

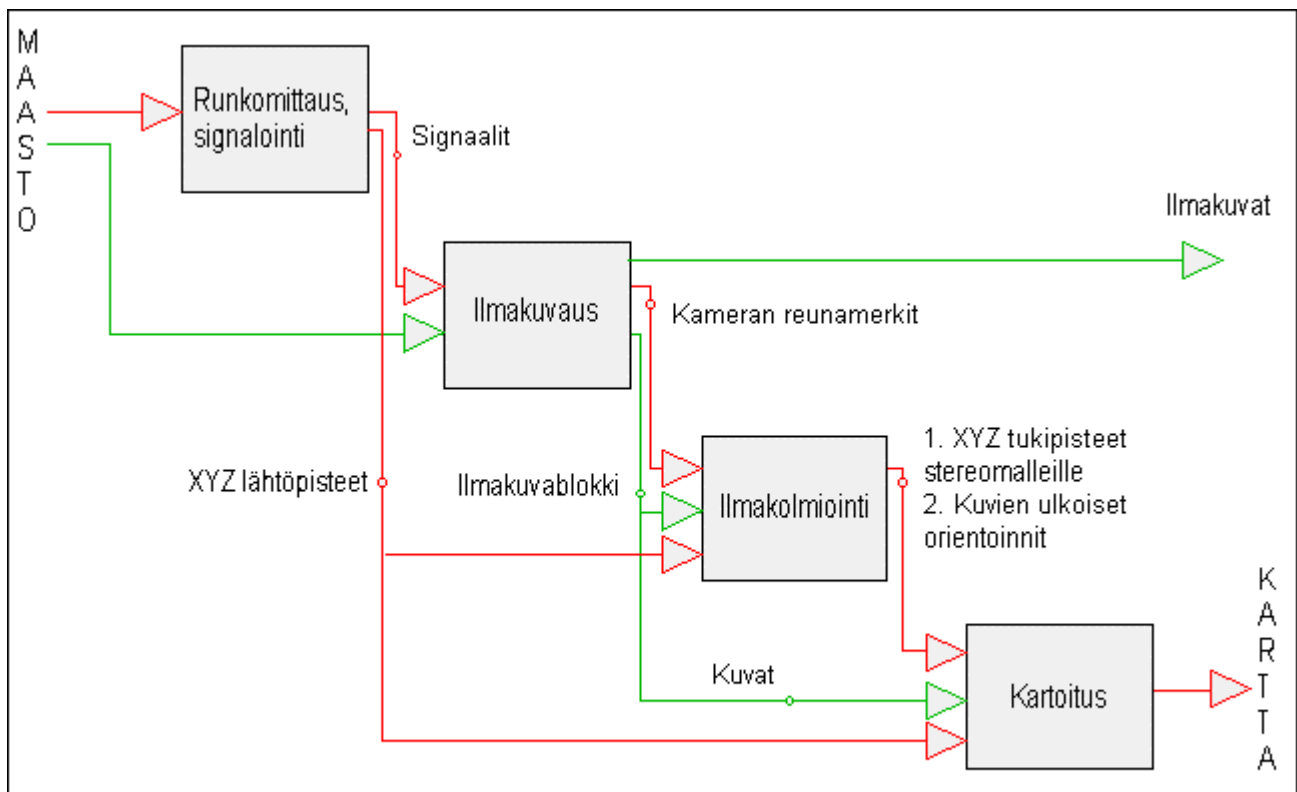
## Luento 7: Fotogrammetrinen mittausprosessi

### AIHEITA

- [Mittausprosessi](#)
- [Orientoinnit](#)
- [Stereomittausesimerkki](#)
- [Esimerkki: "Laatikko"-mallin absoluuttinen orientointi](#)
- [Esimerkki: "Suorakulmainen särmiö"-mallin mittausprosessi](#)

### Mittausprosessi

Fotogrammetrinen mittausprosessi on valokuvaamiseen perustuva peräkkäisten toimintojen ketju, jolla 3-D kohteesta tuotetaan geometrialtaan tulkittu 3-D malli. Sen vaiheita ovat 1) **kohteen koordinaatiston määrittäminen ja sen osoittaminen**, 2) **kohteen kuvaaminen**, 3) **otettujen kuvien orientointi**, ja lopuksi 4) **kuvien 3-D tulkinta ja kohteen mittaus**. Fotogrammetrian menetelmien kannalta tärkeimmät osatehtävät sisältyvät kuvien geometriseen käsittelyyn eli orientointeihin, joilla hallitaan koordinaatistomuunnokset kohteesta kuville ja kuvilta edelleen 3-D mallille.

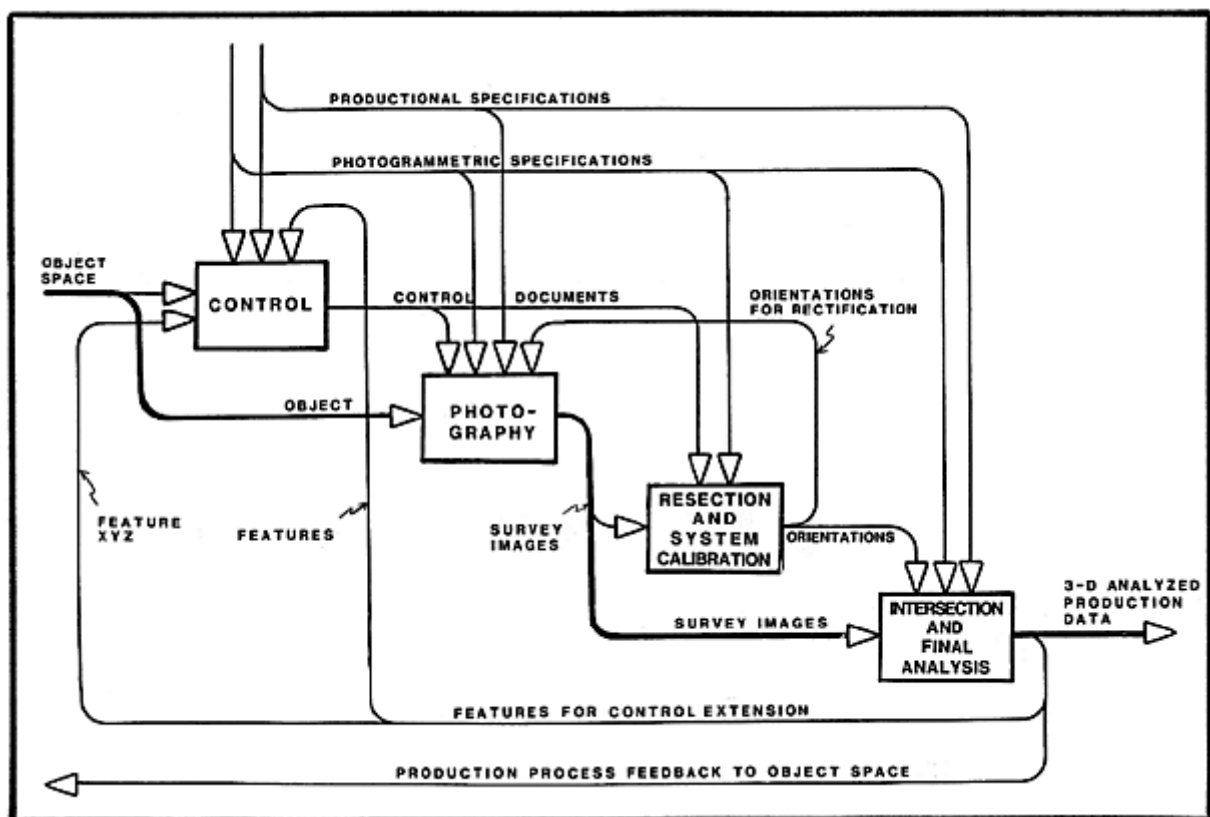


Fotogrammetrinen kartoitusprosessi

Oheisessa kuvassa on esitetty mittausprosessi sovellettuna maaston kartoitustehtävään. Kohdekoordinaatistona on kartastokoordinaatisto, joka on merkitty maastoon geodeettisin kiintopistein. Ilmakuvien tehtävänä on "nähdä" maasto tässä koordinaatistossa niin, että jokaiselle kuvalta tulki-

tulle maaston yksityiskohdalle saadaan määritettyä 3-D koordinaatit. Fotogrammetrisen kartoitusprosessin geodeettisena tavoitteena voidaan pitää sitä, että vaikka kartoitusta tehdään samalla alueella eri aikoina ja eri menetelmin, kaikki kohteet tulee kartoitettua samaan yhtenäiseen koordinaatistoon. Tällä on merkitystä, koska nykyään kartoitustehtävä on yhä useammin täydennyskartoitusta ja vanhan kartta-aineiston päivitystä ja menetelmät perustuvat kuvien ja karttojen keskinäiseen vertaamiseen.

Mittausprosessin yleisin ja samalla tärkein sovellus on koko 1900-luvun ollut maastokartoitus. Yksinomaan sen tarpeet ovat ohjanneet sekä prosessin että työmenetelmien ja laitteiden kehittymistä sellaiseksi kuin ne nyt ovat. Vaikka kuvat ovat muuttuneet digitaalisiksi ja stereotulkinta on luonteeltaan kolmiulotteista, kartat ovat edelleen valtaosin kaksiulotteisia. Voidaankin hyvällä syyllä kysyä, minkälaisilla menetelmillä tänä päivänä karttaa tehtäisiin ja minkälaisia karttoja me käyttäisimme, jos digitaaliset kuvat olisivat olleet käytössä koko tuon sadan vuoden ajan. Vasta 1990-luvulla, lähinnä 3-D visualisointitekniikoiden kehittymisen myötä, on kartoitusprosessi muuttamassa myös fotogrammetristen perustekniikoiden luonnetta.



Selvimmät muutokset varsinaiseen mittausprosessiin ovat syntyneet "on-line"-sovellusten myötä. Esimerkkejä tällaisista mittaustehtävistä ovat teollisen tuotannon laadunvalvonta ja geometrinen mittojen hankinta valmistuksen ohjaustiedoiksi. Fotogrammetrisiksi mittausasemiksi kutsutut konenäköjärjestelmät rakennetaan pysyvästi tuotantolinjalle. Niiden ydin muodostuu kiinteästi asennetuista kameroista ja kameroiden jatkuvasti tuottamia kuvia fotogrammetrisesti tulkitsevästä ohjelmistosta. Järjestelmä tulkitsee myös omaa tilaansa, toisin sanoen kaikki geometriset muutokset kameroiden ja ympäristön välillä huomioidaan ja kompensoidaan järjestelmän tuottamissa mittaustuloksissa. Varsinainen mittaussuoritus ja tulosten analysointi on ohjelmoitu ja toistuu tuotantoprosessin tahdissa. Kyse ei ole varsinaisesta kartoitustehtävästä vaan yksinomaan tuotannossa tapahtuvien muutosten havaitsemisesta ja tämän tiedon välittömästä kytkemisestä tilastolliseen prosessinohjaukseen.

# Orientoinnit

## Yhden kuvan orientointi

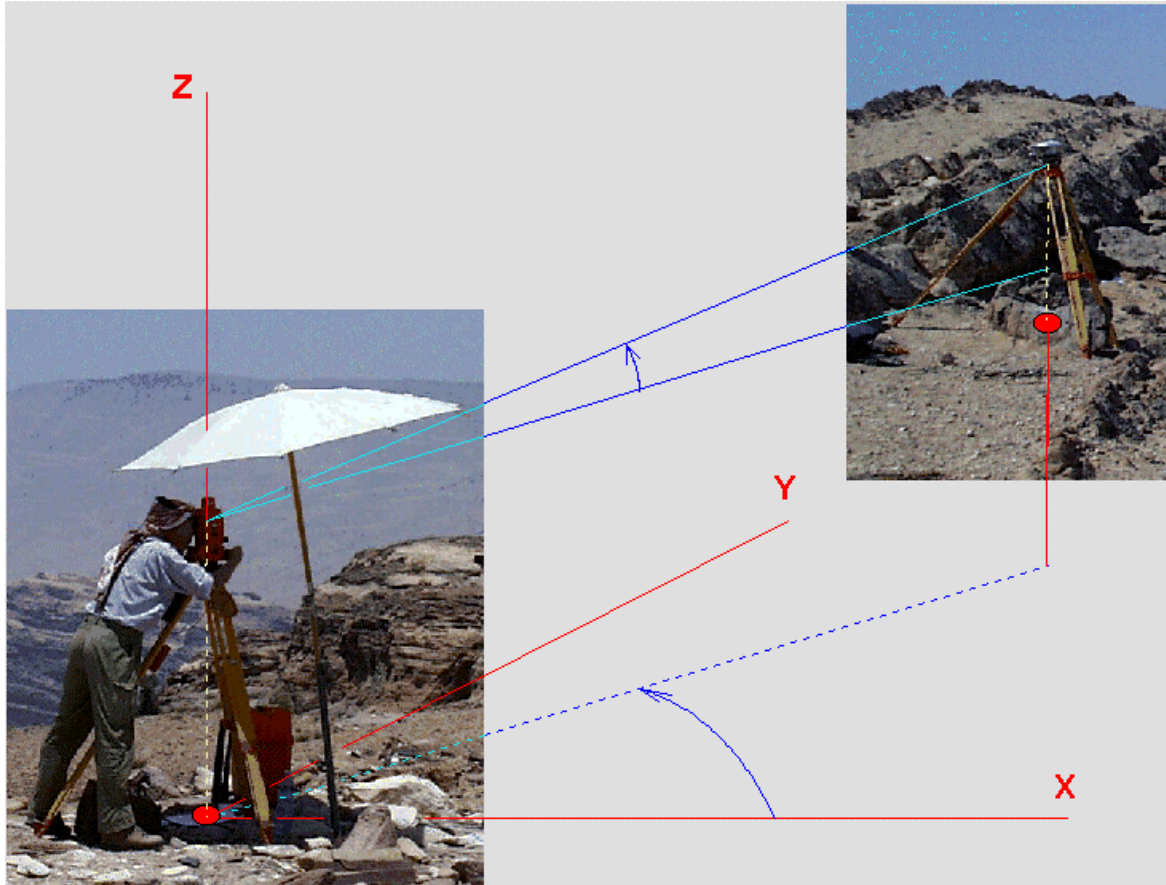
- Mittausprosessin varsinainen fotogrammetrinen osa pelkistyy kuvien orientointeihin. Kuvan sisäisellä ja ulkoisella orientoinnilla "siirretään" tieto kohdekoordinaatistosta kuvalle, minkä jälkeen kaikilla kuvapisteillä ja jokaisen kuvan projektiokeskuksella on omat 3-D koordinaatinsa yhteisessä kohdekoordinaatistossa.
- Sisäinen ja ulkoinen orientointi ovat yhden kuvan orientointikäsitteitä.
- **Sisäinen orientointi**
  - Kameran sisäisen koordinaatiston origona on kameran projektiokeskus (**kamerakoordinaatisto**).
  - Sisäisellä orientoinnilla määritetään kameran projektiokeskuksen suhde siihen koordinaatistoon, jossa kuvahavainnot tehdään (**kuvakoordinaatisto**).
  - Sisäisen orientoinnin muuttujia ovat **kameran pääpiste** ja **kameravakio**.
    - Pääpiste on kameran projektiokeskuksesta kuvalle piirretyn normaalin kantapiste.
    - Kameravakiolla määritetään projektiokeskuksen etäisyys kuvatasosta.
- **Ulkoinen orientointi**
  - Ulkoisena koordinaatistona toimii viime kädessä kohteen koordinaatisto (**kohdekoordinaatisto**).
  - Ulkoisella orientoinnilla määritetään kamerakoordinaatiston suhde kohdekoordinaatistoon.
  - Ulkoisen orientoinnin muuttujia ovat
    - kameran projektiokeskuksen koordinaatit kohdekoordinaatistossa, ja
    - kamera- ja kohdekoordinaatistojen väliset kiertokulmat.
- Orientointien jälkeisessä mittaus- ja kartoitusvaiheessa jokainen kuvalta tulkittu kohdepiste muuttuu avaruussuoraksi, joka kulkee kuvan projektiokeskuksen kautta. Jossain sen jatkeella sijaitsee vastaava kohdepiste. Yksiselitteisesti tämä voidaan paikallistaa leikkaamalla avaruussuora toiselta kuvalta havaitulta, samaan pisteeseen kohdistuvalla avaruussuoralla (**eteenpäinleikkaus avaruudessa**).

## Kuvaparin orientointi

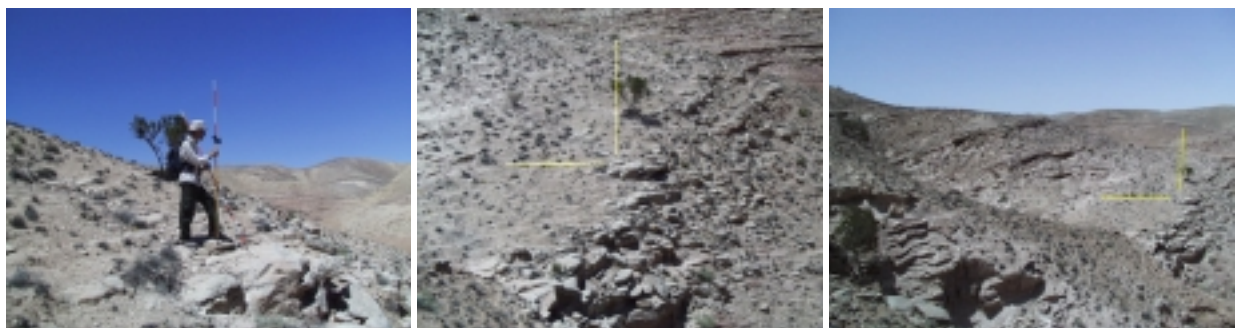
- Kuvaparin orientointi on fotogrammetrinen perustoiminto, jolla tuotetaan stereomalli kahdesta sisäisesti orientoidusta kuvasta. Stereomalli orientoidaan omaan, kohdekoordinaatistoista riippumattomaan 3-D koordinaatistoonsa (**mallikoordinaatisto**). Yksinkertaisinta on valita mallikoordinaatistoksi toisen kuvan kamerakoordinaatisto.
- Kuvaparin varsinaisia orientointikäsitteitä ovat keskinäinen ja absoluuttinen orientointi.
- **Keskinäinen orientointi**
  - Keskinäisellä orientoinnilla määritetään kahden kuvan keskinäinen asema samaksi kuin se oli kuvaustilanteessa. Tämä tehdään esimerkiksi toista kuvaa siirtämällä ja kiertämällä. Orientoinnin muuttujia ovat silloin koordinaatistomuunnoksen kolme siirtoa ja kolme kiertoa.
  - **Keskinäisen orientoinnin muuttujia on viisi**. Koordinaatistomuunnoksen kolmesta siirrosta yksi voidaan määrittää vapaasti, koska kuvakannan pituus ei vaikuta keskinäiseen orientointiin, ainoastaan stereomallin mittakaavaan.
  - Käytännössä keskinäinen orientointi tehdään kuvaliitosorientointina tai riippumattomien kuvaparien orientointina.
  - **Kuvaliitosorientoinnissa** orientointi tehdään vain toista kuvaa käyttäen, jolloin muuttuat ovat kaksi siirtoa ja kolme kiertoa.
  - **Riippumattomien kuvaparien orientoinnissa** orientointi tehdään kumpaakin kuvaa kiertäen. Käytettävissä on viisi kiertoa, koska kuvakannan ympäri kierrettäessä keskinäiseen orientointiin vaikuttaa vain näiden kiertokulmien erotus.

- **Absoluuttinen orientointi**

- Absoluuttisella orientoinnilla määritetään stereomallin mallikoordinaatiston suhde kohdekoordinaatistoon. Koordinaatistomuunnoksena absoluuttinen orientointi on yhdenmuotoismuunnos lisätynä mittakaavakorjauksella.
- Absoluuttisen orientoinnin muuttujia on seitsemän: **kolme siirtoa, kolme kiertoa ja mittakaava.**



Kohdekoordinaatisto määritetään hierarkisesti. Tässä esimerkissä koordinaatisto on ensin tuotu alueelle satelliitipaikannuksella ja merkitty maastoon kiintopisteinä. Kiintopisteistä koordinaatisto siirretään ja tihennetään tarpeen mukaan maastoon. Kohdekoordinaatisto tunnetaan tukipisteinä, joita käytetään kolmioinnin ja pistetihennyksen lähtöpisteinä. Koordinaatisto siirretään lopulta kuville tukipisteiksi.

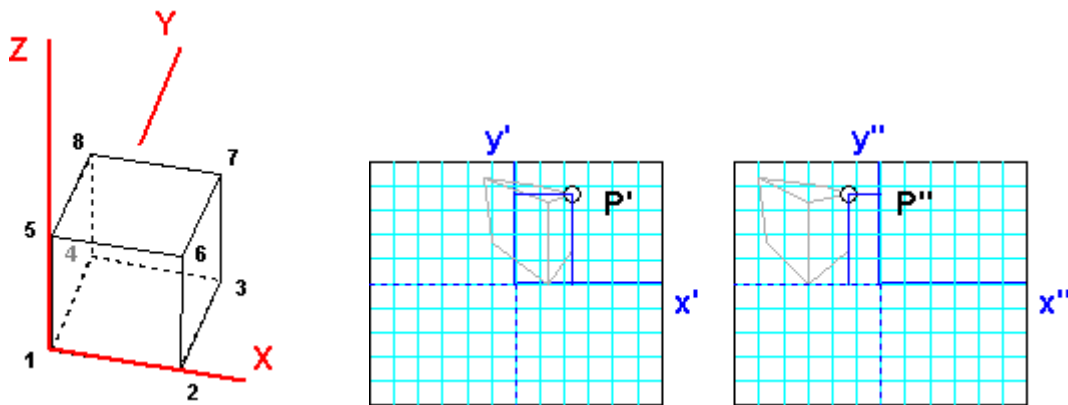


Koordinaatiston tukipiste voi olla kiintopiste (control point) tai luonnollinen piste (natural control point). Kiintopisteiden koordinaatit tunnetaan ja pisteet signaloidaan ennen kuvausta. Tässä tukipisteenä käytetään mittauskuvalta (alin kuva) valittua kohteen yksityiskohtaa. Yksityiskohtan identifioimiseksi tukipiste kuvattiin myös zoomattuna (ylempi kuva oikealla). Tukipisteen

koordinaatit mitattiin kuvauksen jälkeen takymetrillä ja tarkka mittauskohda tallennettiin kuvaamalla (ylempi kuva vasemmalla).

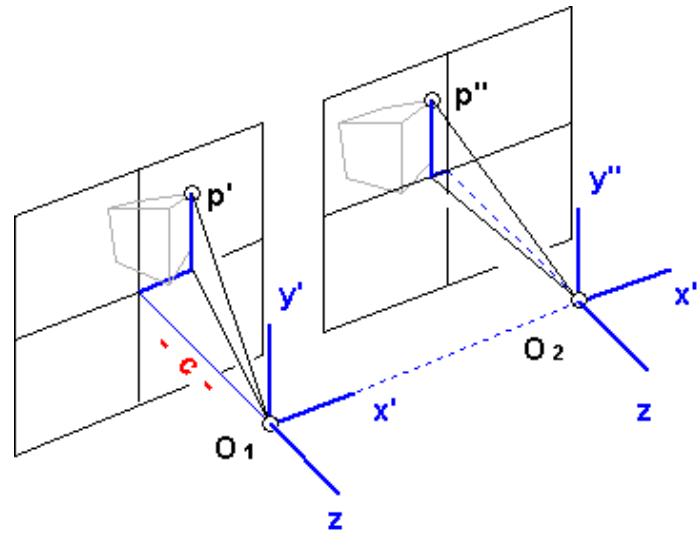
## Stereomittausesimerkki

- Seuraavassa esimerkissä käymme stereomittauksen läpi vaiheittain. Laskemme normaaliasentoiselta stereokuvaparilta havaittujen pisteiden kohdekoordinaatit.
- Valitaan esimerkiksi luennolla 3 laskettu [kuvapari](#), jonka kohdekoordinaatisto, kamera ja kuvausgeometria tunnetaan.
- Työvaiheet ovat:
  - Laskemme pisteiden kohdekoordinaatit kamerakoordinaatistossa.
  - Kierrämme kamerakoordinaatiston kohdekoordinaatiston suuntaiseksi.
  - Siirrämme kamerakoordinaatiston kohdekoordinaatistoon.

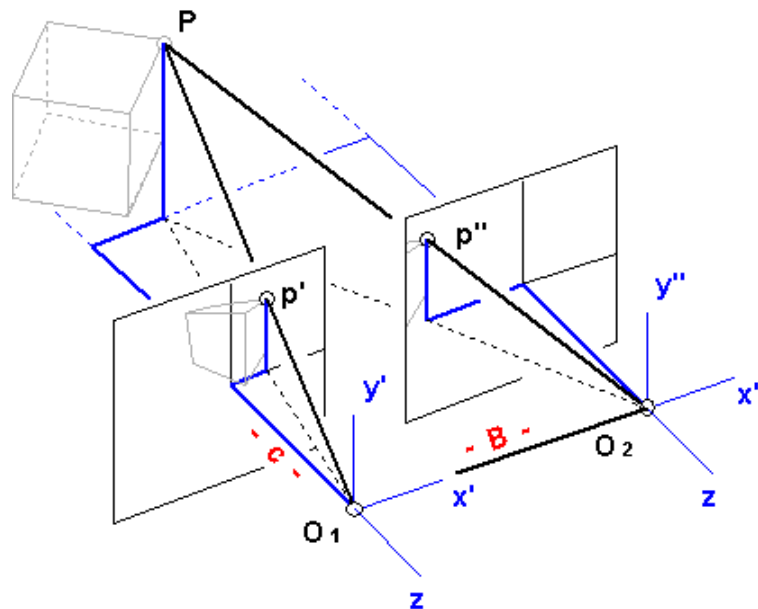


Kohdekoordinaatit				
	X	Y	Z	
1	0	0	0	
2	100	0	0	
3	100	100	0	
c	40			
B	20			
Havaitut kuvakoordinaatit				
	x'	y'	x''	y''
1	0	-5.98853	-2.77619	-5.98853
2	-12.9884	-9.14362	-16.662	-9.14362
3	0	-15.3131	-5.42861	-15.3131
4	12.98838	-9.14362	9.31471	-9.14362
5	0	8.094825	-2.86967	8.094825
6	-13.5734	9.555497	-17.4126	9.555497
7	0	12.50665	-5.7979	12.50665
8	13.57344	9.555497	9.734292	9.555497

Kohdekoordinaatisto  $X, Y, Z$  ja kuvakoordinaatistot  $x', y'$  ja  $x'', y''$ . Kohdekoordinaatistoa määrittäviksi pisteiksi valitaan kuution nurkkapisteet **1, 2** ja **3**. Kummankin kuvakoordinaatiston origo on kuvan pääpisteessä ja kameravakio on **c**. Kuvaparin kuvausgeometria on normaaliasentoinen stereokuvapari, jonka kanta on **B**.



Kuvakoordinaatit  $x', y'$  ja  $x'', y''$  muunnetaan kamerakoordinaateiksi  $x', y', -c$  ja  $x'', y'', -c$ .

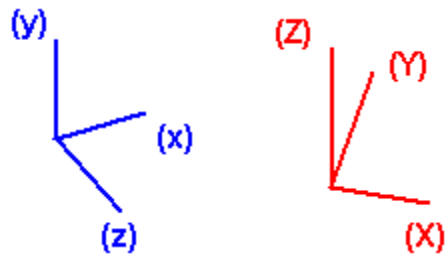


$$Z = \frac{B \cdot c}{p_x} \quad \text{Scale: } M = \frac{Z}{c}$$

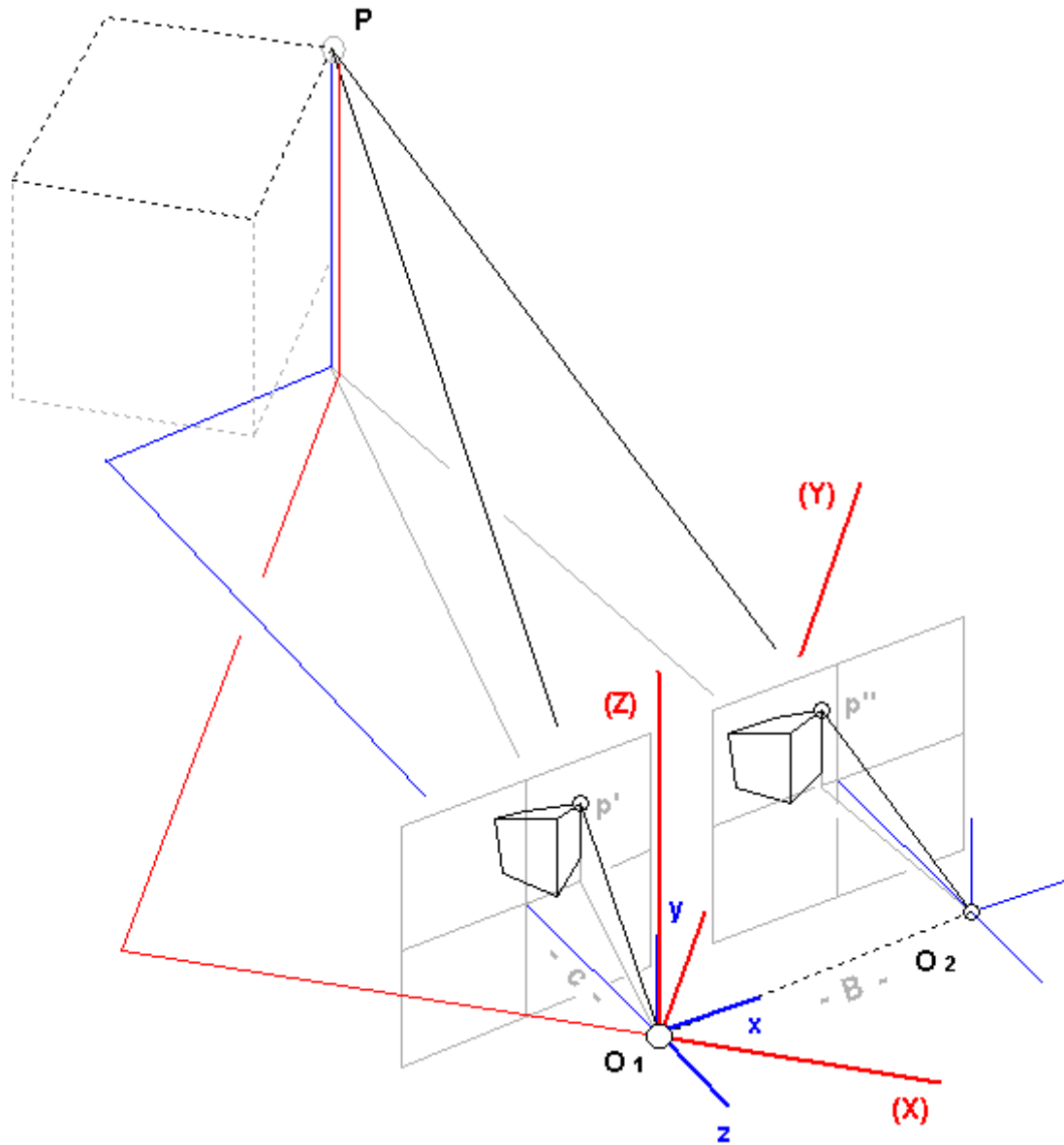
$$X = M \cdot x \quad Y = M \cdot y$$

	$p_x$	$(z)$	$M$	$(x)$	$(y)$
1	-2.77619	-288.164	7.204112	0	-43.142
2	-3.67367	-217.766	5.44415	-70.7107	-49.7792
3	-5.42861	-147.368	3.684188	0	-56.4165
4	-3.67367	-217.766	5.44415	70.71068	-49.7792
5	-2.86967	-278.778	6.96945	0	56.41648
6	-3.83915	-208.38	5.209488	-70.7107	49.77925
7	-5.7979	-137.981	3.449526	0	43.14202
8	-3.83915	-208.38	5.209488	70.71068	49.77925

Pisteiden kohdekoordinaatit lasketaan vasemman kuvan kamerakoordinaatteina  $(x)$ ,  $(y)$  ja  $(z)$ . Koordinaattiarvot voidaan laskea parallaksikaavoilla.

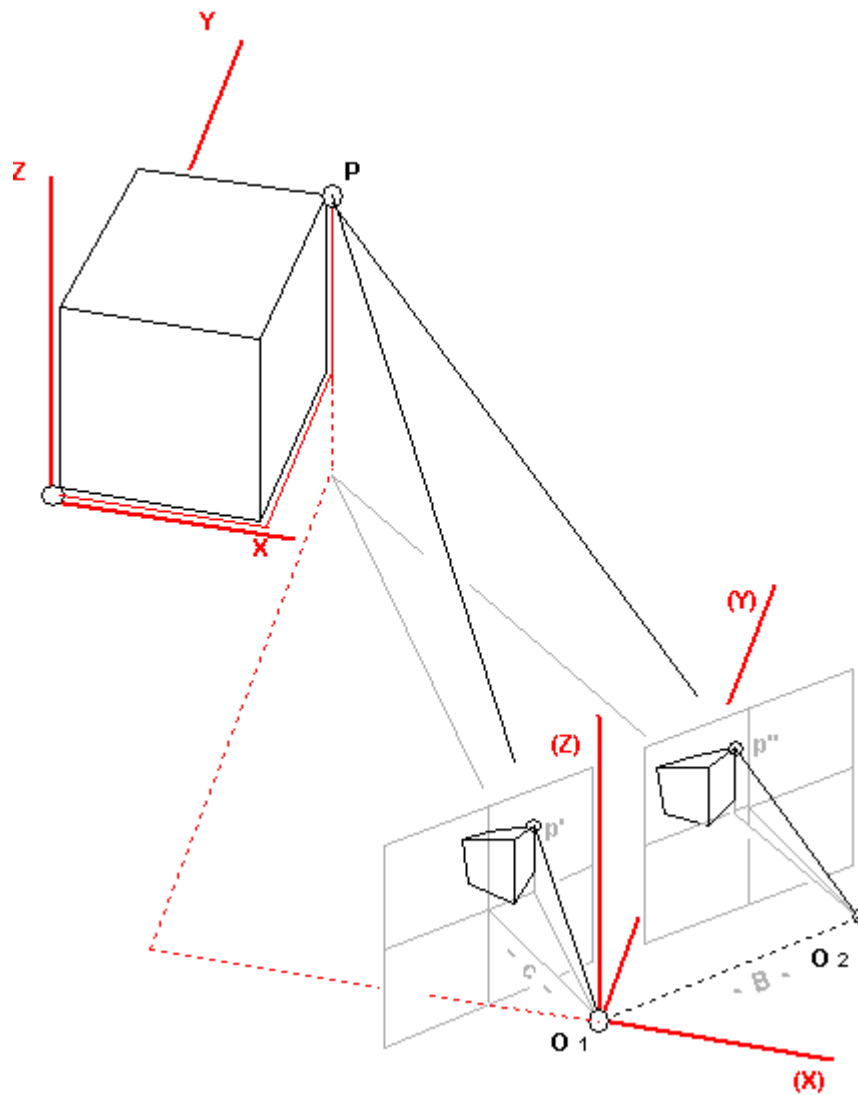


	-0.70711	-0.06637	0.703985
R =	0.707107	-0.06637	0.703985
	-1.3E-16	0.995585	0.093865



	(x)	(y)	(z)	(X)	(Y)	(Z)
1	0	-43.142	-288.164	-200	-200	-70
2	-70.7107	-49.7792	-217.766	-100	-200	-70
3	0	-56.4165	-147.368	-100	-100	-70
4	70.71068	-49.7792	-217.766	-200	-100	-70
5	0	56.41648	-278.778	-200	-200	30
6	-70.7107	49.77925	-208.38	-100	-200	30
7	0	43.14202	-137.981	-100	-100	30
8	70.71068	49.77925	-208.38	-200	-100	30

Kamerakoordinaatisto (x), (y) ja (z) kierretään kohdekoordinaatiston suuntaiseen koordinaatistoon (X), (Y), (Z). Kiertomatriisi lasketaan pisteiden 1, 2 ja 3 kamera- ja kohdekoordinaattien eroista.



	(X)	(Y)	(Z)	X	Y	Z
1	-200	-200	-70	0	0	0
2	-100	-200	-70	100	0	0
3	-100	-100	-70	100	100	0
4	-200	-100	-70	0	100	0
5	-200	-200	30	0	0	100
6	-100	-200	30	100	0	100
7	-100	-100	30	100	100	100
8	-200	-100	30	0	100	100

Kierretty koordinaatisto (X), (Y), (Z) siirretään kohdekoordinaatistoon X, Y, Z. Siirron määrä lasketaan tunnettujen kohdepisteiden koordinaateista. Lopputulos vastaa luennolla 3 kuvattua kohdetta.

- Excel-sovellus
  - Stereomittausesimerkki on laskettu ohjelmalla, joka on kopioitavissa zip-dokumenttina joko uuden (2000) tai vanhan (5.0/95) Excelin mukaisena
    - [kohteen stereomittaus](#), ja
    - [kohteen stereomittaus\\_95](#).

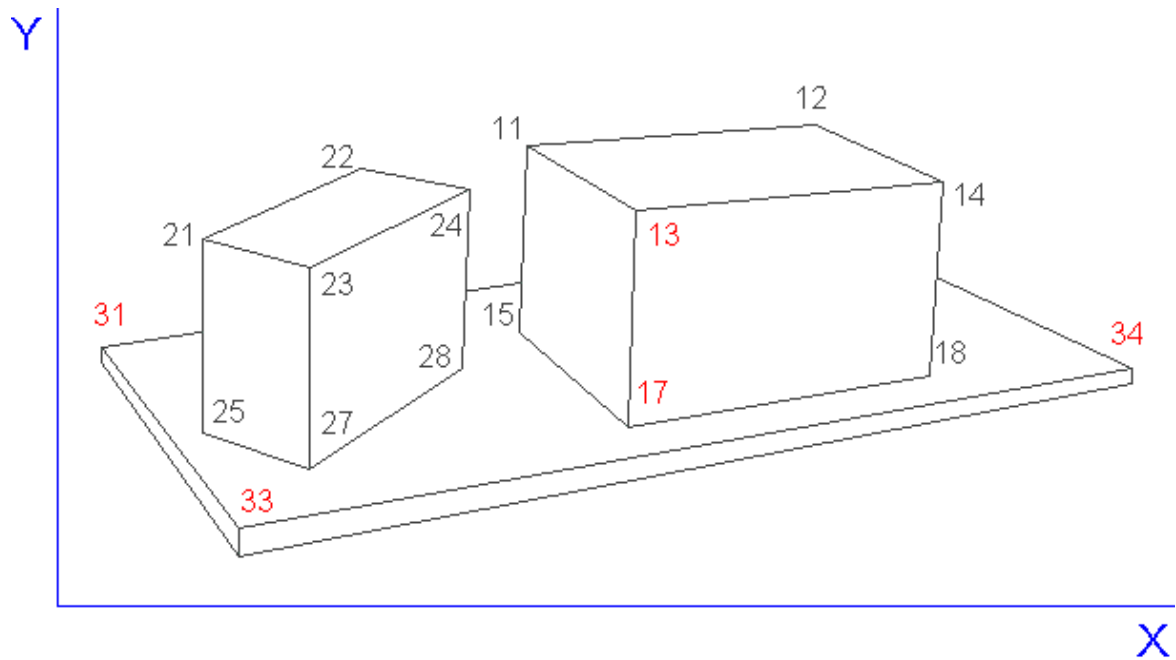


## Esimerkki: "Laatikko"-mallin absoluuttinen orientointi

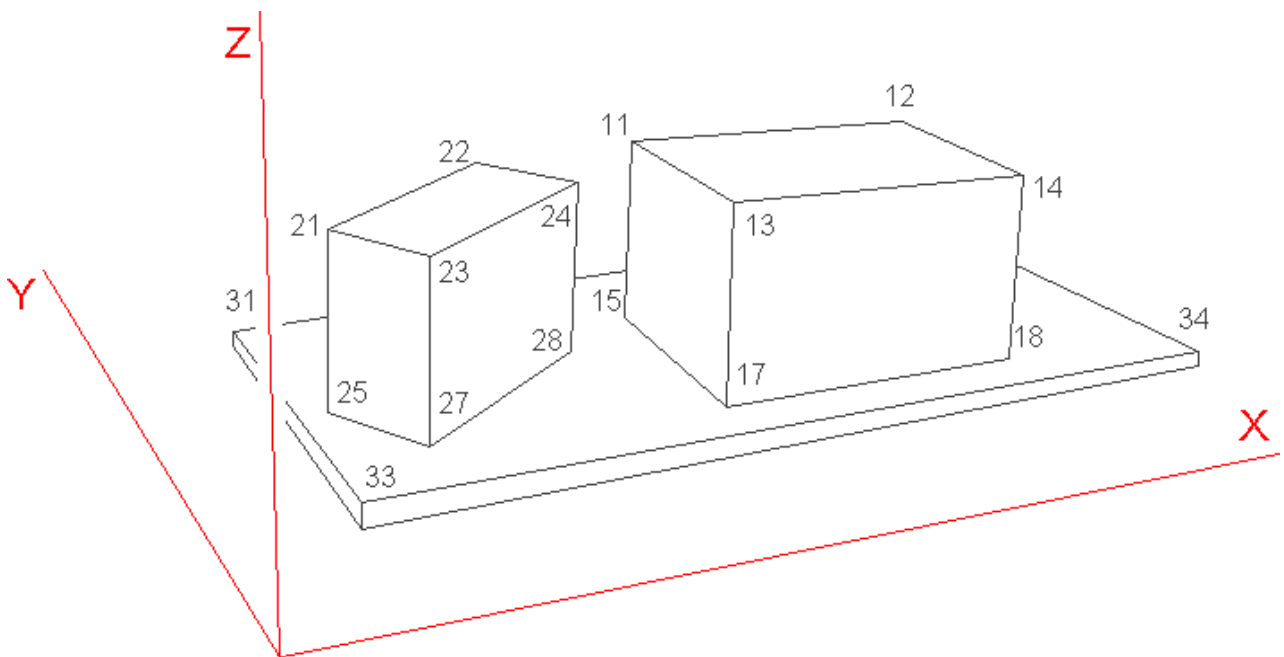
- Yleensä kaikki mittaustulokset joudutaan muuntamaan johonkin yhteiseen kohdekoordinaatistoon, joka voidaan osoittaa kuvalta. Koordinaatistomuunnosta varten tulee stereomallilta mitata vähintään kolme sellaista pistettä, joille tunnetaan X-, Y- ja Z-koordinaatit kohdekoordinaatistossa.
- Laatikoiden nurkkapisteeet mitattiin mallikoordinaatistossa, joksi oli valittu kuvaparin vasemman kuvan kamerakoordinaatisto. Tämän koordinaatiston origo sijaitsee kuvan projektiokeskuksessa ja X- ja Y-koordinaattiakselit ovat kuvasivun suuntaisia.
- Tässä esimerkissä valitsemme kohdekoordinaatiston siten, että
  - origo sijaitsee lattialla suoraan kameran projektiokeskuksen alla,
  - kooordinaatiston X- ja Y-akselit ovat levyn sivujen suuntaisia, ja
  - Z-akseli kasvaa ylöspäin.
- Teemme muunnoksen seuraavissa vaiheissa:
  1. [mallin tasaaminen eli nivellointi](#),
  2. [mallin kiertäminen](#),
  3. [mallin siirto](#).
- Tässä esimerkissä mittakaavaa ei korjata, vaan se määräytyi 3D koordinaattien laskemisen yhteydessä kannan pituuden **B** mukaan.
- Huom! Esimerkkimme orientointi ei perustu tarkkaan kohdekoordinaatiston määrittämiseen. Valitsemamme kohdekoordinaatisto on likimääräinen vaakatason suhteen. Tarkka koordinaatistomuunnos tehdään aina kohteessa mitatuilla tukipisteillä, jotka myös näkyvöitetään ennen kuvausta.
- Excel-sovellus
  - [laatikot\\_koordinaatistomuunnos.xls](#) (local copy only)
  - [kohteen\\_stereomittaus\\_laatikot.xls](#) (local copy only)

	X	Y	Z
11	0,258629	0,134629	-2,41145
12	0,69463	0,185617	-2,60496
13	0,363503	0,044061	-2,14215
14	0,806348	0,092303	-2,3708
15	0,256047	-0,13351	-2,48969
17	0,36153	-0,22248	-2,22693
18	0,801507	-0,17432	-2,44639
21	-0,17231	0,008052	-2,19222
22	0,028343	0,097429	-2,41145
23	-0,03656	-0,02285	-2,07372
24	0,157973	0,067945	-2,31235
25	-0,17241	-0,2354	-2,2567
27	-0,03619	-0,25964	-2,14215
28	0,15983	-0,16686	-2,39095
31	-0,35076	-0,1441	-2,58106
33	-0,11448	-0,31818	-2,024
34	1,140725	-0,17045	-2,54987

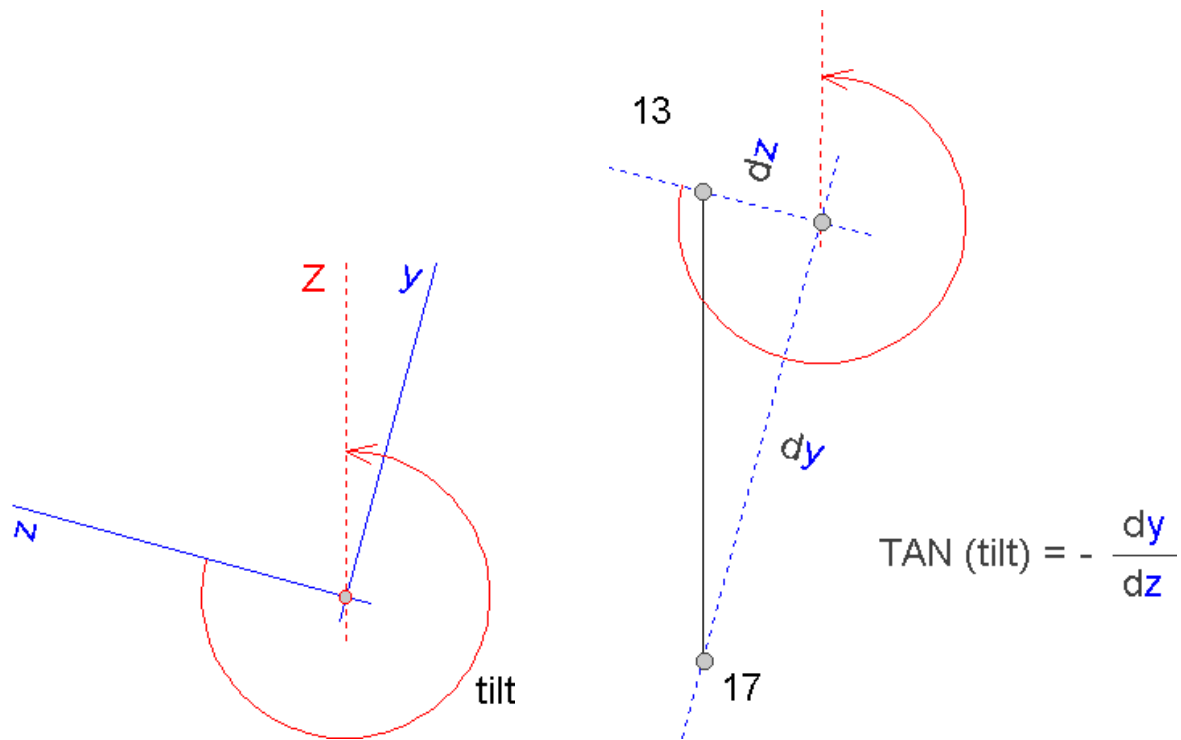
Mallikoordinaatit.



Mallikoordinaatisto on stereokuvauksen normaalitapauksen mukainen, eli X-akseli vaakasuorassa, Y-akseli pystysuorassa ja Z-akseli kuvaussuunnassa, mutta suunta on katsojaan päin. Mallikoordinaatistona käytetään vasemman kameran sisäistä kamerakoordinaatistoa.



Kohdekoordinaatisto määritellään yleisesti vaakatasoon siten, että Z-akselin suunta on ylös zeniittiin. X- ja Y-koordinaatit suunnataan kohteen pääsuuntien mukaan.



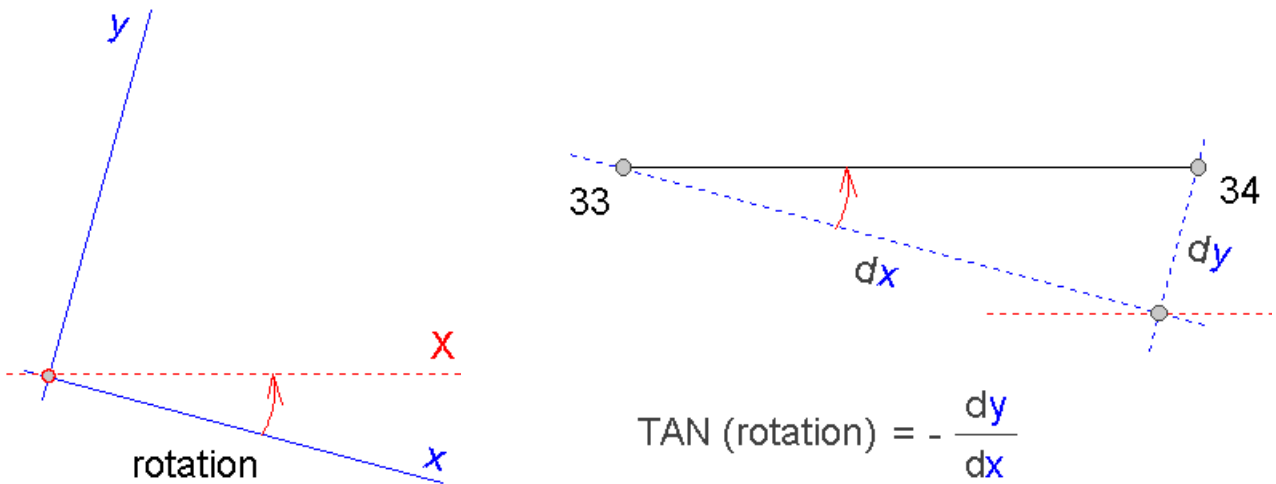
Tilt	13-17	dY	dZ	tan	atan	sin	cos
		0,267172	0,084782	-3,1513	-1,26352	-0,95316	0,302466
		X	=	1	0	0	X
		Y_tilt		0	0,302466	-0,95316	Y
		Z_tilt		0	0,95316	0,302466	Z

$$R_{\alpha} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

**Mallin tasaaminen eli nivellointi.** Kallistuskulma lasketaan pisteiden 13 ja 17 määrittämästä pystysuorasta. Koordinaatistoa kallistetaan X\_akselin ympäri siten, että Z-koordinaattiakseli kääntyy pystyyn eli pisteiden 13 ja 17 Y-koordinaattiero muuttuu nolaksi. Kierron likiarvo on tässä esimerkissä  $\alpha \approx -72,4^\circ$ .

	X	Y	Z		X	Y_tilt	Z_tilt
11	0,258629	0,134629	-2,41145	11	0,258629	2,338804	-0,60265
12	0,69463	0,185617	-2,60496	12	0,69463	2,538667	-0,61272
13	0,363503	0,044061	-2,14215	13	0,363503	2,054723	-0,60733
14	0,806348	0,092303	-2,3708	14	0,806348	2,287244	-0,63067
15	0,256047	-0,13351	-2,48969	15	0,256047	2,332093	-0,8819
17	0,36153	-0,22248	-2,22693	17	0,36153	2,054723	-0,88703
18	0,801507	-0,17432	-2,44639	18	0,801507	2,278461	-0,90766
21	-0,17231	0,008052	-2,19222	21	-0,17231	2,091528	-0,65682
22	0,028343	0,097429	-2,41145	22	0,028343	2,327528	-0,6381
23	-0,03656	-0,02285	-2,07372	23	-0,03656	1,969237	-0,65035
24	0,157973	0,067945	-2,31235	24	0,157973	2,224153	-0,63616
25	-0,17241	-0,2354	-2,2567	25	-0,17241	2,079177	-0,90837
27	-0,03619	-0,25964	-2,14215	27	-0,03619	1,962665	-0,89675
28	0,15983	-0,16686	-2,39095	28	0,15983	2,22789	-0,88374
31	-0,35076	-0,1441	-2,58106	31	-0,35076	2,41595	-0,91968
33	-0,11448	-0,31818	-2,024	33	-0,11448	1,832329	-0,91671
34	1,140725	-0,17045	-2,54987	34	1,140725	2,378238	-0,93534

Lasketaan muunnetut koordinaatit  $Y_{\text{tilt}}$  ja  $Z_{\text{tilt}}$ , ja nähdään, että  $Y_{\text{tilt}_{13}} = Y_{\text{rot}_{17}}$ . Huomaa, että X-koordinaatteihin tämä kallistus ei vaikuta. Mallia voitaisiin kallistaa myös Y-akselin ympäri, kunnes vastaava X-koordinaattiero muuttuisi nolllaksi. Tätä jälkimmäistä kallistusta ei tässä esimerkissä ole tehty, koska pisteiden 13 ja 17 välillä ero on niinkin pieni kuin 2 mm.



Rotation	33-34	dX	dY	tan	atan	sin	cos
		-1,25521	-0,54277	0,432417	0,408136	0,396899	0,917862
		$X_{\text{rot}}$	=	0,917862	0,396899	0	X
		$Y_{\text{rot}}$		-0,3969	0,917862	0	Y
		Z		0	0	1	Z

$$R_{\alpha} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

**Mallin kiertäminen.** Vaakatasoon muunnettu malli kierretään Z-koordinaattiakselin ympäri, kunnes X- ja Y-koordinaattiakselit muuttuvat kohdekoordinaatiston X- ja Y-akselien suuntaisiksi. Valitaan kiertokulma pisteiden 33 ja 34 määrittämästä suorasta ja lasketaan kierretyt koordinaatit  $X_{\text{rot}}$  ja  $Y_{\text{rot}}$ . Kierron likiarvo on tässä esimerkissä  $\alpha \approx 23,4^\circ$

	X	$Y_{\text{tilt}}$	$Z_{\text{tilt}}$	$X_{\text{rot}}$	$Y_{\text{rot}}$	Z
11	0,258629	2,338804	-0,60265	1,16995	2,041595	-0,60265
12	0,69463	2,538667	-0,61272	1,649485	2,050985	-0,61272
13	0,363503	2,054723	-0,60733	1,152822	1,739259	-0,60733
14	0,806348	2,287244	-0,63067	1,651659	1,775868	-0,63067
15	0,256047	2,332093	-0,8819	1,164906	2,036471	-0,8819
17	0,36153	2,054723	-0,88703	1,151014	1,740045	-0,88703
18	0,801507	2,278461	-0,90766	1,643717	1,769744	-0,90766
21	-0,17231	2,091528	-0,65682	0,676146	1,986708	-0,65682
22	0,028343	2,327528	-0,6381	0,954275	2,123099	-0,6381
23	-0,03656	1,969237	-0,65035	0,75186	1,820423	-0,65035
24	0,157973	2,224153	-0,63616	1,03192	1,976602	-0,63616
25	-0,17241	2,079177	-0,90837	0,671133	1,97542	-0,90837
27	-0,03619	1,962665	-0,89675	0,749576	1,814249	-0,89675
28	0,15983	2,22789	-0,88374	1,035113	1,979288	-0,88374
31	-0,35076	2,41595	-0,91968	0,641889	2,355383	-0,91968
33	-0,11448	1,832329	-0,91671	0,625799	1,725952	-0,91671
34	1,140725	2,378238	-0,93534	1,994582	1,725952	-0,93534

Kiertämisen jälkeen pisteiden 33 ja 34 Y-koordinaattiero on nolla,  $Y_{\text{rot}_{33}} = Y_{\text{rot}_{34}}$ . Huomaa, että kierto ei muuta Z-koordinaatteja.

	X_rot	Y_rot	Z	Z_shift
11	1,16995	2,041595	-0,60265	0,977347
12	1,649485	2,050985	-0,61272	0,96728
13	1,152822	1,739259	-0,60733	0,972669
14	1,651659	1,775868	-0,63067	0,949332
15	1,164906	2,036471	-0,8819	0,698105
17	1,151014	1,740045	-0,88703	0,692969
18	1,643717	1,769744	-0,90766	0,672341
21	0,676146	1,986708	-0,65682	0,923175
22	0,954275	2,123099	-0,6381	0,941897
23	0,75186	1,820423	-0,65035	0,929646
24	1,03192	1,976602	-0,63616	0,94384
25	0,671133	1,97542	-0,90837	0,671632
27	0,749576	1,814249	-0,89675	0,683251
28	1,035113	1,979288	-0,88374	0,696259
31	0,641889	2,355383	-0,91968	0,660321
33	0,625799	1,725952	-0,91671	0,663286
34	1,994582	1,725952	-0,93534	0,64466

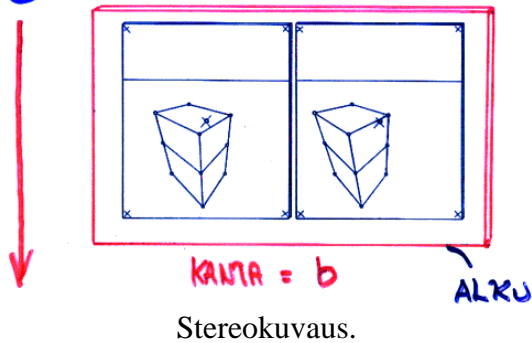
**Mallin siirto.** Lopuksi siirrämme koordinaatiston lattiatasolle. Kummankin kameran projektiokeskuksen korkeus mitattiin kuvaushetkellä ja se oli 1.58 m. Lisäämällä tämä kaikkiin Z-koordinaatteihin saadaan uudet koordinaatit Z\_shift.

- Viitteitä
  - Koordinaatiston kierto  
[http://foto.hut.fi/opetus/301/luennot/5/rotation\\_matrix/2D\\_koordinaatiston\\_kierto.htm](http://foto.hut.fi/opetus/301/luennot/5/rotation_matrix/2D_koordinaatiston_kierto.htm)

### **Esimerkki: "Suorakulmainen särmiö"-mallin mittausprosessi**

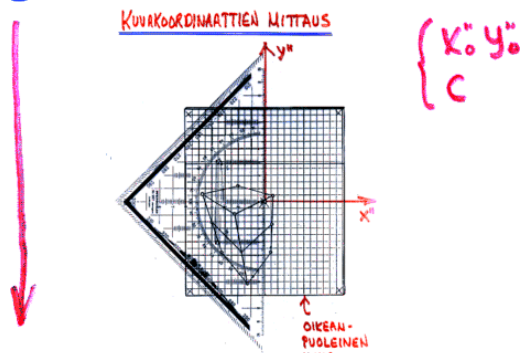
- Tässä esitetään koko mittausprosessin vaiheet esimerkkimallilla "Suorakulmaisen särmiö".
- Työvaiheet
  1. [Stereokuvaus](#)
  2. [Sisäinen orientointi](#)
    - kuvan pääpisteen määrittäminen
    - kuvan kameravakion määrittäminen
  3. [Stereomallin tulkinta ja mittaus](#)
    - kuvaparin keskinäinen orientointi pääpisteiden avulla
    - kuvakannan määrittäminen
    - mittauspisteiden tulkinta
    - kuvakoordinaattien mittaus
    - parallaksien mittaus
  4. [3-D mallikoordinaattien laskenta](#)
    - lasketaan parallaksikaavoilla
    - koordinaatit kamerakoordinaatistossa
  5. [Mallin nivellointi](#)
    - mallin tasaaminen vaakatason mukaan
  6. [Mallin kiertäminen karttakoordinaatistoon](#)
    - kolme kiertoa ja kolme siirtoa, tarvittaessa mittakaavan korjaus

# ① STEREOKUVAUS "SÄRNÖ"



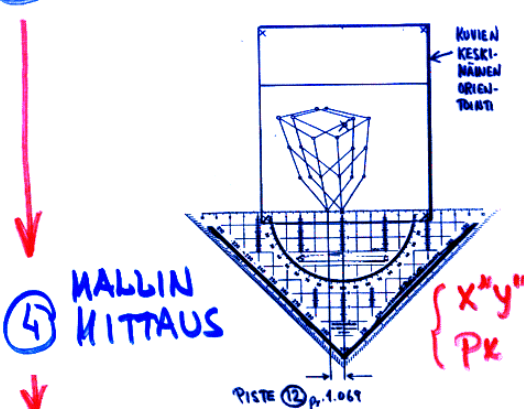
Stereokuvaus.

# ② SISÄINEN ORIENTOINTI



Sisäinen orientointi (eli kamerakoordinaatiston hakeminen) ja kuvakoordinaattien mittaaminen kuvaparin toiselta kuvalta.

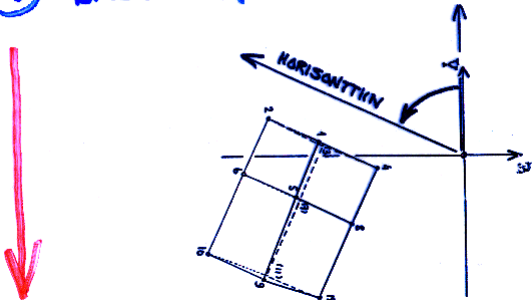
# ③ KESKINÄINEN ORIENTOINTI



# ④ MALLIN MITTAUS

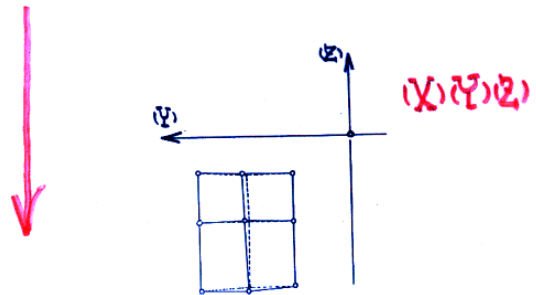
Kuvien keskinäinen orientointi ja parallaksien mittaaminen.

# ⑤ LASKENTA XYZ

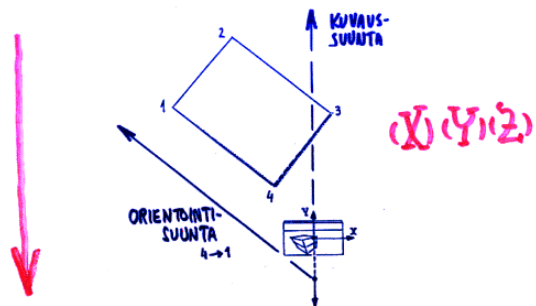


3-D mallikoordinaattien laskeminen kamera-koordinaatistossa.

# ⑥ NNELLOINTI ELI TASAUS

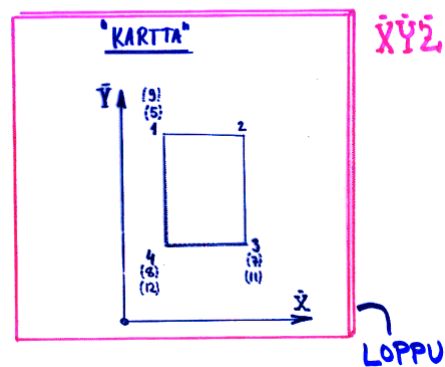


Ulkoisen orientoinnin ensimmäinen vaihe: 3-D koordinaattien muuntaminen vaakasuoraan koordinaatistoon.



Kartan orientointisuunnan määrittäminen.

# ⑦ KOORDINAATISTON KIERTO



Ulkoisen orientoinnin toinen vaihe eli mallin kiertäminen karttakoordinaatiston suuntaiseksi.