

**Verkkotasointu arkipäivän työkaluna**

**Jukka Hakala**

**Geopixel Oy**

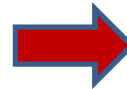
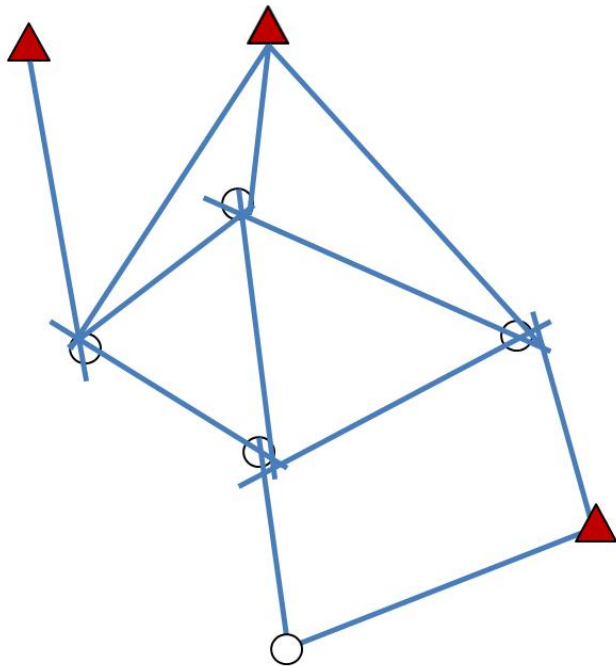
”Kun mittauksia on tehty enemmän kuin on toisistaan teoreettisesti riippumattomia suureita, niin tasointaslaskun tehtävänä ja päätarkoituksena on johtaa tuntemattomille sellaiset arvot, jotka perustuvat tasapuolisesti kaikkiin mittauksiin”

R.A. Hirvonen 1965

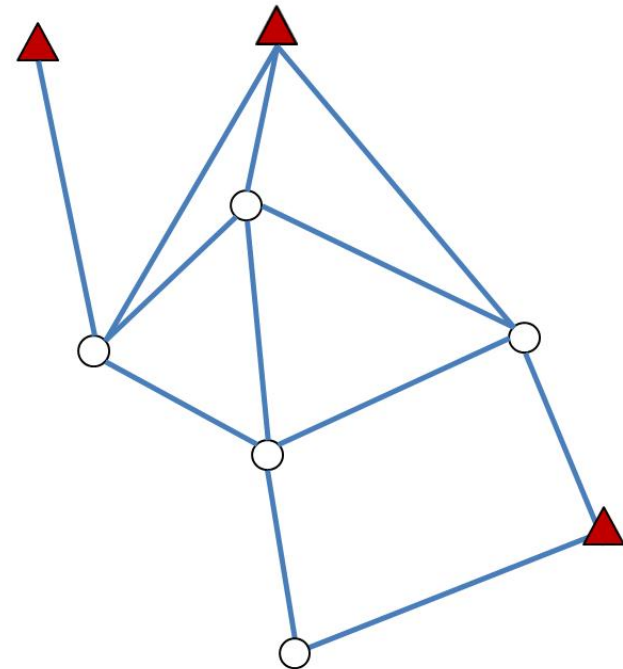
## Mittaushavaintojen täsmällinen käsittelymenetelmä

- perustuu tilastomatematiikkaan & virheiden kasautumislakeihin
- edellyttää riittävää ylimääritystä eli redundanssia
- kaikki verkon havainnot tasointetaan samanaikaisesti
- havaintojen tarkkuus huomioidaan painotuksella

Raakahavainnot



Tasoitetut havainnot



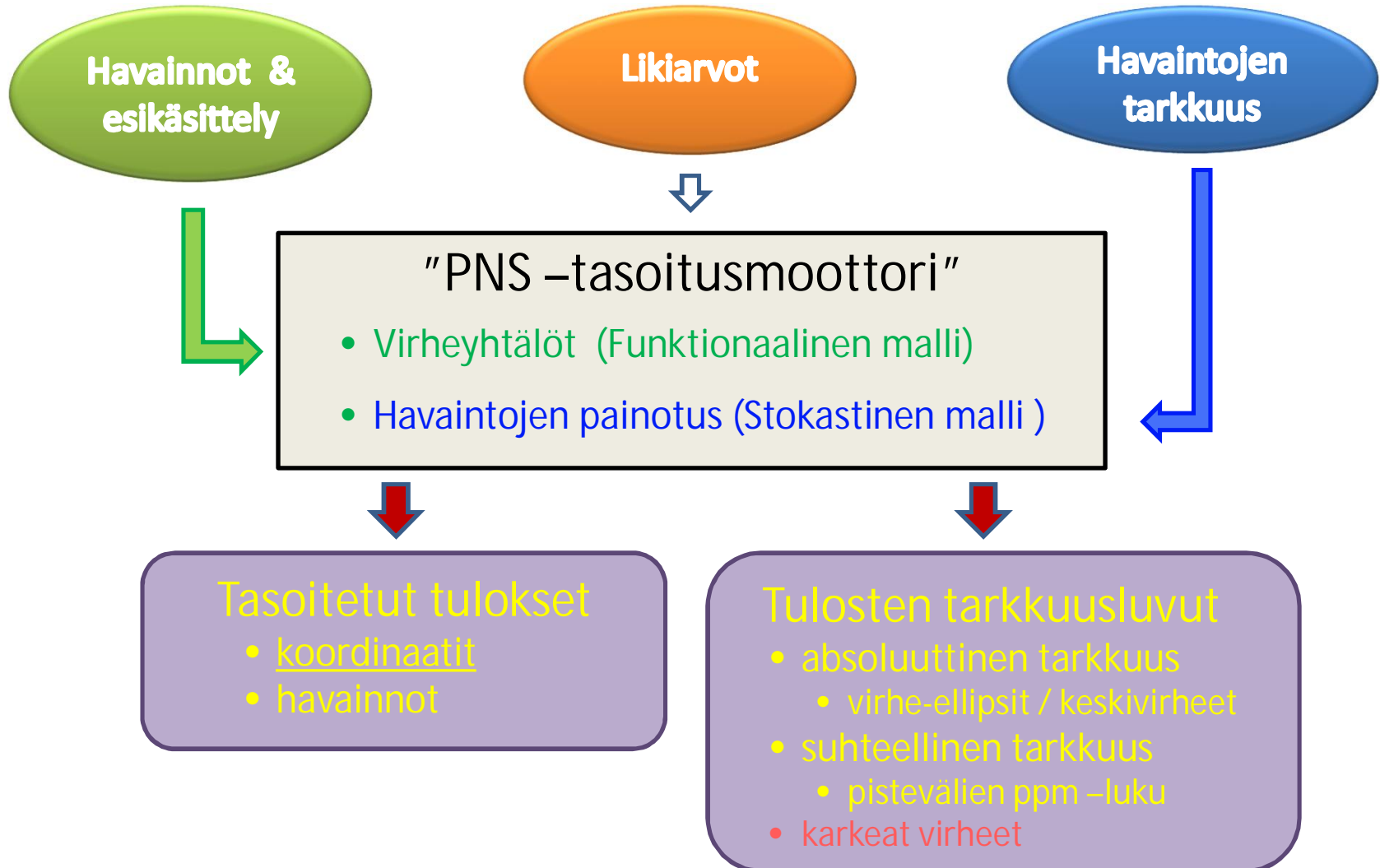
Jännösvirhe  $v$  = havaittu - tasoitettu

Ratkaisu:  $\sum pvv = \text{minimi}$

## Geodeettisia havaintoja ovat mm.:

- korkeuserot (1D -verkot)
- etäisyyshavainnot (2D + 1D -verkot)
- vaakakulmahavainnot (2D + 1D -verkot)
- korkeuskulmahavainnot (2D + 1D -verkot)
- kiintopisteiden koordinaatit (1D -, 2D - ja 3D -verkot)
- GPS -vektorikomponentit (3D -verkot)

- Fysikaaliset reduktiot
  - lämpötila (s)  $\pm 1^\circ \text{C}$  ~ 1 ppm
  - ilmanpaine (s)  $\pm 5 \text{ mbar}$  ~ 1 ppm
- Geometriset reduktiot
  - prismavakio & EDM -vakiokorjaus (s)
  - vinoetäisyys vaakaetäisyydeksi (s)
  - refraktio – ja kaarevuuskorjaus (V)
  - pultista-pulttiin -korjaus (s, V, GNSS)
  - redukointitaso (s)
  - korjaus karttaprojektioon (s, t, GNSS)
- Vektorilaskenta
  - ratkaistaan alkutuntemattomat vaihehavainnoista
  - saadaan vektoriratkaisu tunnuslukuineen
  - dX, dY, dZ sekä niiden kovarianssimatriisi (cov) ovat verkkotasoituksen havainnoita



- havaintojen tarkkuuden arviointi l. oikea painotus on tärkeää
- PNS -tasoituksessa käytetään kaikkia havaintotyyppjä - myös kiintopisteiden koordinaatteja (koordinaattihavainnot) - niiden "todellisen" tarkkuusinformaation mukaisesti
  - kullekin havainnolle lasketaan automaattisesti paino käyttäjän antaman tarkkuusinformaation perusteella
  - paino on kääntäen verrannollinen havainnon varianssiin (= keskivirhe<sup>2</sup>)

$$p_i = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_i^2}$$

$p_i$ : havainnon  $I_i$  paino  
 $\sigma_i^2$ : havainnon  $I_i$  varianssi (keskivirhe<sup>2</sup>)  
 $\sigma_0^2$ : referenssivarianssi (tavallisesti 1.0)

- pieni keskivirhe --> hyvä tarkkuus --> suuri paino
- suuri keskivirhe --> huono tarkkuus --> pieni paino

- hyvänä lähtökohdana ovat valmistajan teknisessä käsikirjassa antamat kojeen tyypilliset tarkkuusluvut eri mittauksissa
- havaintojen tarkkuutta tulisi arvioida ennen tasoitusta sulkuvirheiden avulla
- epärealistinen painotus aiheuttaa ongelmia
  - liian pieni keskivirhe --> liian suuri paino havainnolle  
--> liian pienet korjaukset tasoituksessa
  - liian suuri keskivirhe --> liian pieni paino havainnolle  
--> liian suuret korjaukset tasoituksessa
  - **karkeiden virheiden kontrolli vaikeutuu**

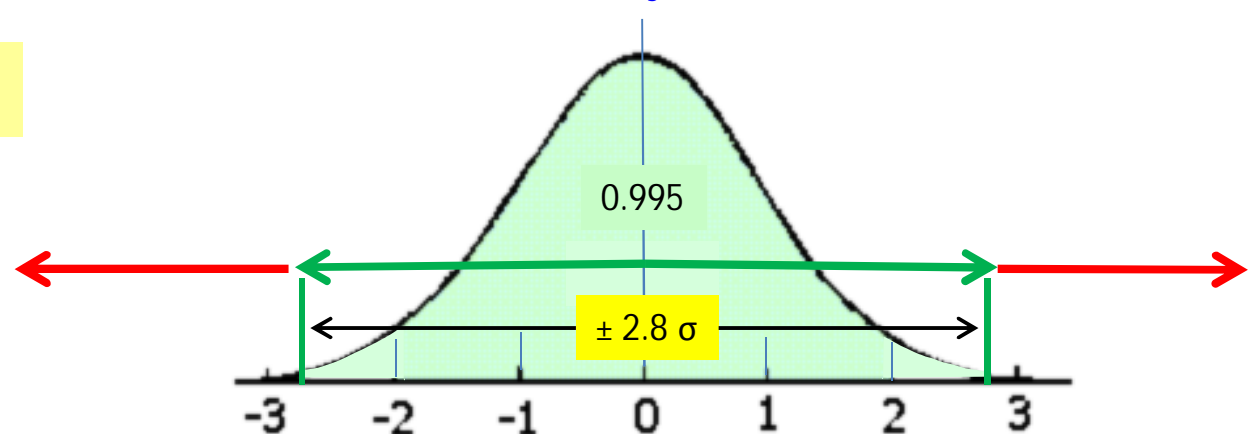
PNS -tasointuottaa hyvistä havainnoista & oikealla painotuksella **tasoitettaville suureille yksikäsitteiset ja parhaat todennäköiset arvot**



## Standardointu jäännösvirhe

$$t = v_i / \delta_{v_i} \sim N(0,1)$$

## Normaalijakauma



Havainnoista ~ 95.0 % osuu alueelle  $\pm 1.96 \sigma$

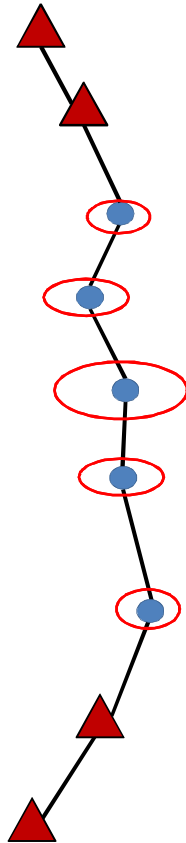
Havainnoista ~ 68.3 % osuu alueelle  $\pm 1.00 \sigma$

Havainnoista ~ 99.5 % osuu alueelle  $\pm 2.8 \sigma$

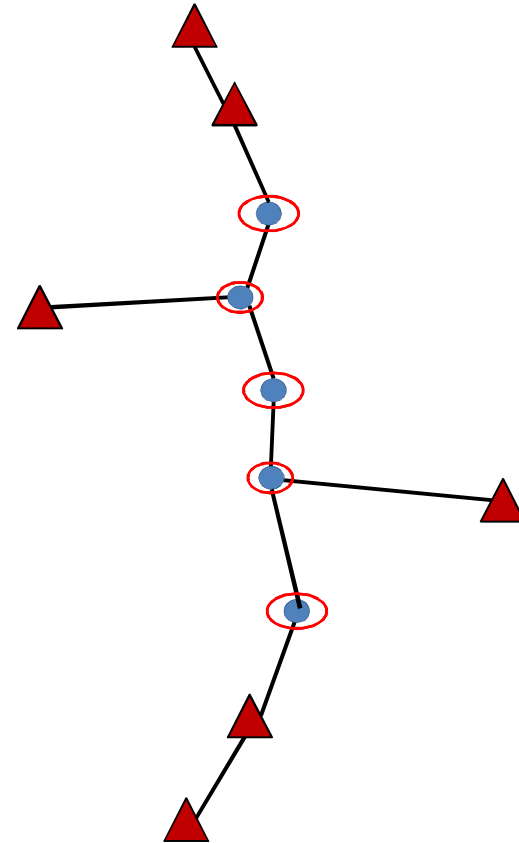
JHS184

$t \leq  2.8 $	hyväksytty
$t >  2.8 $	hylätty ("viisi tuhannesta")

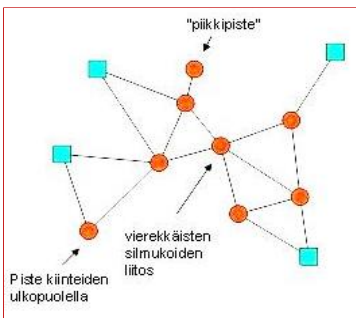
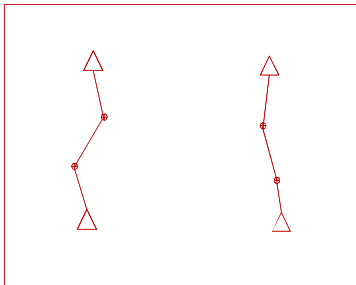
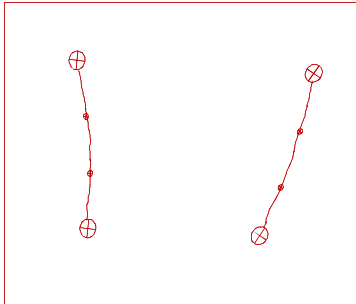
Jonomainen



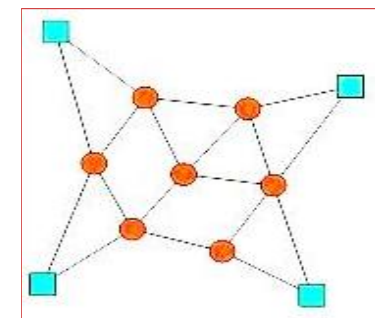
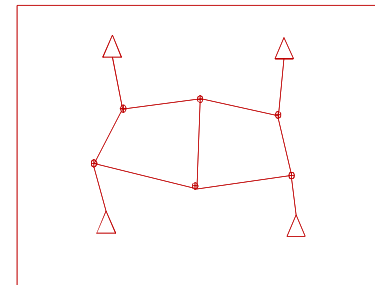
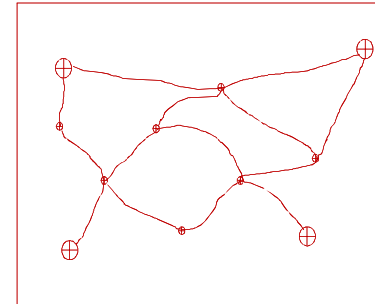
Verkkomainen

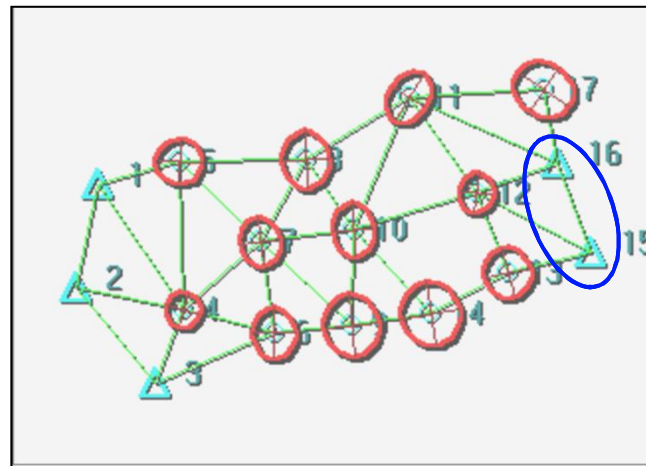
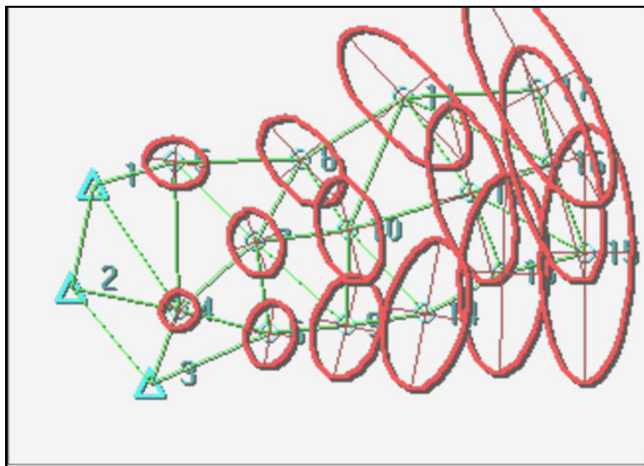


## Jonomaisuus



## Verkkomaisuus





Verkon rakenne sekä havaintojen tarkkuus määrittävät tulosten tarkkuuden

Verkon rakenne määrittää tulosten luotettavuuden

Verkon laatu = tarkkuus + luotettavuus

## A. Kytetty verkko, kiinteät lähtöpisteet

- perinteinen tasointumalli
- havainnot + kiinteät lähtöpisteet,  $m_{\text{ENH}} = 0.000 \text{ m}$
- lähtöpisteitä käsitellään kiinteinä, ehdottomasti oikeina koordinaatteina jotka eivät saa mitään korjauksia

### Haittapuolet:

- karkeiden virheiden löytäminen ja paikallistamisen vaikeaa, jos niitä on sekä havainnoissa että lähtöpisteissä
- huonot, virheelliset lähtöpisteet vääristävät verkon hyviä havaintoja

## B. Kytetty verkko, "joustavat" lähtöpisteet

- havainnot + painotetut lähtöpisteet,  $m_{\text{ENH}} \neq 0.000$  m
- lähtöpisteitä käsitellään koordinaattihavaintoina, jotka saavat korjauksia muiden havaintojen tapaan

### Edut:

- mahdollistaa rakenteeltaan hyvässä verkossa karkeiden virheiden löytämisen ja paikallistamisen lähtöpisteistä
- uudet pisteet asettuvat optimaalisesti lähtöpisteistön suhteen

## C. Vapaa verkko

- matriisilaskennan erityismenetelmä ( $\text{tr } C_{xx} \rightarrow \min$ )
- tasointus ilman lähtöpisteitä pelkillä havainnoilla
  - havaintojen keskinäinen yhteensopivuuden toteaminen
  - havaintojen painotuksen onnistuneisuuden toteaminen
  - verkon rakenteen onnistuneisuuden toteaminen

## Edut:

- eristämällä havainnot ja lähtöpisteistö toisistaan ongelmallisten runkoverkkojen laskenta helpottuu
- karkeiden virheiden jahtaaminen on järkevää vaiheittain

- Inhimilliset ominaisuudet
  - kokemattomuus
  - tietämättömyys
  - ymmärtämättömyys
  - välinpitämättömyys
- Sokea usko tekniikkaan
  - ihmեսauva/kartoitussauva ratkaisee kaiken
    - "millintarkkuus minuutissa"
    - "vaivatonta vaaitusta"
    - "koje viisaampi kuin käyttäjä"
    - irtopistetekniikka (RTK/VRS) tuottaa yksittäisiä pisteitä ilman keskinäistä kontrollia
  - "Blackbox" –verkkotasoitukset
    - teorian ja ohjelmiston käytön heikko hallinta
    - laskentaparametrit ja niiden merkitys
    - tulosten tulkinta

Ratkaisu = lisä/täydennyskoulutus



Kiitokset  
mielenkiinnostanne!