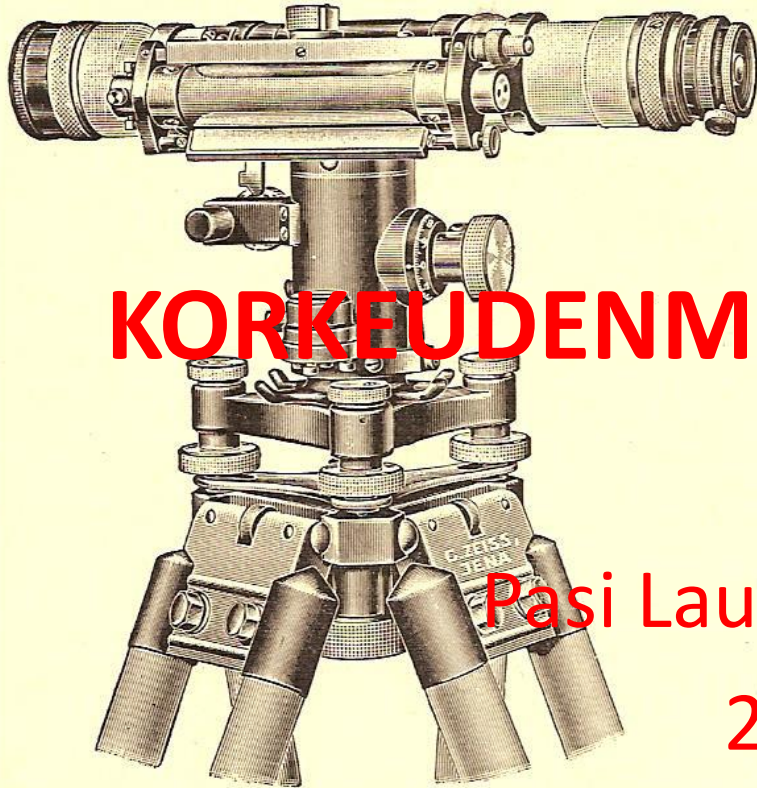


Zeiss'in punnituskone



KORKEUDENMITTAUSMENETELMÄT

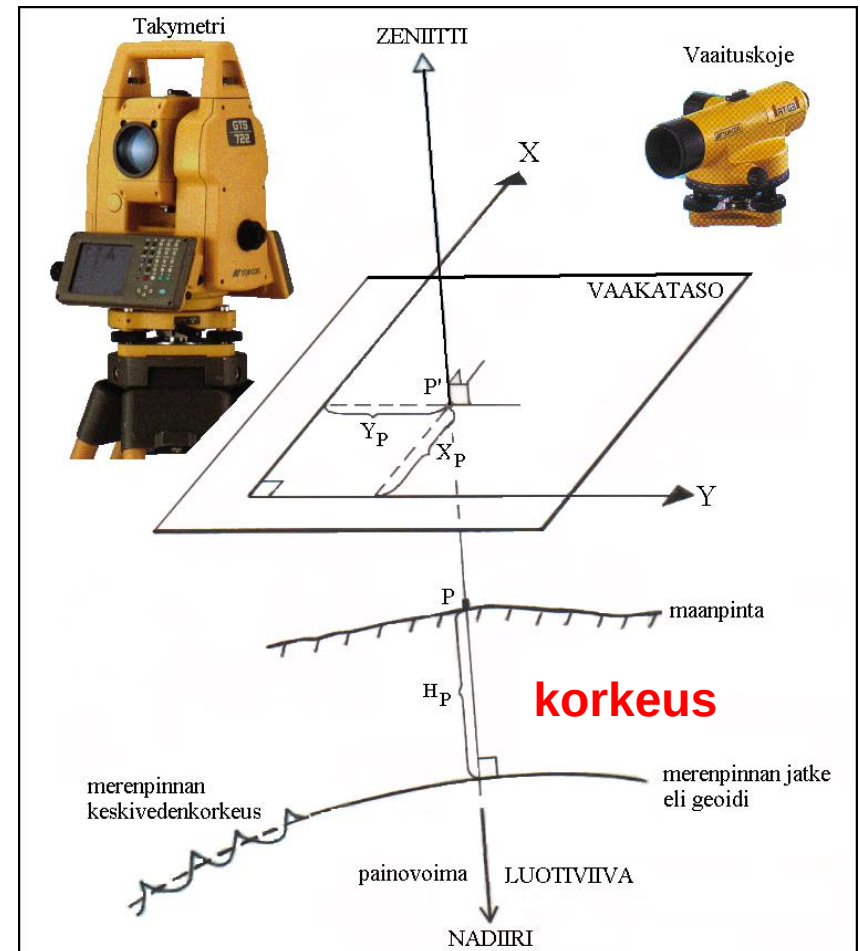
Pasi Laurila / Lapin AMK

28.8.2018

N:o 583—584

Korkeus ja korkeusero

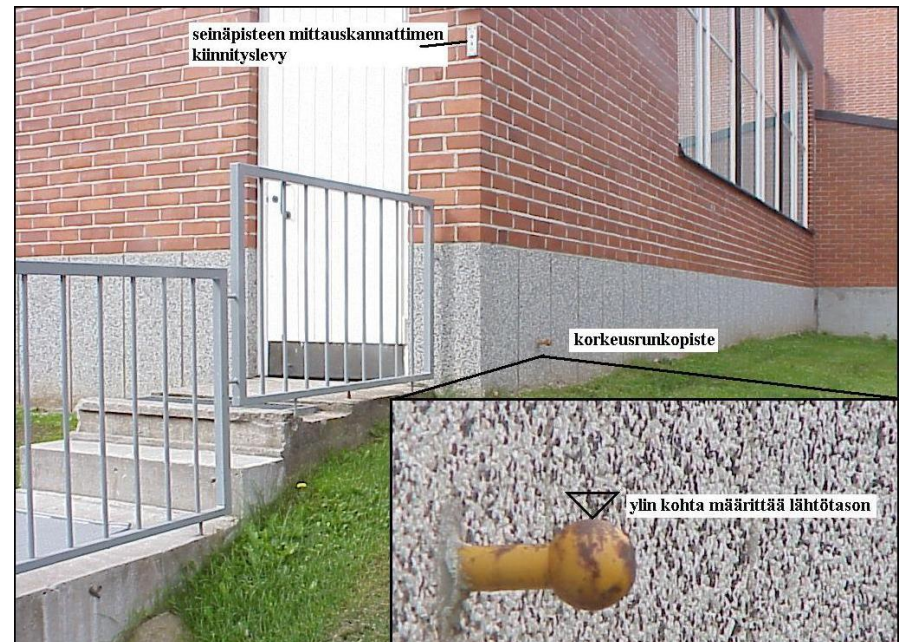
- Korkeus on kohteen etäisyys sovitusta vaakasuorasta vertailupinnasta
- Yleensä vertailupintana on merenpinnan taso ja sen jatke (geoidi)
- **Mittauskojeilla mitataan korkeuseroja**
- Merenpinnan tasoon päästään käsiksi korkeuskiintopisteiden avulla



Korkeusjärjestelmät

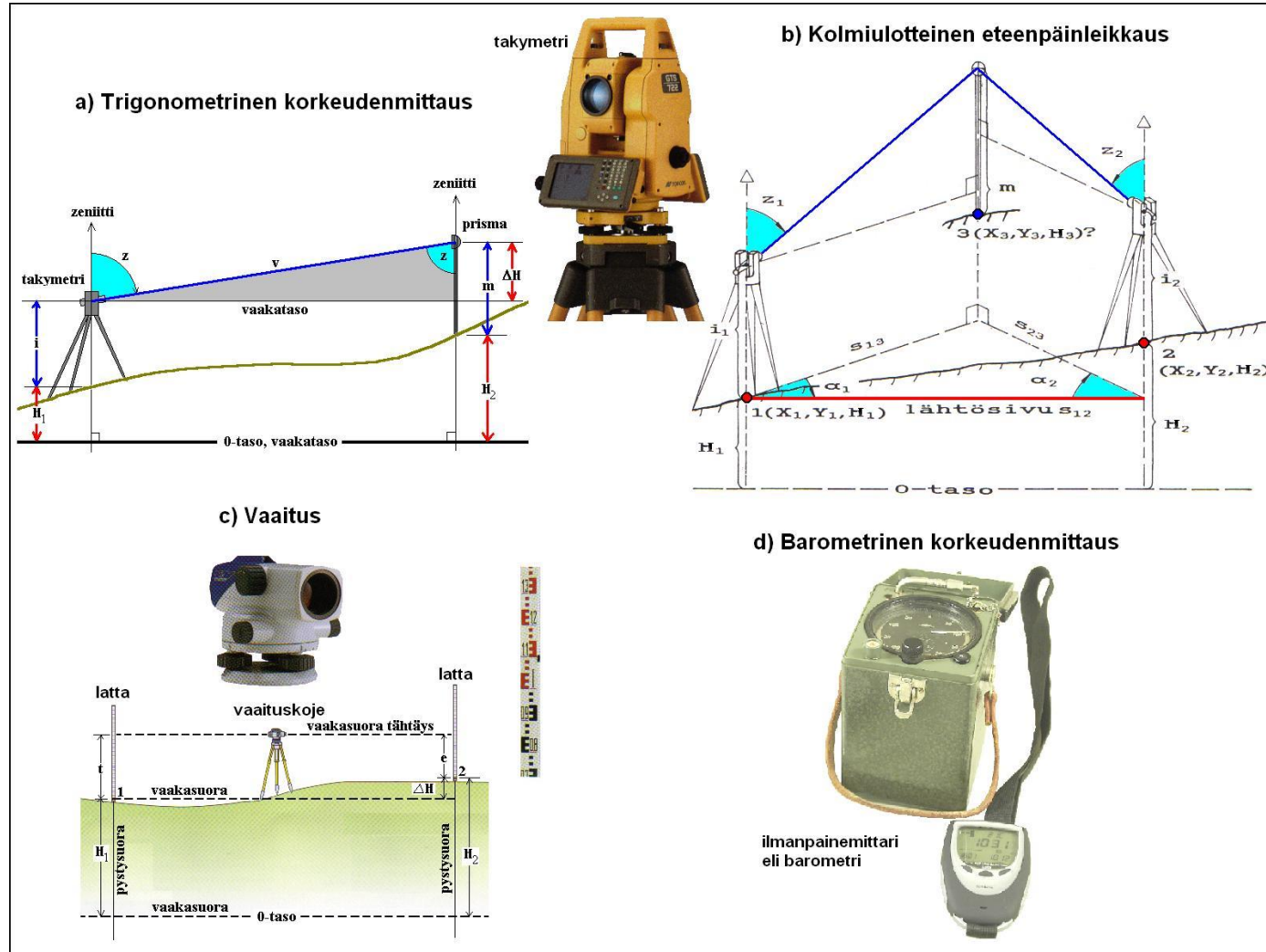
- Korkeusjärjestelmä kertoo sovitun vertailutason
- Suomessa käytettyjä korkeusjärjestelmiä ovat NN, N43, N60 ja N2000
- Korkeusjärjestelmään liittyvä luku kertoo ajankohdan, johon vertailutaso liittyy

Korkeusjärjestelmä realisoidaan tarkkavaaitusten ja korkeuskiintopisteiden avulla

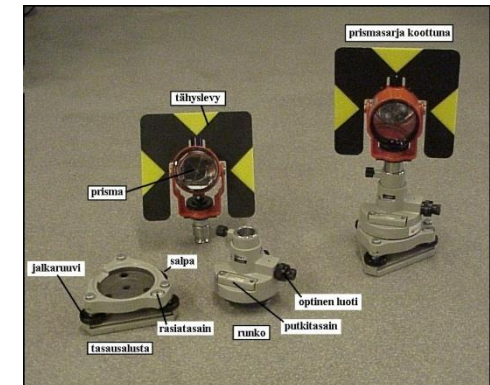
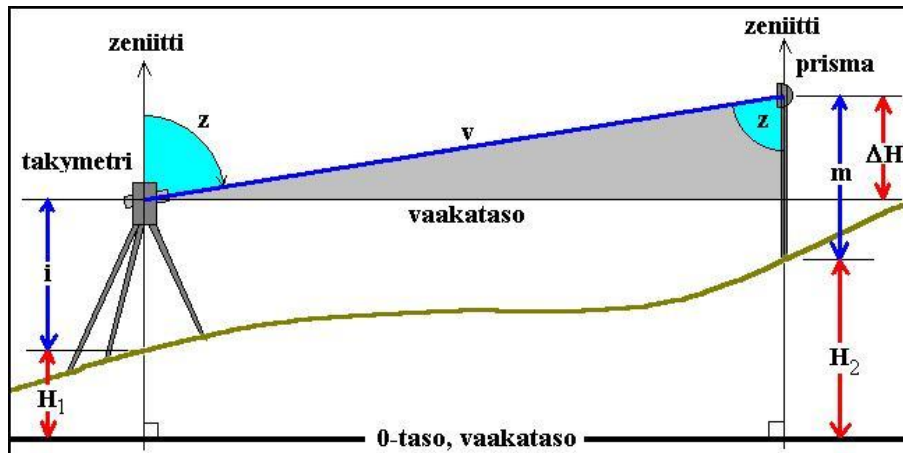


Korkeuskiintopisteen merkinä on pyöristetty pultti

Korkeudenmittausmenetelmät



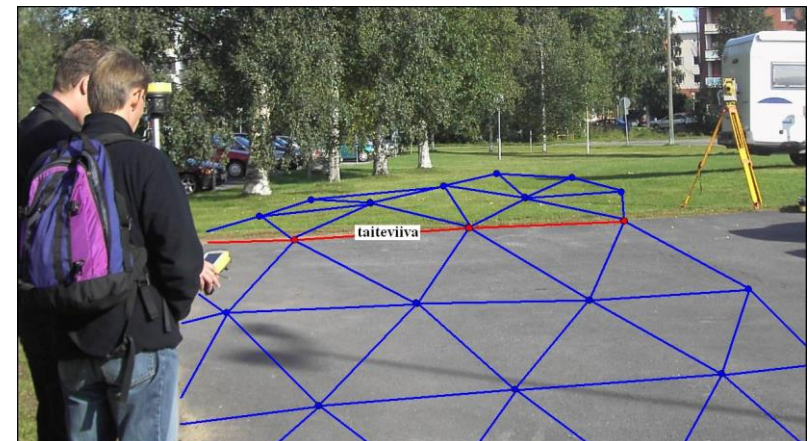
Trigonometrinen korkeudenmittaus



$$H_2 = H_1 + v \cos z + i - m$$

Takymetrillä mitataan korkeuksia esimerkiksi maastomallia varten

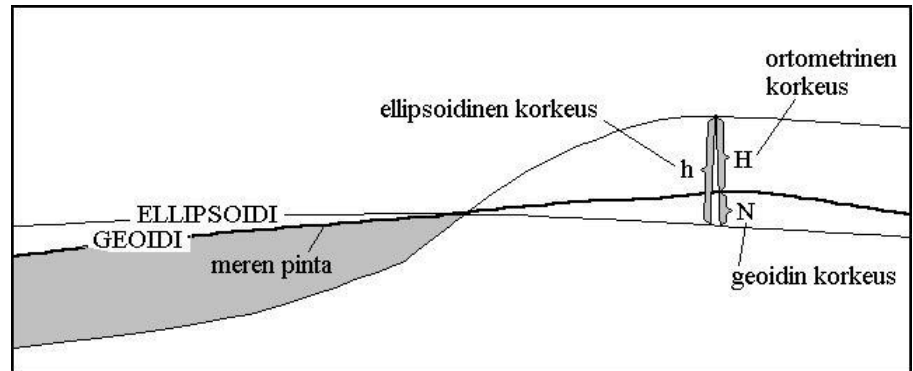
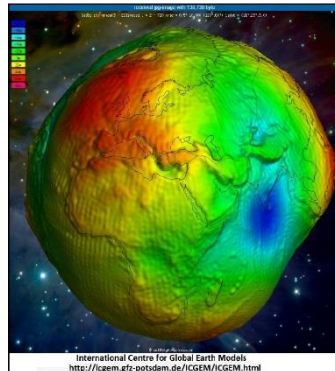
Tietotekniikkaan tukeutuva rakennustekninen suunnittelu ja ympäristön visualisointi perustuvat maastomalleihin



Satelliitipaikannuksen korkeudet

- Korkeuksista puhuttaessa tarkoitetaan yleensä **ortometrisiä** korkeuksia, jotka mitataan painovoiman määrittämän vaakatason suhteen
- Vaaitsemalla ja takymetrillä mitataan ortometrisiä korkeuksia
- Satelliittipaikannuksella mitataan **ellipsoidisia korkeuksia**, jolloin vertailukohtana on Maan muoto kuvaava matemaattinen pinta
- Ellipsoidiset korkeudet pitää muuntaa **geoidimallin avulla** yleisesti käytetyiksi ortometrisiksi korkeuksiksi
- Näiden järjestelmäerojen vuoksi satelliittipaikannusta (GNSS) ei pitkään pidetty varsinaisena korkeudenmittausmenetelmänä, mutta nykyään satelliittipaikannuksen korkeuksien tarkkuus riittää moniin tarkoituksiin

Geoidi on painovoiman samanarvopinta, joka yhtyy merenpintaan

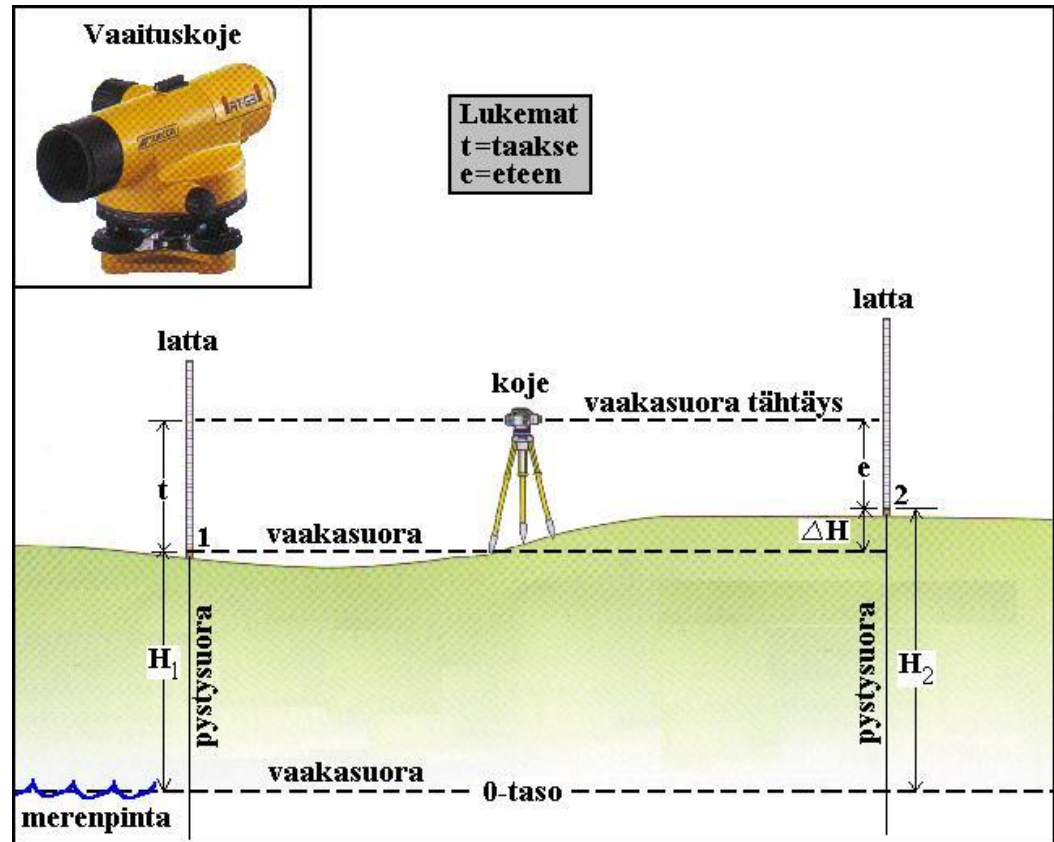


Vaaituksen periaate

Vaaitus on yksinkertainen mittausmenetelmä:

mitataan korkeuseroja, joista lasketaan korkeuksia

Käytetään korkeusrunkomittauksissa ja rakennus- ja asennusmittauksissa



Korkeusero: $\Delta H = t - e$

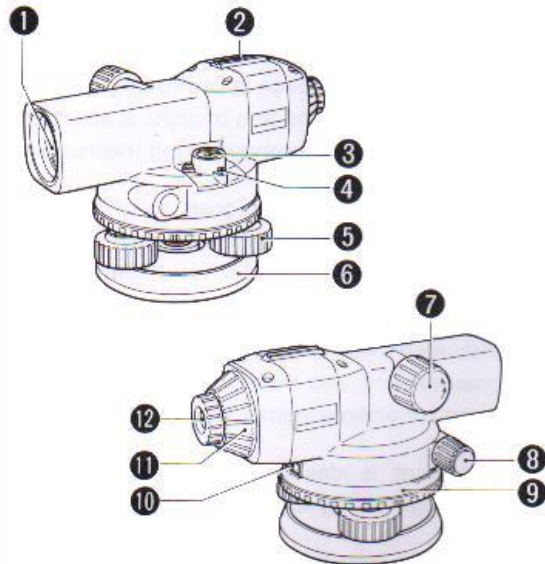
Korkeus: $H_2 = H_1 + \Delta H = H_1 + (t - e)$

Vaaituksen välineet

Itsetasaava vaaituskoje

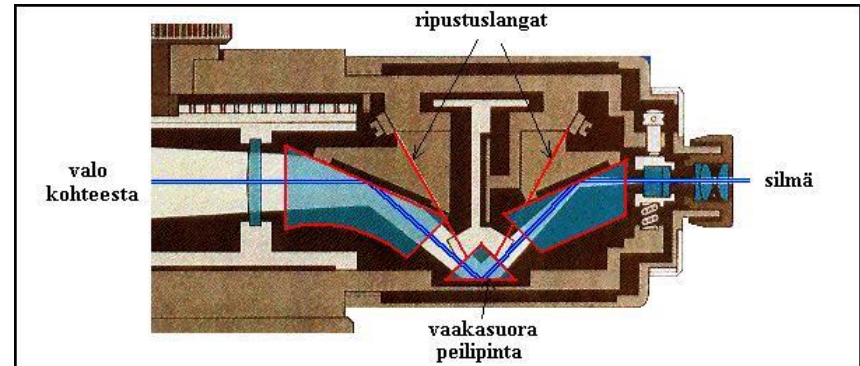


- 1 Objektiivi
- 2 Karkea tähtäin
- 3 Rasiatasain
- 4 Tasaimen säätöruuvit
- 5 Jalkaruuvi

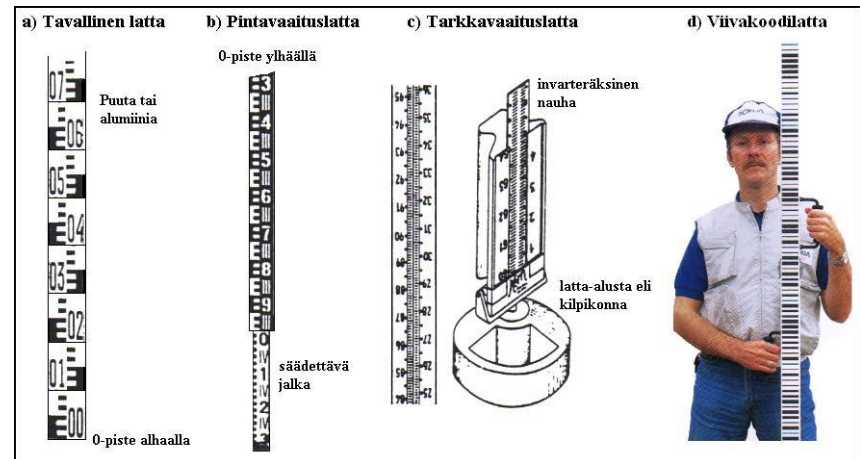


- 6 Pohjalevy
- 7 Fokusoitiruuvi
- 8 Vaakasuunnan täsmäruuvi
- 9 Vaakakehä
- 10 Vaakakehän lukemakohta
- 11 Suojakansi
- 12 Silmäkappale (okulaari)

Kompensaattori

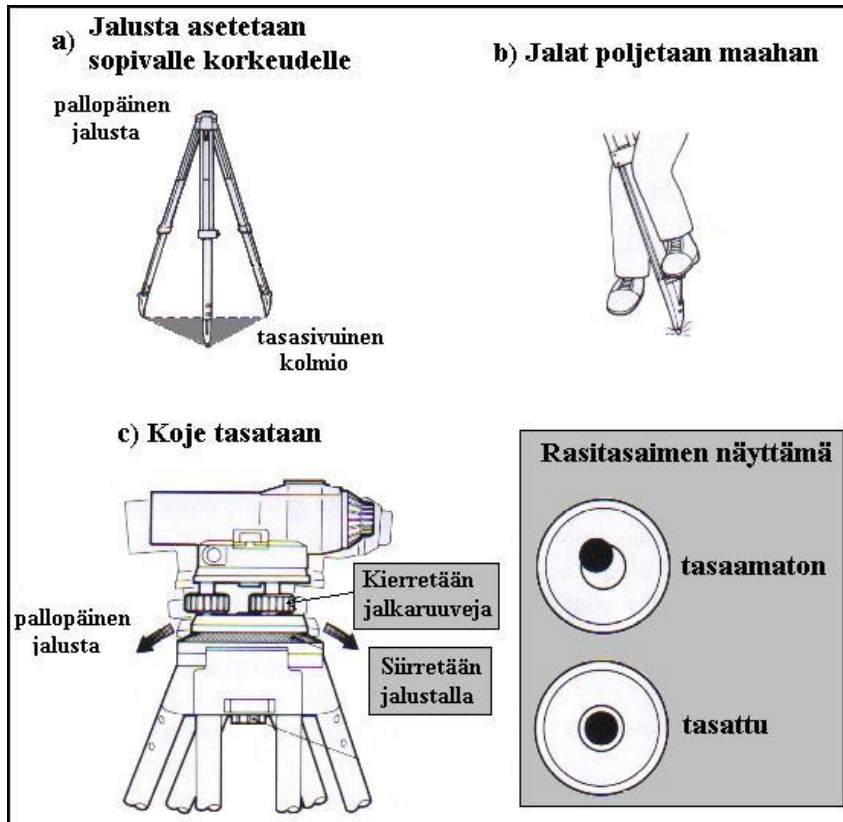


Latta

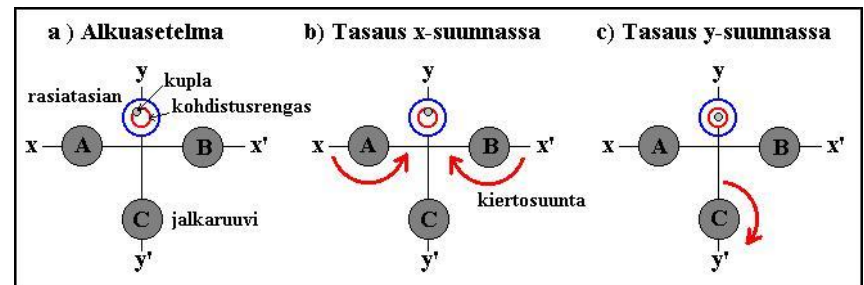


Vaaituskojeen peruskäyttö

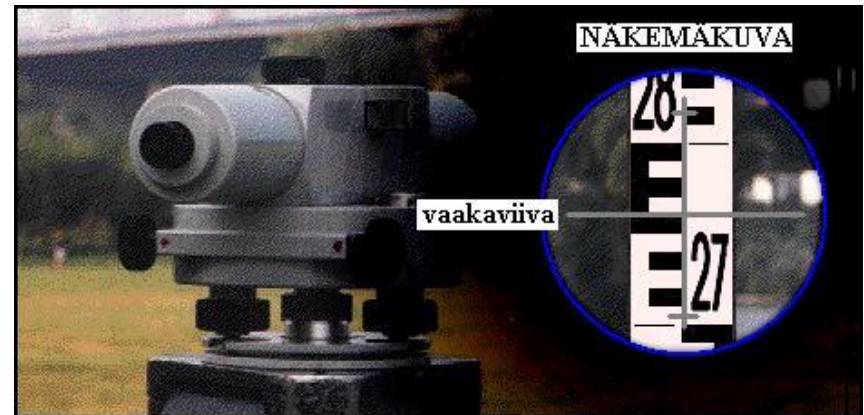
Pystytys



Tasaus

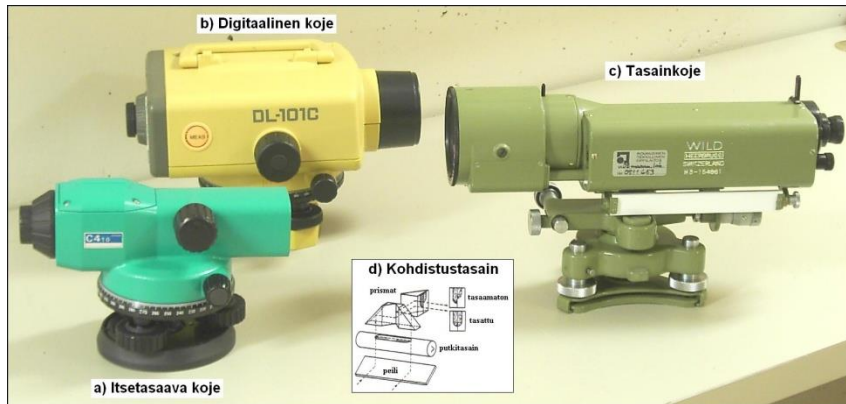


Tähtäys



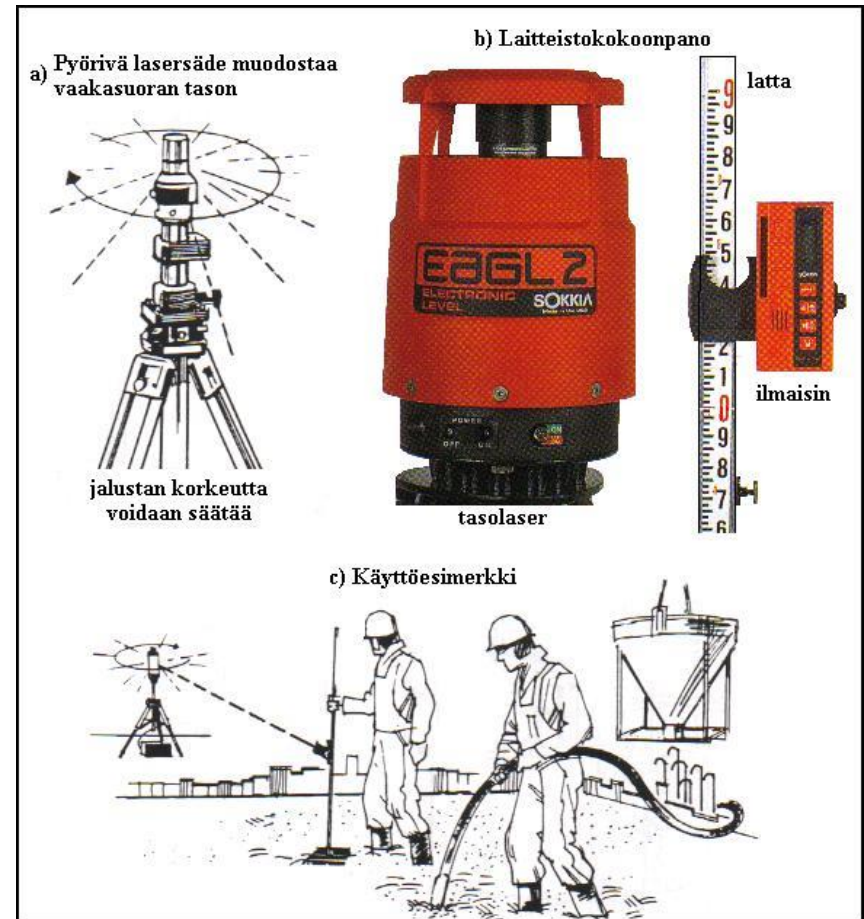
Vaaituskojeiden ryhmittely

- Tasainkojeet
- Itsetasaavat kojeet
- Digitaaliset kojeet
- Taso- ja linjauslaserit



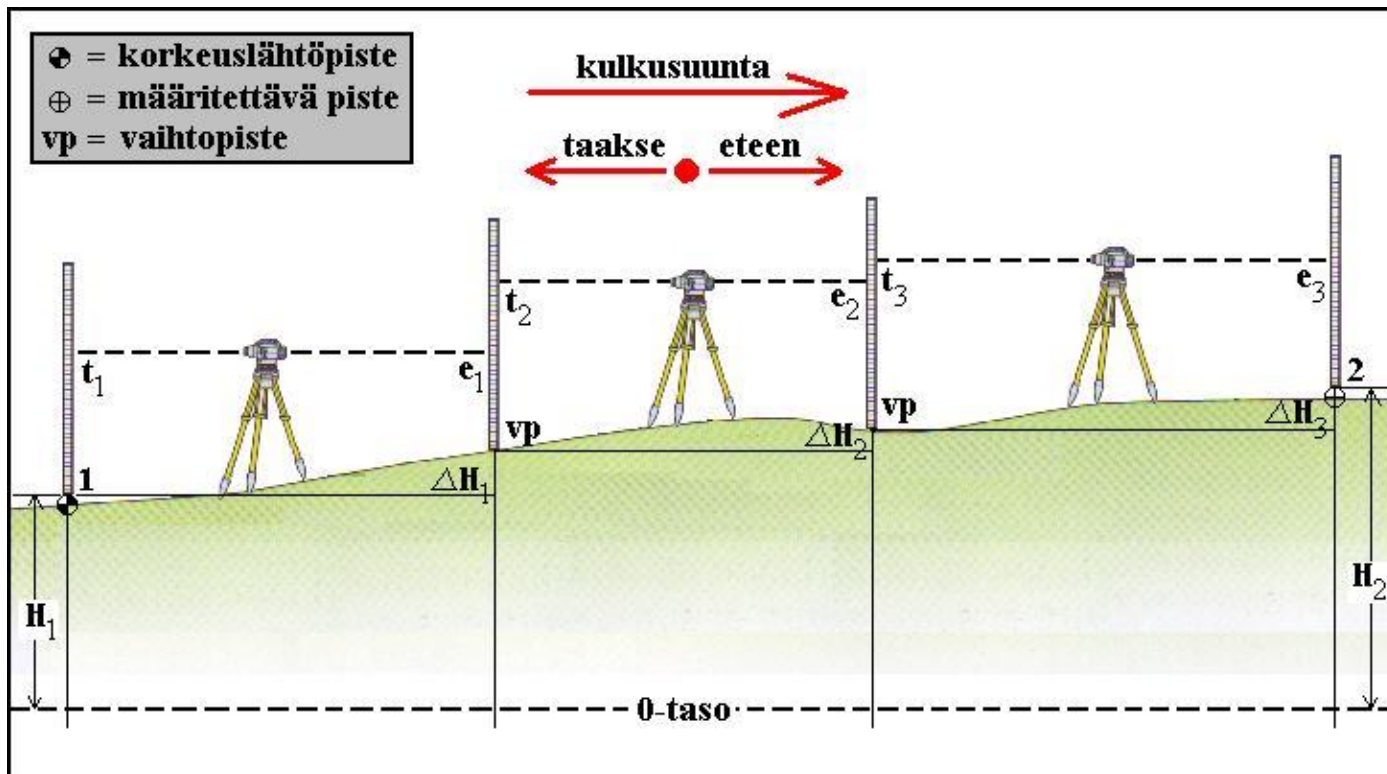
**Rakennus-, yleis- ja tarkka-
vaaituskojeet**

Tasolaser



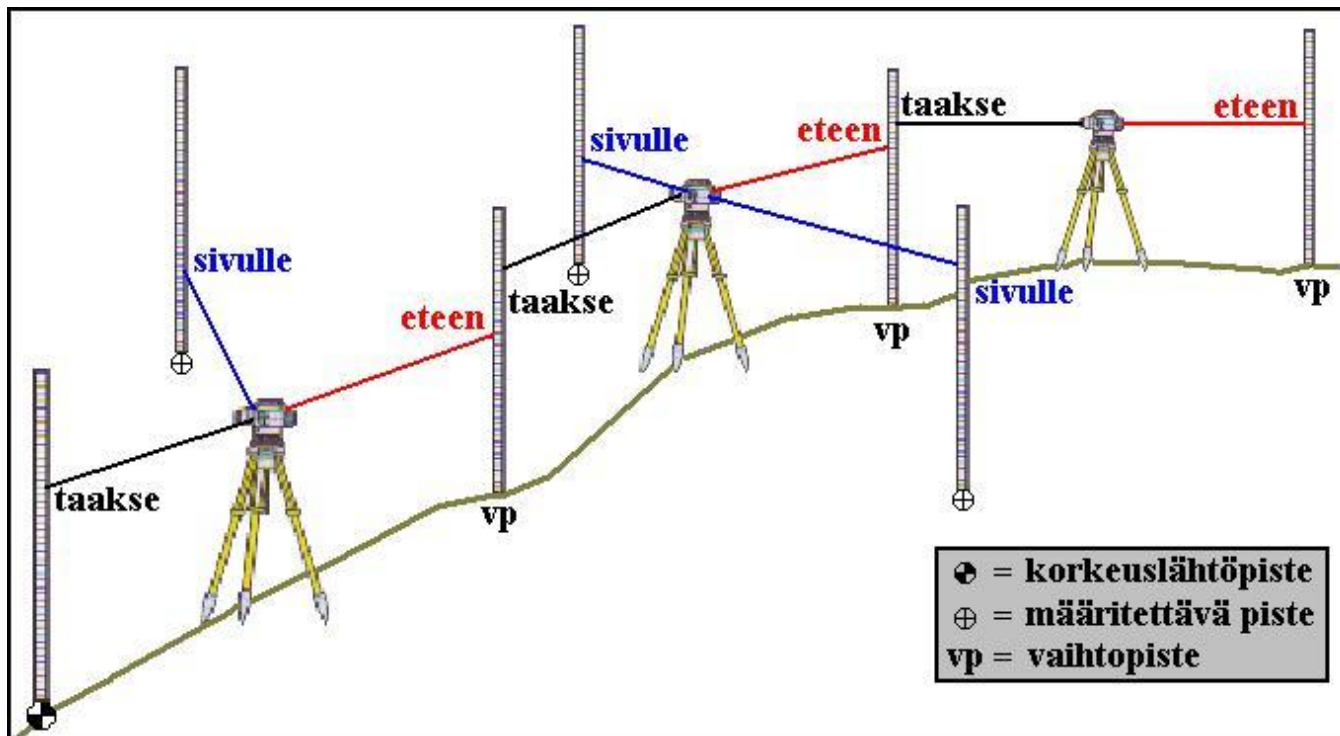
Jonovaaituksen periaate

Kun mittauspisteiden välimatka kasvaa tai alueella on suuria korkeuseroja tai näkemäesteitä, pisteiden välisiä korkeuseroja ei voi mitata yhdestä kojeasemasta. Tällöin mittaus tehdään jonovaaituksella



Erilaisia tähtäyksiä

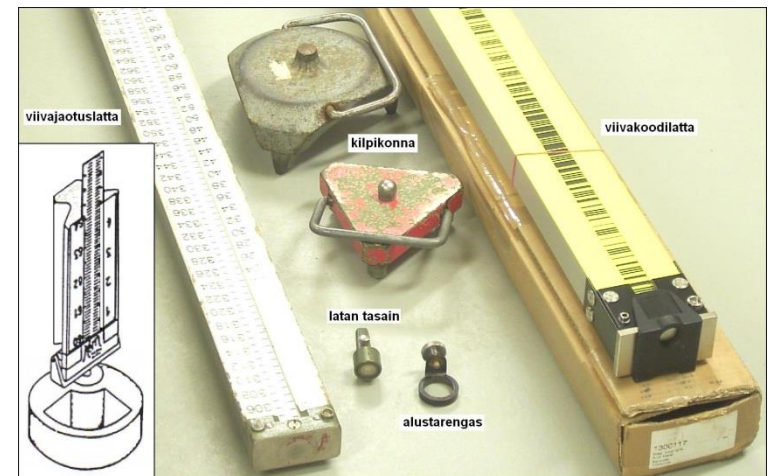
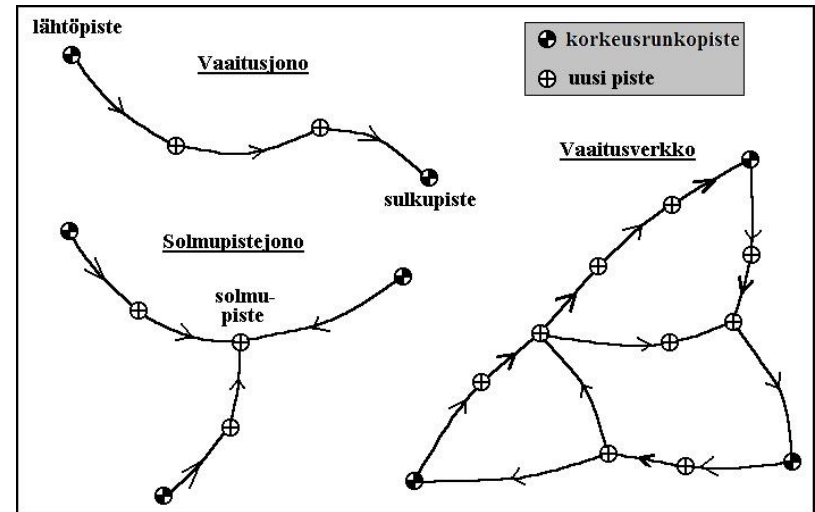
Taakse-, eteen- ja sivulletähtäykset. Virheiden kontrolloinnin näkökulmasta sivulle-tähtäykset ovat ongelmallisia



Vaihtopisteiden (vp) korkeudet eivät mittauksessa kiinnosta, jono vain etenee niiden kautta

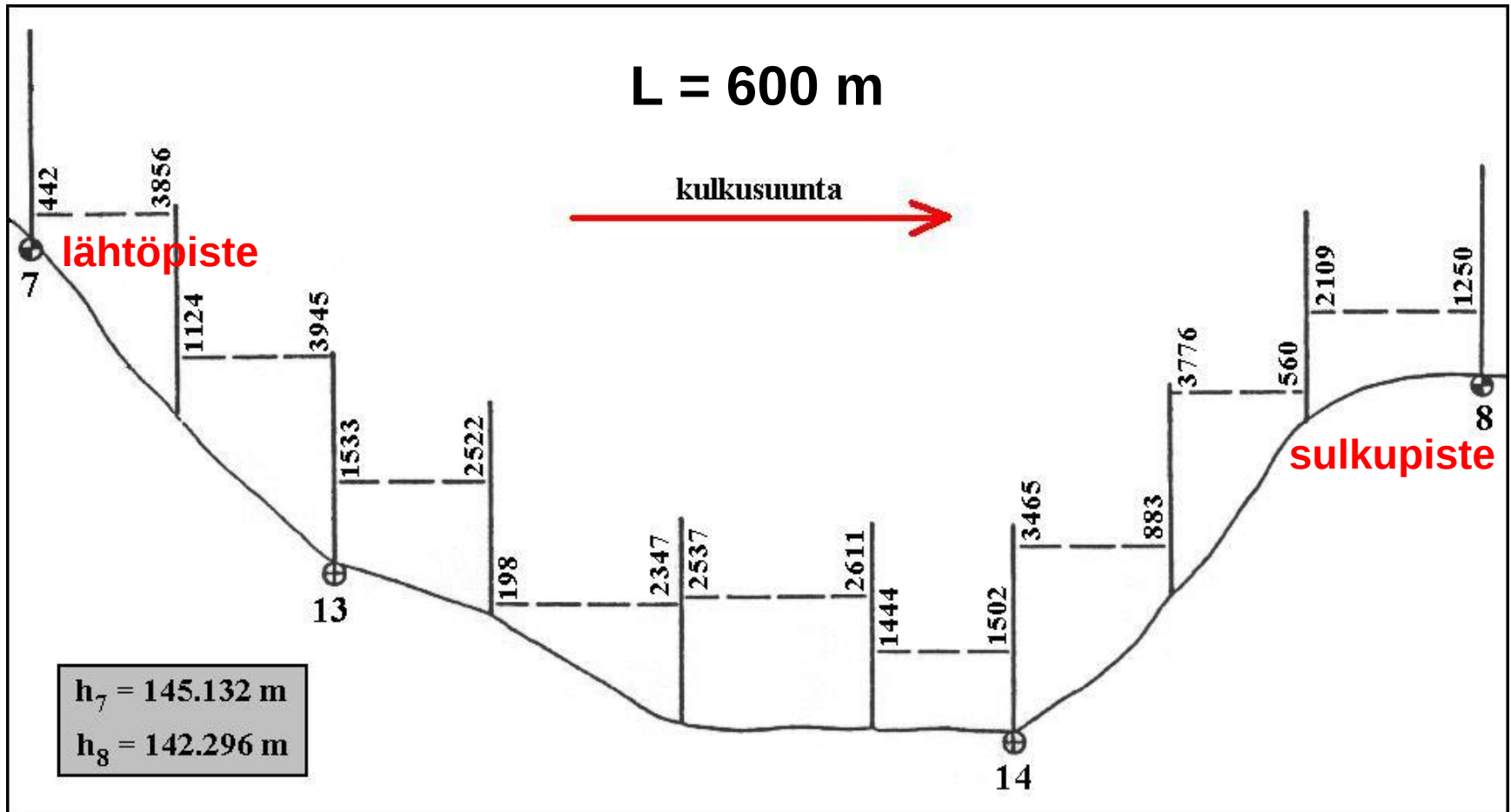
Korkeuskiitopisteiden mittaus

- Korkeuskiitopisteet mitataan jonovaaituksella
- Ylensä mittaus muodostuu useista toisiinsa liittyvistä jonoista
- Mittauskojeena on usein tarkkavaaituskoje



Jonovaaituksen esimerkki

Korkeuskiintopisteitä mitattaessa mittaus suljetaan



Havaintokirjanpito ja laskenta

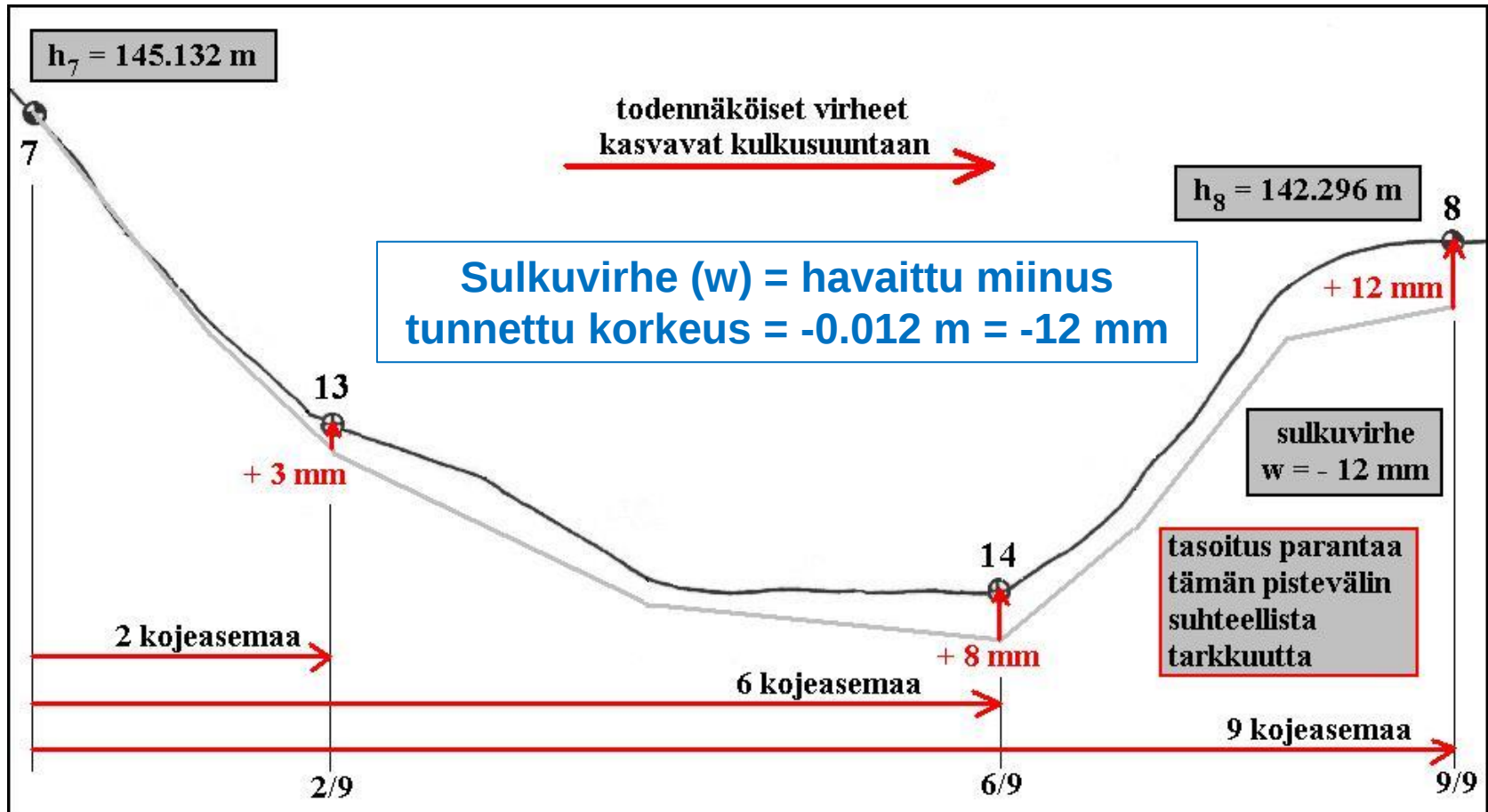
Piste	Taakse (t)	Eteen (e)	Korkeusero (t-e)	Havaittu korkeus	Korjaus	Tasoitettu korkeus
7						145.132
	0.442	3.856				
13	1.124	<u>3.945</u>	-6.235	138.897		
	1.533	2.522				
	0.198	2.347				
	2.537	2.611				
14	1.444	<u>1.502</u>	-3.270	135.627		
	3.465	0.883				
	3.776	0.560				
	2.109	1.250	+6.657	142.284		142.296
8						
				havaittu		tunnettu

Piste	Taakse (t)	Eteen (e)	Korkeusero (t-e)	Havaittu korkeus	Korjaus	Tasoitettu korkeus
7						145.132
	0.442	3.856				
13	1.124	<u>3.945</u>	-6.235	138.897	+0.003	138.900
	1.533	2.522				
	0.198	2.347				
	2.537	2.611				
14	1.444	<u>1.502</u>	-3.270	135.627	+0.008	135.635
	3.465	0.883				
	3.776	0.560				
	2.109	1.250	+6.657	142.284	+0.012	142.296
8						
	16.628	19.476				
		<u>-2.848</u>	-2.848			

$$\text{suhteellinen tarkkuus} = r = \frac{\text{arvioitu virhe}}{\text{pistevälinpituus}} = \frac{w_H}{L} = \frac{0.012 \text{ m}}{600 \text{ m}} = 20 \text{ ppm}$$

Vaaitusjonon tasoitusperiaate

Korkeuskiintopisteitä mitattaessa mittaus tasoitetaan



Kilometrikeskivirhe

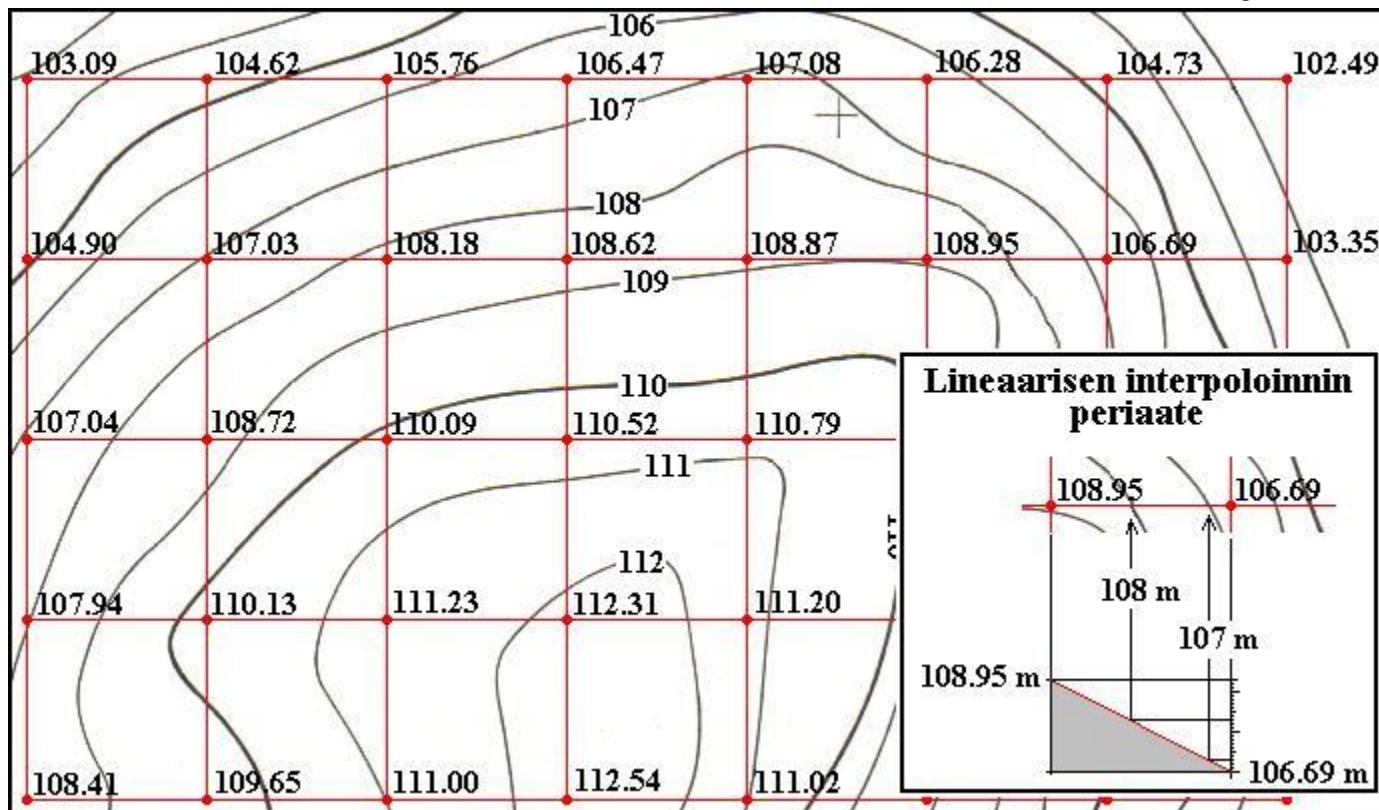
- **Kilometrikeskivirhe kuvaa yhden kilometrin jono-vaaituksen keskihajontaa**
- Sen suuruuteen vaikuttavat kojeen tasaimet ja kaukoputki, latta, tähtäysten pituus ja havaitsija
- Kilometrikeskivirheen mittayksikkö on hieman epätyypillinen $\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$
- Yleisimmin käytettyjen yleisvaaituskojeiden kilometrikeskivirhe on muutamia millimetrejä
- Tarkkavaaituksella voidaan siirtää korkeutta alle millimetrin kilometrikeskivirheellä

Suhteellinen tarkkuus

- **Suhteellinen tarkkuus (r) saadaan, kun arvioitu virhe suhteutetaan matkaan**
- Suhteellinen tarkkuus on pieni laaduton luku, jonka ”yksikkö” on ppm, parts per million, $1 \text{ ppm} = 10^{-6}$
- Jos virhe on 1 mm kilometrin matkalla, suhteellinen tarkkuus on 1 ppm, koska $1 \text{ km} = 1\,000\,000 \text{ mm} = 10^6 \text{ mm}$

Alueellisten korkeussuhteiden kuvaaminen

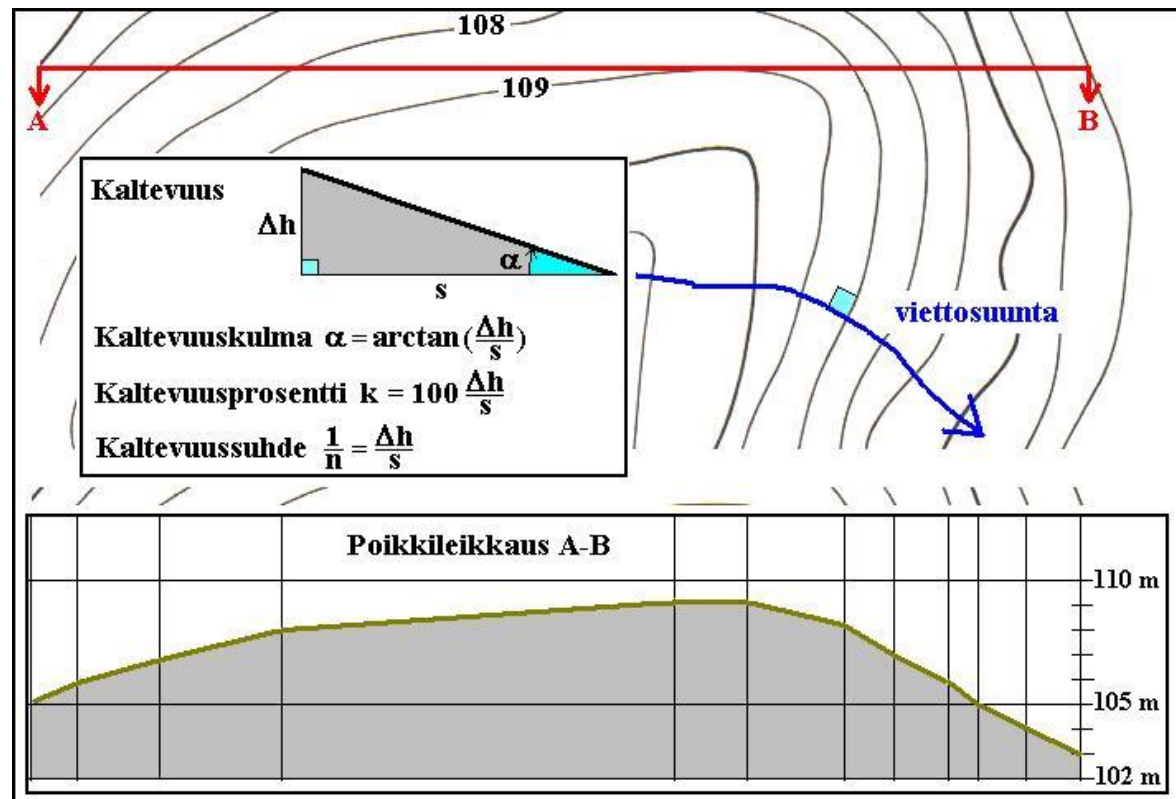
Alueellisia korkeusvaihteluja voidaan kuvata korkeuskäyrinä



**Aikoinaan alueelliset korkeussuhteet on mitattu pintavaaituksella.
Nykyisin käytetään lähinnä takymetriä ja satelliittipaikanninta**

Pinnan kaltevuus ja poikkileikkaus

Rakentamisen tehtävissä korkeustiedoista voidaan johtaa pintojen kaltevuuksia ja poikkileikkauksia



Lähteet

- Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet, Rovaniemen ammattikorkeakoulu, julkaisu D nro 3:
 - Trigonometrinen korkeudenmittaus, s. 61 – 62 ja s. 337 – 378
 - Kolmiulotteinen eteenpäinleikkaus, s. 72 – 74
 - Korkeusjärjestelmät, s. 165 – 169
 - Vaaitus, s. 203 – 236

