70 mm
Vapaan ja pakotetun tasoituksen koordinaattierot	≤ 25 mm	≤ 25 mm	≤ 25 mm	≤ 25 mm

Suhteellinen tarkkuus

Muun muassa kaavoitusmittausohjeissa (KMO, 2003) käytettiin suhteellista tarkkuutta.

Liikenneviraston ohjeessa 18/2017 käytetään edelleen suhteellista tarkkuutta. Hyvän suhteellisen tarkkuuden edellytyksenä on kiintopisteiden riittävät välimatkat (→ vertaa reaaliaikainen mittaus, s. 19)

Suhteellista tarkkuutta voidaan arvioida sekä vektorien laskennan, vapaan tasoituksen että pakotetun tasoituksen yhteydessä, jos laskentaohjelma tämän kaiken suo

Vektori	Pituus	Vektorien laskenta				Vapaa tasoitus, uwe = 1.16				Pakotettu tasoitus, uwe = 3.33			
		A	ppm	H	ppm	A	ppm	H	ppm	A	ppm	H	ppm
183-7905	1486,538	0,0094	6,3	0,0251	16,9	0,0049	3,3	0,0129	8,7	0,0071	4,8	0,0167	11,2
183-7911	823,838	0,0024	2,9	0,0053	6,4	0,0027	3,3	0,0060	7,3	0,0071	8,6	0,0167	20,3
39-183	1321,164	0,0055	4,2	0,0147	11,1	0,0046	3,5	0,0119	9,0	0,0084	6,4	0,0210	15,9
39-7905	2386,944	0,0024	1,0	0,0068	2,8	0,0023	1,0	0,0063	2,6	0,0054	2,3	0,0140	5,9
39-7911	1222,568	0,0081	6,6	0,0174	14,2	0,0050	4,1	0,0123	10,1	0,0054	4,4	0,0140	11,5
39-79M7923	1509,374	0,0028	1,9	0,0069	4,6	0,0029	1,9	0,0069	4,6	0,0054	3,6	0,0140	9,3
39-79M793	2303,238	0,0026	1,1	0,0058	2,5	0,0024	1,0	0,0060	2,6	0,0054	2,3	0,0140	6,1
79M793-7905	4495,107	0,0018	0,4	0,0036	0,8	0,0025	0,6	0,0066	1,5	0,0000	0,0	0,0000	0,0
79M793-79M7923	2079,497	0,0028	1,3	0,0075	3,6	0,0019	0,9	0,0041	2,0	0,0000	0,0	0,0000	0,0

Esimerkki liittyy mittaukseen, jonka tavoitteena oli mitata mittausluokkien 1 ja 2 käyttöpisteitä (KMO 2003). Vaadittu arvo (50 ppm) alittuu selvästi

Mittausohjeen 18/2017 kriteerit

Rakentamisessa arvostetaan hyvää suhteellista tarkkuutta

**Liikenneviraston ohjeita 18/2017: Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot –
Mittausohje → mittausperustan tuottaminen**

Piste	Luokka	PPM-luku	Alle 200 m pisteväleillä
Taso	Peruspisteet	10	
	Käyttöpisteet	20	Pistevälin keskihajonta enintään 4 mm
	Apupisteet	50	
Korkeus	Perus- ja käyttöpisteet	10	Pistevälin keskihajonta enintään 2 mm
	Apupisteet	50	

**Mittausperusta tuotetaan noudattaen JHS 184 –ohjetta luokissa E4-E6.
Mittausohjeet suhteellisen tarkkuuden raja-arvot ovat kuitenkin niin tiukat, että
niihin on hyvin vaikea päästä vain JHS 184 –ohjeen kriteereillä.**

Keskeiset lähteet

- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. ja Wasle, E. 2008. GNSS – Global Navigation Satellite Systems. Springer Verlag, Wien.
- Häkli, P., Koivula, H. ja Puupponen, J. 2008. Staattisen GPS-mittauksen geodeettisesta 3D-tarkkuudesta. Maanmittaus 83:2 (2008), s. 5-17
- Häkli, P., Kallio, U. ja Puupponen, J. 2013. From Passive to Active Control Point Networks – Evaluation of Accuracy in Static GPS Surveying. Article of the Month – October 2013. International Federation of Surveyors.
- JUHTA 2012. JHS 184 Kiintopistemittaus EUREF-FIN –koordinaattijärjestelmässä. Saatavana verkkojulkaisuna.
- Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. 4. uudistettu painos. Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D 3, Rovaniemi
- Liikennevirasto 2017. Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot – Mittausohje. Liikenneviraston ohjeita 18/2017. Saatavana verkkojulkaistuna.
- Poutanen, M. 2016. Satelliittipaikannus. Ursan julkaisu 152. Ursa ry, Helsinki.