

# Mittausperusta

3.12.2024

*Janne Mikkonen, Welado Oy*

*Pasi Kråknäs, Welado Oy*

*Timo Mättö, Welado Oy*



Väylävirasto  
Trafikledsverket



# Mittausperusta

- Mittausperusta on
  - Hankkeen alueelle rakennettu pysyvä mittapisteistö
  - Käytetään paikallisiin mittauksiin hankkeiden eri vaiheissa
  - = Runkoverkko, Kiintopisteverkko
- Mittausperusta on geodeettisin mittauksin tuotettu ja muodostuu tasokoordinaateista ja korkeuksista
- Sitoo kaikki hankkeen maastossa tehtävät mittaukset käytettävään tasokoordinaatistoon ja korkeusjärjestelmään
- Sidotaan valtakunnalliseen pisteverkkoon (EUREF-FIN)
  - EUREF-FIN on realisaatio Euroopan ETRS89 järjestelmästä
  - Realisoitu mittauskampanjoilla, joita suoritettu 92-97 vuosina useampi.
    - Tuloksena 12 kpl pysyviä FinnRef asemia ja 100 pisteen joukko, jotka määrittävät Euref-Fin koordinaatiston (E1 luokka).
  - Myöhemmin tehty laajennuksia kaksi kertaa, nykyään FinnRef GNSS asemaa 50 kpl

## Permanent Tracking Network



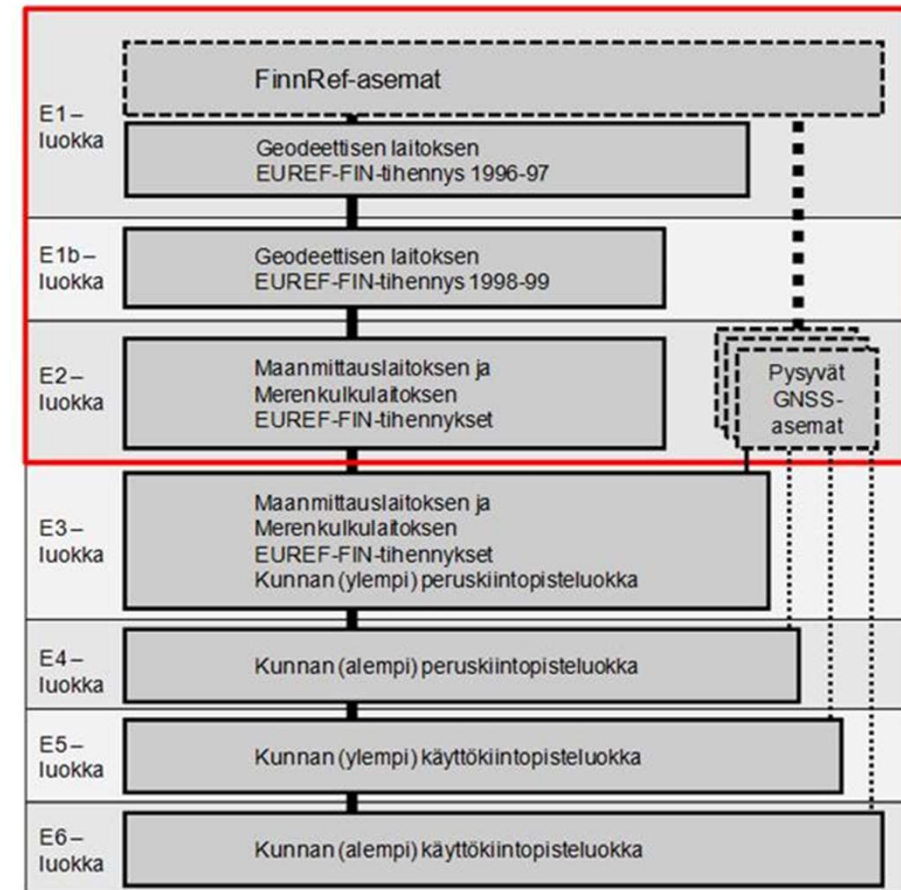
26 02:31:06

<http://www.e>

# Mittausperusta

- Jälkeenpäin tehty lisäyksiä ja tihennyksiä sekä alemman luokan pisteet
  - E1b luokka 98-99 (350 pistettä)
  - E2 luokka, 2500 pistettä
  - E3 luokka, MML & MKL
  - Myöhemmin hyväksytty aktiivisia tukiasemia E2 luokkaan
- Näihin pisteisiin sidotaan mittausperusta mm. väylähankkeissa
- EUREF-FIN siirtymiseen johdosta laadittu Julkisen hallinnon suosituksia
  - Siirtyminen uuteen järjestelmään 2005→
  - Väylävirasto (ent. liikennevirasto) 2010 →
- Maastomittaukset realisoidaan yleensä johonkin karttaprojektioon perustuvaan suorakulmaiseen koordinaatistoon
  - ETRS-Gkn (käytetään infran suunnittelussa ja rakentamisessa)
  - ETRS-TM35 (käytetään kartoissa)
- Muita Suomessa käytettyjä koordinaattijärjestelmiä ovat:
  - VVJ (Helsingin järjestelmä)
  - KKJ
  - YKJ
  - Ovat perustuneet kolmiomittauksiin
  - Kaupunkien järjestelmät (erilliskoordinaatistot)

JUHTA - Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta





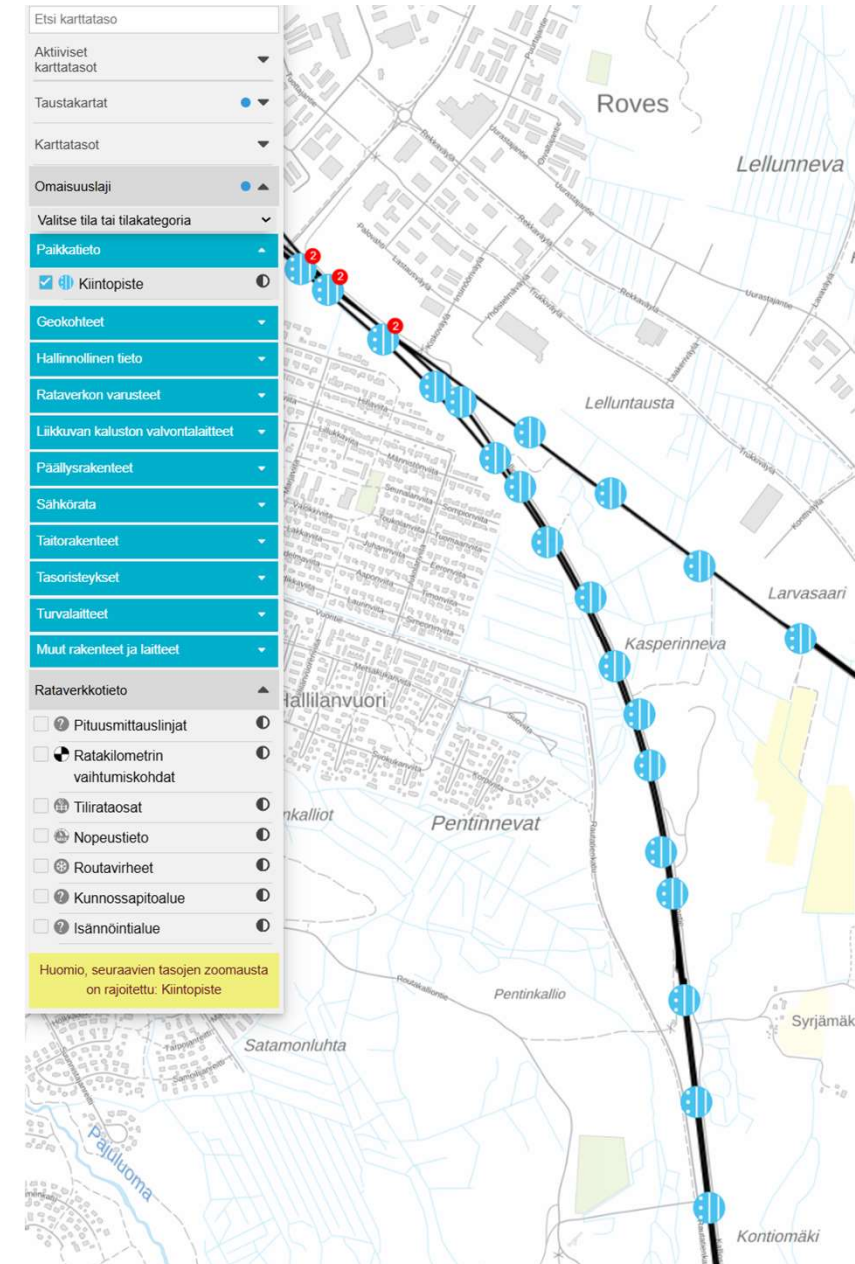
# Mittausperusta

- Korkeusjärjestelmät Suomessa
  - Maankohoamisen vuoksi on aika ajoin ajantasaistettava korkeusjärjestelmä
  - Suomeen on reilun sadan vuoden aikana suoritettu 3 tarkkavaaitusta
  - NN järjestelmä 1. tarkkavaaitus
  - N43 ja N60 2. tarkkavaaitus
  - N2000 kolmas ja viimeisin tarkkavaaitus
- Rataverkolla on käytössä raidegeometria- ja mittausperustadataa vielä mm. KKJ ja VVJ järjestelmissä
  - Uudet hankkeet ETRS Gkn tasokoordinaatistoon ja N2000 korkeusjärjestelmään perustuen
  - Poikkeustapauksia KKJ ja VVJ
- Väyläviraston hankkeissa mittausperustan osalta noudatetaan JHS184 Kiintopistemittaus EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä sekä Tie- ja ratahankkeiden 18/2017 mittausohjetta
  - Laadukas mittausperusta toimii hankkeen kaikissa elinkaaren vaiheissa
  - Panostamalla laatuun saavutetaan kustannussäästöjä jatkossa
  - Mittausohjeessa mittausperustan mittausraporttien ja luovutettavien dokumenttien ohjeet
  - Ennen mittausperustan rakentamista, laaditaan mittaussuunnitelma



# Mittausperusta

- Rataverkon mittausperustan rekisteriä ylläpidetään RATKO järjestelmässä
  - Mittausperustojen tiedot ladattavissa extranet tunnuksilla
  - ratarekisterit@vayla.fi
- Rataverkon tila mittausperustan osalta on vaihteleva
  - Osassa rataosia on vielä KKJ ja VVJ järjestelmän pisteitä, joita on ajansaatossa hävinnyt
  - Viime vuosina panostettu mittausperustojen uusimiseen
  - Luotettavuus tarkasteltava maastomittausten yhteydessä
- Rataverkon mittausperusta on myös hierarkkinen
  - Peruspisteparit E4 luokassa
  - Käyttöpisteet E5 luokassa
  - Yksittäiset pistesaneeraukset E6 luokkaan
  - Apupisteitä ei rekisterissä säilytetä





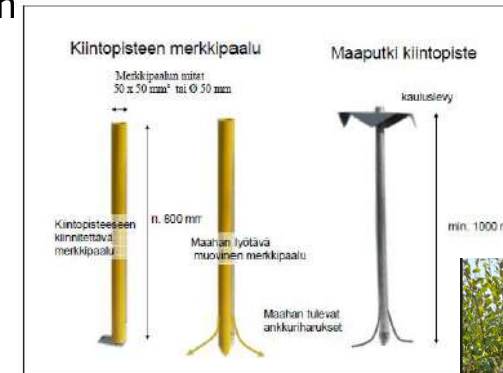
# Mittausperustan aiheuttamia ongelmia

- Epätarkkuus ja epähomogeenisuus maastomittauksissa ja seuraavissa työvaiheissa
  - Eroavaisuudet rajapinnoissa
- Ristiriitatilanteet vanhojen/nykyisten mittausten välillä
  - Erilaisten mittaustapojen aiheuttamat ristiriidat
  - Ohjeiden vastaiset mittaustavat
- Eri koordinaatistojen aiheuttamat ristiriitatilanteet
  - osa hoidettavissa muunnoksilla (muunnos on aina muunnos eikä korvaa aitoa mittausta!)
- Ratarekisteriin jätetään toimittamatta tietoja
- Mittausperustan "parsiminen" maksaa
  - mittausperustan täydentäminen/korvaaminen
  - mittausten tarkkuus ja luotettavuus kärsii
  - yhteensovittaminen vanhoihin mittauksiin ja suunnitelmiin
  - työn hidastuminen/viivästyminen
  - virheet mittauksissa ja tulkinnoissa



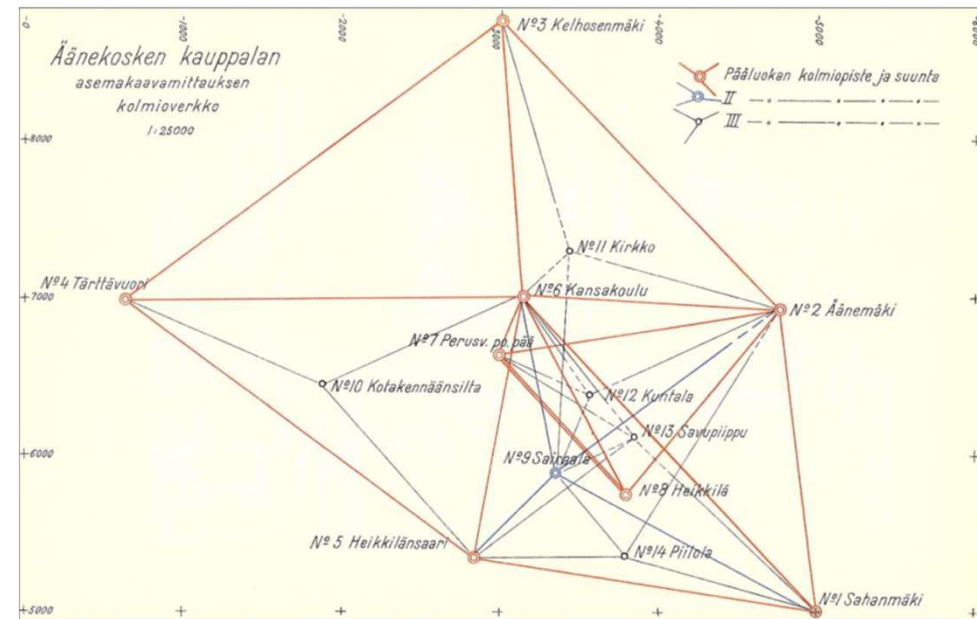
# E4 peruspisteiden rakentaminen

- Mittausperustan E4 peruspisteiden rakentaminen:
  - E4 luokan peruspisteet rakennetaan mahdollisimman pysyviksi kallioon, kiveen tai muuhun kiinteään rakenteeseen
  - Pehmeikköalueilla voidaan käyttää kovaan maaperään lyötävää teräsputkipaalua
  - Peruspisteiden sijoittelussa huomioitava mahdollinen tuhoutumisvaara
- E4 peruspisteparilla oltava keskinäinen näkyväisyys
  - Rakennetaan peruspistepareina 1-2 km välein
    - Mahdollistetaan jonomittauksessa käyttö pisteiden mittauksessa täydelliset liitokset
  - Pisteparin pisteväli ~300-400 m
    - Lyhyemmissä pisteväleissä oltava täysin avonainen satelliittinäkyväisyys
    - Käytännössä 200 m alkaa olla toleransseihin pääsemiseksi minimimatka



# E4 peruspisteiden mittaaminen

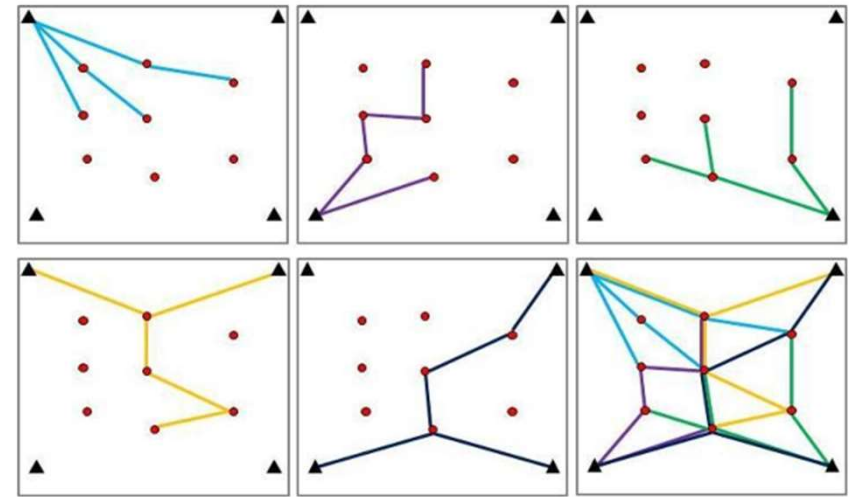
- E4 peruspisteiden mittaamisessa voidaan käyttää vain Staattista relatiivista GNSS mittausta
  - On tarkin satelliittipaikannuksen mittaustavoista
  - Määritetään tuntemattoman pisteen paikka suhteessa tunnettuun pisteeseen
  - Vähintään kahdella pisteellä samanaikaisesti
  - Kaikki vastaanottimet ovat paikallaan mittausten aikana
- Staattinen mittaus muistuttaa perinteistä kolmiomittausta ennen satelliittiaikaa
  - Staattinen GNSS mittaus on vaativa mittauskokonaisuus, jossa suunnittelu, mittaaminen ja laskenta kulkee käsi kädessä
- Mittaus toteutetaan suunnittelemalla mittaukset niin, että lopullinen havaintoaineisto muodostuu verkosta, jonka rajaavina pisteinä ovat ylemmän luokan lähtöpisteet
  - Lisäksi kontrollipisteiksi valitaan saman luokan pisteitä verkon sisältä
  - Rataverkolla hankaluutta aiheuttaa hieman pisteiden jononaisuus



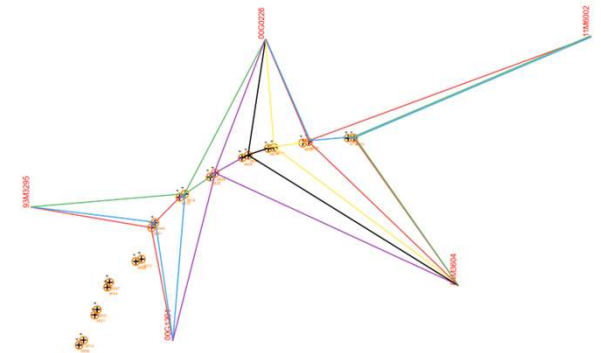


# E4 peruspisteiden mittaaminen

- E4 peruspisteiden verkkosuunnitelma
  - Verkko muodostetaan ja mitataan havaintojaksoittain (Sessioittain)
  - Sessiot suunnitellaan mitattavien pisteiden ja vastaanottimien määrän mukaan
    - Sessiosta voidaan ratkaista N-1 riippumatonta vektoria, N on vastaanottimien määrä
    - Sessioiden määrää voi arvioida kaavan mukaan →
  - Verkko muodostuu sulkeutuvista kuvioista (silmukoista)
    - Silmukka ei saa sulkeutua samassa sessiossa vaan suljetaan toisen session havainnoilla
    - Silmukan sivujen määrä 3-5 kpl
  - Verkon vektoreista mitataan vähintään 15 % kahteen kertaan
  - Verkossa ei saa olla piikkipisteitä
- Verkon rajaavat lähtöpisteet väh. 3 kpl
  - Mielellään enemmän
  - Lähtöpisteiden satelliittinäkömä myös huomioitava
  - Aktiivisten tukiasemien käyttö harkittava varsinkin todella pitkissä vektoripituuksissa



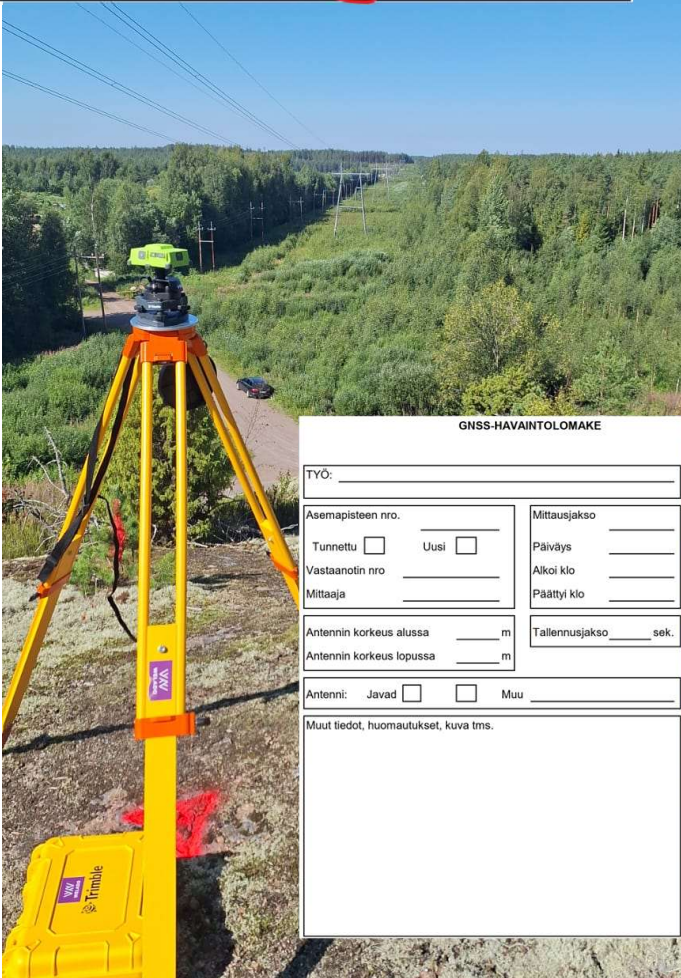
- $n = 1.15 \times \frac{3 \times (p-1) - r}{N-1}$ , missä
  - n=mittausjaksojen lukumäärä
  - p=verkon pisteiden lukumäärä
  - r=verkon reunapisteiden lukumäärä
  - N=vastaanottimien lukumäärä



# E4 peruspisteiden mittaaminen

- E4 peruspisteiden mittaamisessa huomioitavaa
  - Antennit ovat staattisiin mittauksiin sopivia
    - Vastaanotin pystyy tallentamaan raakahavaintoja
    - Mahdollisuuksien mukaan käytetään samoja antennejä – luotettavuus paranee
    - Antennien suuntaus samansuuntaisesti
    - 2 taajuushavainnot yli 10 km vektoreissa
  - Mittausta varten tehdään sessiosuunnitelma maastomittajajille jaettavaksi
    - Huomioitava maastossa että yhtäaikainen havaintoaika täyttyy
  - Sessiosuunnitelmassa huomioidaan havaintoaika pisimmän vektorin pituuden mukaan
    - Väh. 1 h kun vektorin pituus alle 10 km
  - Korkeuskulmamaski mittauksissa 5-10 astetta
  - Tallennustaajuus 1,5,10,20,30sec
  - PDOP maski 5
  - Mittauksista täytetään havaintolomakkeet!

Vektorin pituus	Mittausjakson pituus eri koordinaattiluokissa					
	E1	E2	E3	E4	E5	E6
10 km	-	2 h	1 h	1 h	30 min	30 min
30 km	8 h	6 h	2,5 h	1,5 h	30 min	30 min
50 km	15 h	9 h	4,5 h	2,5 h	1 h	30 min
100 km	19 h	13 h	8 h	5 h	3 h	2 h
> 100 km	24 h	24 h	-	-	-	-



GNSS-HAVAINLOMAKE

TYÖ: \_\_\_\_\_

Asemapisteen nro. \_\_\_\_\_

Tunnettu ☐ Uusi ☐

Vastaanotin nro \_\_\_\_\_

Mittaja \_\_\_\_\_

Mittausjakso \_\_\_\_\_

Päiväys \_\_\_\_\_

Alkoi klo \_\_\_\_\_

Päättyi klo \_\_\_\_\_

Antennin korkeus alussa \_\_\_\_\_ m

Antennin korkeus lopussa \_\_\_\_\_ m

Tallennusjakso \_\_\_\_\_ sek.

Antenni: Javad ☐ ☐ Muu \_\_\_\_\_

Muut tiedot, huomautukset, kuva tms.

# E4 peruspisteiden laskeminen

- Jälkilaskennassa huomioitavaa:
  - Mittauslaitteiden purku ja varmuuskopiointi
  - Raakahavaintojen vienti laskentaohjelmistoon
    - Päivittäisten mittausten vienti, laskenta ja vapaa verkkotasointus jos mahdollista
    - Ohjelma tunnistaa antennimallit
  - Aineiston tuonnin yhteydessä
    - Tarkistetaan laitteiden kojekorkeudet havaintolomakkeisiin vertaamalla
    - Voi aiheuttaa suuriakin virheitä näppäilyvirheet
  - Vektorien prosessointi/ratkaisu
    - Fixed ratkaisu ainoastaan hyväksytään
  - Muiden korjausten asettamiset
    - Keskistysvirhe väh. 1 mm
    - Antennin kojekorkeuden virhe 1-3 mm





# E4 peruspisteiden laskeminen

- Jälkilaskennassa huomioitavaa:
  - Yhdistettyjen sessioiden verkon vapaa tasoituslaskenta
    - Havainnoidaan laskettuja GNSS havaintoja (std. Jäännösvirhe  $\leq 2.8$ )
    - Otetaan huonoja pois käytöstä ja uusitaan tasoitus
    - Painoyksikön varianssi a-posteriori mahdollisimman lähellä a-prioria (1)
    - Tarkastellaan absoluuttisia- ja suhteellisia jäännösvirheitä
      - E4 peruspisteet 10 ppm (10mm/km)
    - Silmukkasulkuvirheet ja virhe-ellipsit
    - Lisämittausten tarpeellisuus tarkastettava
    - Khiin neliötesti hyväksytty
  - Kun vapaa verkkotasointa vapaa virheistä tasoitetaan koko verkko pitäen lähtöpisteitä kiinteinä tai rajoitettuina
    - Lähtöpisteiden väliset vektorit otetaan pois käytöstä kiinnitysvaiheessa mahdollisen deformaation takia
    - Mahdollisten lähtö/kontrollipisteiden liikkumiset ilmoitetaan niistä vastaavalle taholle
    - IGS:n tarkkojen ratatietojen käyttö kun verkossa yli 10 km vektoreita



# E5 käyttöpisteiden rakentaminen

- E5 luokan käyttöpisteet rakennetaan myös mahdollisimman pysyviksi kallioon, kiveen tai muuhun kiinteään rakenteeseen
  - Tai sen puuttuessa voidaan käyttää maahan lyötävää haruksellista maaputkea (1,0-1,2m)
  - Käyttöpiste voidaan rakentaa myös sähköradan perustuksen pulttiin
  - Nykyään myös uusien pylväiden johdosta käytetty tankopisteitä (ei ohjeessa)
- Käyttöpisteet
  - Rakennetaan peruspisteparien väliin
  - Peräkkäisten pisteiden välillä näkyväisyys
  - Pisteväli ~100-400 m





# E5 käyttöpisteiden mittaaminen

- E5 luokan käyttöpisteet mitataan kulma- ja etäisyyshavainnoin jonomittauksella Takymetrilla
  - Lähtöpisteinä käytetään ylemmän luokan E4 pisteitä
  - Liittyminen ylemmän luokan pisteisiin täydellisenä liitoksena
  - Voidaan myös toteuttaa Staattisena GNSS mittauksena
  - Jonossa ei saa olla piikkipisteitä
- Kojeen tulee oltava kalibroitu
  - Kulmalukutarkkuus  $\leq 0,6$  mgon
  - Kolmijalat, pakkokeskiset ja luodit kunnossa
  - Kojekorkeuden mittaus 1 mm tarkkuudella
  - Saman kojekorkeuden käsittävät prisma/tähyssarjat
    - Huom prismavakiot!
- Vältetään ääriämpötiloissa mittaamista
  - Kuumassa ilma paksua ja värinää
  - Kylmässä selkeää, mutta liian kova pakkanen voi jäädyttää kojeen
- Voidaan suorittaa jonomittauksina tai verkkomaisesti vapailta kojeasemilta
- Havaintosarjojen lukumäärä 4 tai 5 kpl





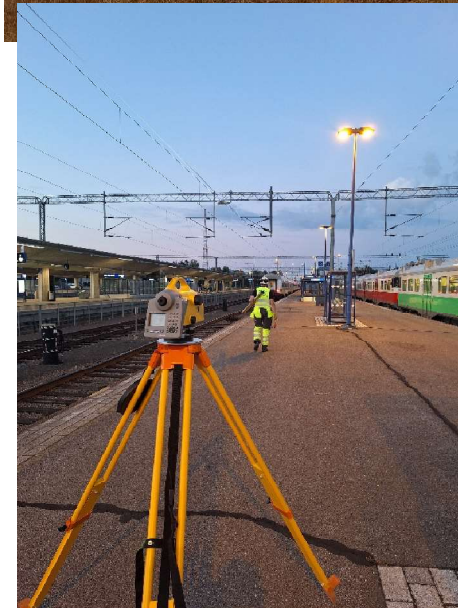
# E5 käyttöpisteiden laskeminen

- Viedään raakahavainnot laskentaohjelmaan siihen sopivassa formaatissa
  - Laskennan alkukorjausten ja raja-arvojen asettaminen
  - Karkeiden virheiden poiston jälkeen tarkastetaan tasoittamattomien havaintojen pistesulkuvirhe
    - Saa olla  $45 \cdot L_{\text{km}}$  mm
  - Havaintojen karsiminen, jotka ylittävät raja-arvot
  - Jonon/verkon tasoitus lähtöpisteistä vapaana sekä lopuksi kiinnitettynä
    - Voi myös pitää jompaakumpaa päätä kiinnitettynä ja katsoa paljonko lähtöpisteisiin tulee eroa
  - Kontrollipisteiden koordinaattivertailut
    - N,E: 40 mm, h: 70 mm
  - Absoluuttiset ja suhteelliset virheet
    - E5 luokka  $\leq 20$  ppm
  - Mittauksien uusiminen tarpeen mukaan
- Dokumentit, mittausraportti, itselleluovutus ja havaintoaineistot LO 18/2017 mukaisesti



# Jonovaaitus

- E4 ja E5 luokan pisteille on tuotava korkeusjärjestelmän mukainen korkeuskoordinaatti
  - Mittaus suoritetaan tarkkavaaituskojeella jonovaaituksena
  - Lähtöpisteinä väh. 2 valtakunnallista E1-E3 luokan korkeuskiintopistettä
    - MML rekisteristä
  - Max. Tähtäysetäisyys 100 m
    - Tähtäysetäisyyksien välinen ero max 20 m
  - Korkeuden mittauksessa poistetaan mahdollinen kiinnitysruuvi pisteestä
    - Pultin/putken pintaan
  - Jonovaaitus sulkuvirhe  $\leq 10$  ppm
  - Lähtöpisteiden liikunnoista ilmoitus pisteistä vastaavalle taholle
    - Jos sulkupisteelle tulee iso ero, joko uusi mittaus tai sulkua eri pisteelle jos lähellä





# Väylävirasto Trafikledsverket

Kuva-aineisto:

Väylävirasto nettisivut  
Väylävirasto kuvapankki  
Janne Mikkonen  
Timo Mättö  
Pasi Kråknäs  
Marjut Witikainen  
GL tiedote30  
JHS184  
LO 18/2017





Väylävirasto  
Trafikledsverket