

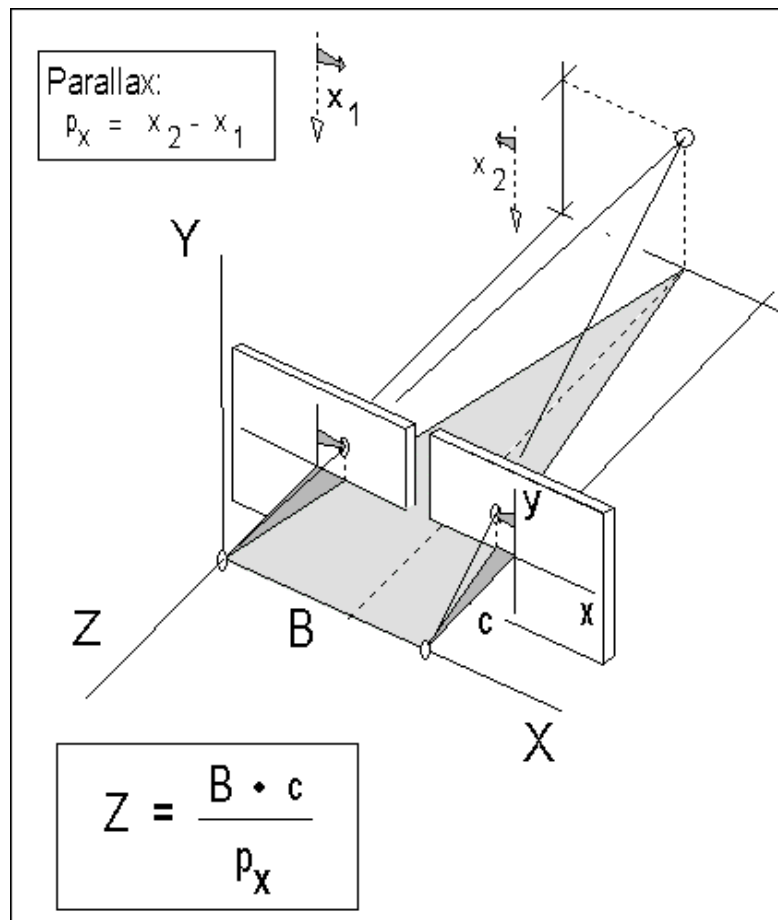
## Luento 6: 3-D koordinaatit

### AIHEITA

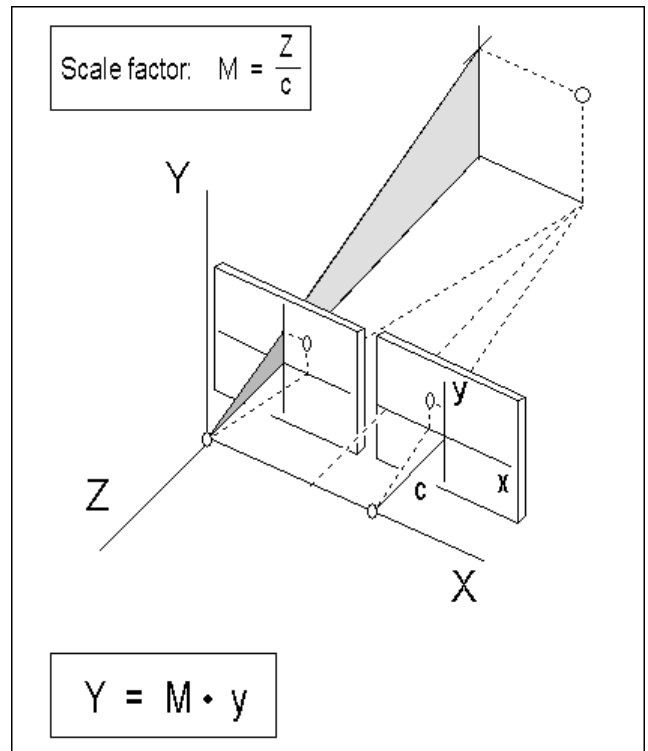
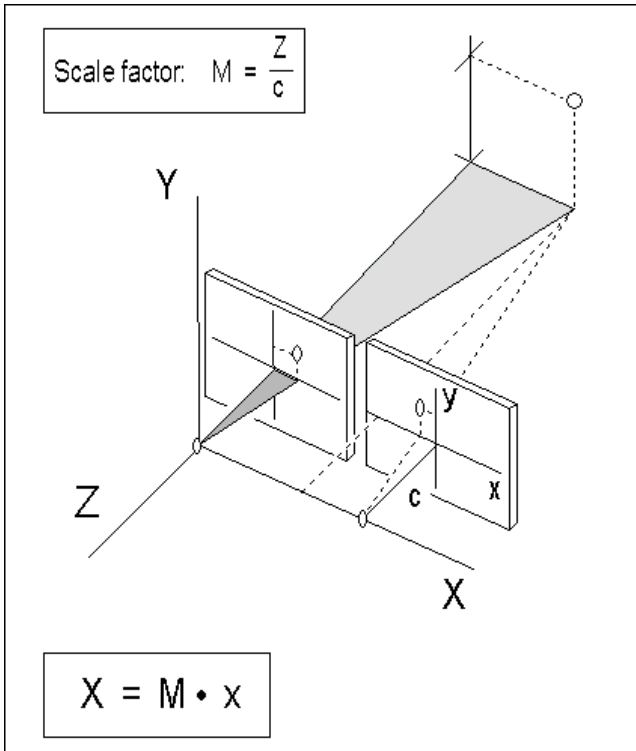
- [3-D parallaksikaavat](#)
- [Esimerkki: Laatikot](#)
- [Parallaksimittauksiin rajoittuvat stereokartoituslaitteet](#)

Kohteen muoto mitataan 3-D koordinaatteina. Fotogrammetriassa kolmiulotteinen mittaaminen perustuu kohdepisteen 2-D koordinaattien mittaamiseen kuvalta ja kolmannen eli etäisyyskoordinaatin mittaamiseen parallaksihavainnoista. Stereokuvauksen normaalitapauksessa 3-D koordinaattien laskeminen perustuu ns. parallaksikaavoihin. Muissa kuin stereokuvauksen normaalitapauksen mukaisissa kuvaustilanteissa, joita ovat konvergentit kuvaparit tai kuvien ulkoisiin orientointeihin perustuvat mittaus- ja kartoitustehtävät, koordinaattien laskeminen perustuu ns. eteenpäinleikkaukseen ja yleisen keskusprojektiokuvauksen mukaisiin perspektiivikaavoihin ([Maa-57.301 Fotogrammetrian yleiskurssi](#)).

### 3-D parallaksikaavat



Z-koordinaatti lasketaan parallaksista. Koordinaatistona käytetään stereokuvauksen normaalitapaukseen sovitettua koordinaatistoa eli vasemman kuvan kamerakoordinaatistoa.



**X-** ja **Y**-kohdekoordinaatit lasketaan kertomalla vastaavat kuvakoordinaatit mittakaavaluvulla. Kolmiulotteisessa kohteessa jokaisella kohdepisteellä on oma mittakaavalukunsa **M**, joka on sitä pienempi mitä lähempänä kyseinen piste on kamerasta ja sitä suurempi mitä kauempana. Mittakaavaluku **M** lasketaan kohdepisteen etäisyyskoordinaatin ja kameravakion suhteesta. Koordinaatit voidaan laskea myös kuvaparin oikeanpuoleisen kuvan **x**- ja **y**-koordinaateista, mutta silloin on huomioitava vastaava origon siirto eli **X**-koordinaattiin on lisättävä kanta **B**.

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

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

- Viitteet

1. Krauss, Photogrammetry, Vol. 1, s. 24
2. Schwidersky-Ackermann, Fotogrammetria s. 111.

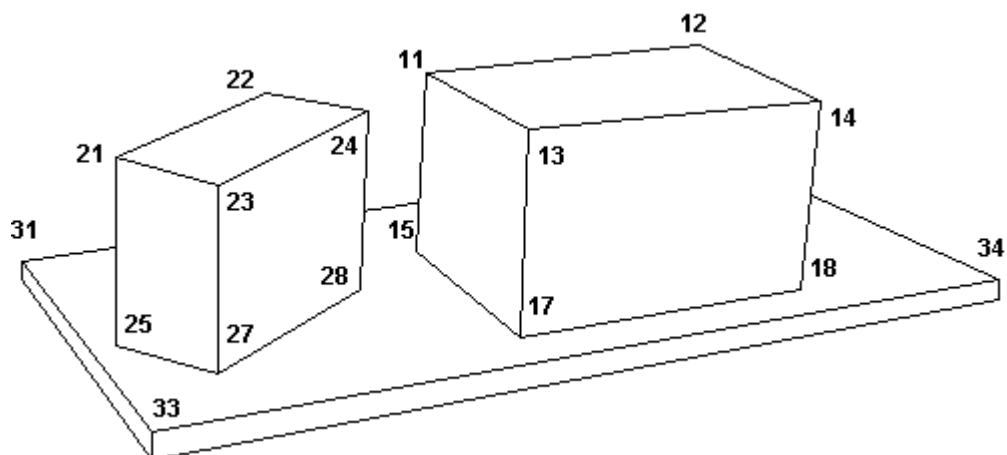
### Esimerkki: Laatikot

Oheisessa esimerkissä on kuvattu laatikoita pöydällä ja tarkoitus on mitata laatikoiden sekä alla olevan pöytälevyn päämitat. Mittaus tehdään havaitsemalla kohteiden nurkkapisteet kummaltakin kuvalta ja laskemalla sen jälkeen nurkkien 3-D koordinaatit. Päämitat lasketaan nurkkapisteiden avaruusetäisyyksinä. Kuvat on otettu digitaalikameralla, jonka kuvakoko on 1280 x 1024 pikseliä. Kameravakiona käytetään arvoa 1361.3 pikseliä, joka on määritetty etukäteen. Kuvapari on pyritty kuvaamaan stereo-

kuvauksen normaalitapauksen mukaisesti ja kuvakanta on 0.62 m. Lisäksi mitattiin kameran projektiokeskuksen korkeus lattiatasosta, joka oli 1.58 m.



**Kuvapari.** Kuvat on tässä esitetty ristikkäin tarkasteltuina. Kuvat mitataan  $xy$ -koordinaatistossa, joka valitaan alkuperäisen kuvan rivi- ja sarakekoordinaatiston suuntaiseksi. Silloin, kun kamerasta ei ole olemassa tarkkoja kalibrointitietoja ja varsinkin, jos kuvat ovat alkuperäisiä ja leikkamattomia, pääpisteen voi olettaa olevan kuvan keskellä. Koordinaattimittausta voi harjoitella myös tavallisella viivaimella, jossa on millimetriasteikko. Sitä varten [kuvat](#) tulee tulostaa paperille. Kuvakoordinaatiston origo on paras valita kuvan johonkin nurkkaan ja mitata koordinaatit kuvan reunoja hyväksi käyttäen. Kameravakio määritetään suhteessa kuvasivun pituuteen ja suhde on sama kuin kameravakion suhde samaan kuvasivuun pikselinä: 1361/1280 tai 1361/1024.



**Kohdepisteet.**



**Piste 13.** Kohdepisteet mitataan kuvilta visuaalisesti tulkiten. Tulkintaan sisältyy aina epävarmuutta. Tässä nurkkapiste havaitaan sen mukaan, miten se näkyy kuvalla. Tarkoissa mittaustehtävissä mittauspisteet tulkitaan suoraan kohteella ja näkyvöitetään ennen kuvausta signaalein eli tähysmerkein (**signalointi, näkyvöittäminen**). Tulkinta voidaan tehdä myös kuvassa näkyviä reunoja hyväksi käyttäen. Tällöin nurkkapiste tulkitaan esimerkiksi kolmen suoran leikkauspisteeksi (**hahmontunnistus**).



(0, 0)

x



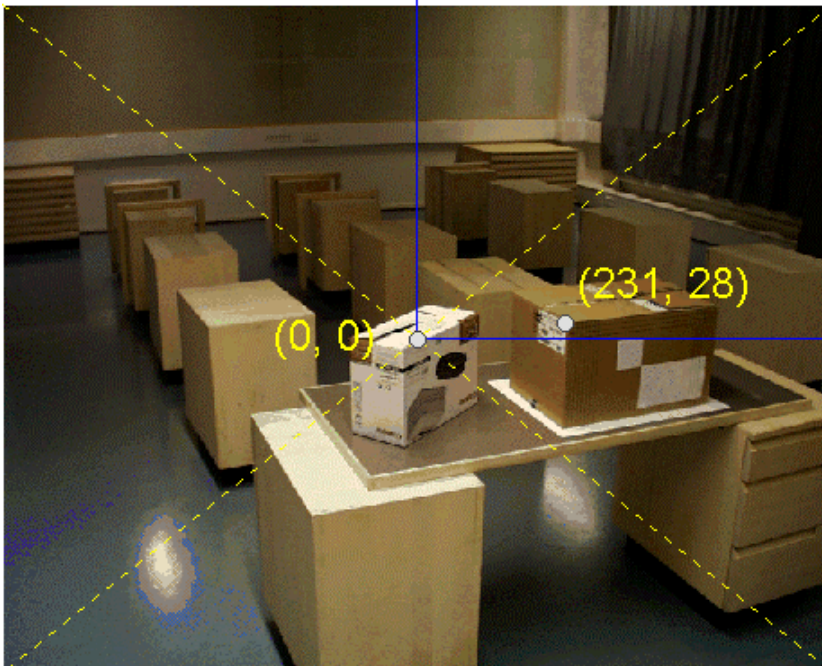
(1280, 1024)

y

**Kuvakoordinaatisto.** Digitaalikameran kuvakoko on 1280 saraketta ja 1024 riviä. Kuvakoordinaatit on tässä esimerkissä mitattu kuvankäsittelyohjelmalla. Kuvakoordinaatiston origo on vasemmalla ylhäällä. Huomaa, että koordinaatisto on vasenkätinen.

y

(512, 640)



x

**Kamerakoordinaatisto.** Pisteiden kuvakoordinaatit muunnetaan kamerakoordinaatistoon kääntämällä koordinaatisto oikeakätiseksi ja siirtämällä origo kuvan keskelle. Parallaksikaavoihin perustuva 3-D koordinaattimuunnos edellyttää origon olevan kameran pääpisteessä. Kun tarkkaa tietoa kameran pääpisteen sijainnista ei ole, hyvänä oletuksena käy kuvan keskipiste.

	x_left	y_left	x_right	y_right	x'	y'	x''	y''	px
11	786	436	436	428	146	76	-204	84	-350
12	1003	415	679	408	363	97	39	104	-324
13	871	484	477	478	231	28	-163	34	-394
14	1103	459	747	454	463	53	107	58	-356
15	780	585	441	579	140	-73	-199	-67	-339
17	861	648	482	643	221	-136	-158	-131	-379
18	1086	609	741	607	446	-97	101	-95	-345

	x_left	y_left	x_right	y_right	x'	y'	x''	y''	px
21	533	507	148	501	-107	5	-492	11	-385
22	656	457	306	451	16	55	-334	61	-350
23	616	527	209	519	-24	-15	-431	-7	-407
24	733	472	368	465	93	40	-272	47	-365
25	536	654	162	644	-104	-142	-478	-132	-374
27	617	677	223	667	-23	-165	-417	-155	-394
28	731	607	378	600	91	-95	-262	-88	-353

	x_left	y_left	x_right	y_right	x'	y'	x''	y''	px
31	455	588	128	578	-185	-76	-512	-66	-327
33	563	726	146	712	-77	-214	-494	-200	-417
34	1249	603	918	603	609	-91	278	-91	-331

**Mittaushavainnot ja kamerakoordinaatit.** Parallaksit on laskettu erotuksena  $px = x'' - x'$  (**vaakaparallaksi**). Jos kuvat olisi otettu tarkasti stereokuvauksen normaalitapauksen mukaisesti ja kuvista olisi korjattu kameraoptiikan aiheuttamat piirtovirheet, kuvien  $y'$ - ja  $y''$ -koordinaatit olisivat kohdistustarkkuuden puitteissa samat  $py = y'' - y' \Rightarrow 0$  (**pystyparallaksi**). Nyt niissä on jopa kymmenen pikselin suuruisia eroja. Tässä esimerkissä tällä ei ole merkitystä, koska tarkoitus on havainnollistaa 3-D koordinaattimittauksen periaatetta. Tarkoissa mittaus- ja kartoitustehtävissä tunnetut kuvavirheet otetaan huomioon ja kuvapari oikaistaan normaaliasentoon ennen stereomittauksia (**keskinäinen orientointi**).

	Z	M	X	Y		S measured	S mean	S true	true / meas
11	-2,41145	0,001771	0,258629	0,141714	11_12	0,479691			
12	-2,60496	0,001914	0,69463	0,192315	13_14	0,500688			
13	-2,14215	0,001574	0,363503	0,048782	17_18	0,49381	0,491396	0,455	0,925933
14	-2,3708	0,001742	0,806348	0,096657	11_15	0,28087			
15	-2,48969	0,001829	0,256047	-0,12802	13_17	0,280308			
17	-2,22693	0,001636	0,36153	-0,21839	14_18	0,279633	0,280271	0,275	0,981195
18	-2,44639	0,001797	0,801507	-0,17252	11_13	0,303573			
					15_17	0,297217			
					12_14	0,276513	0,292434	0,315	1,077165

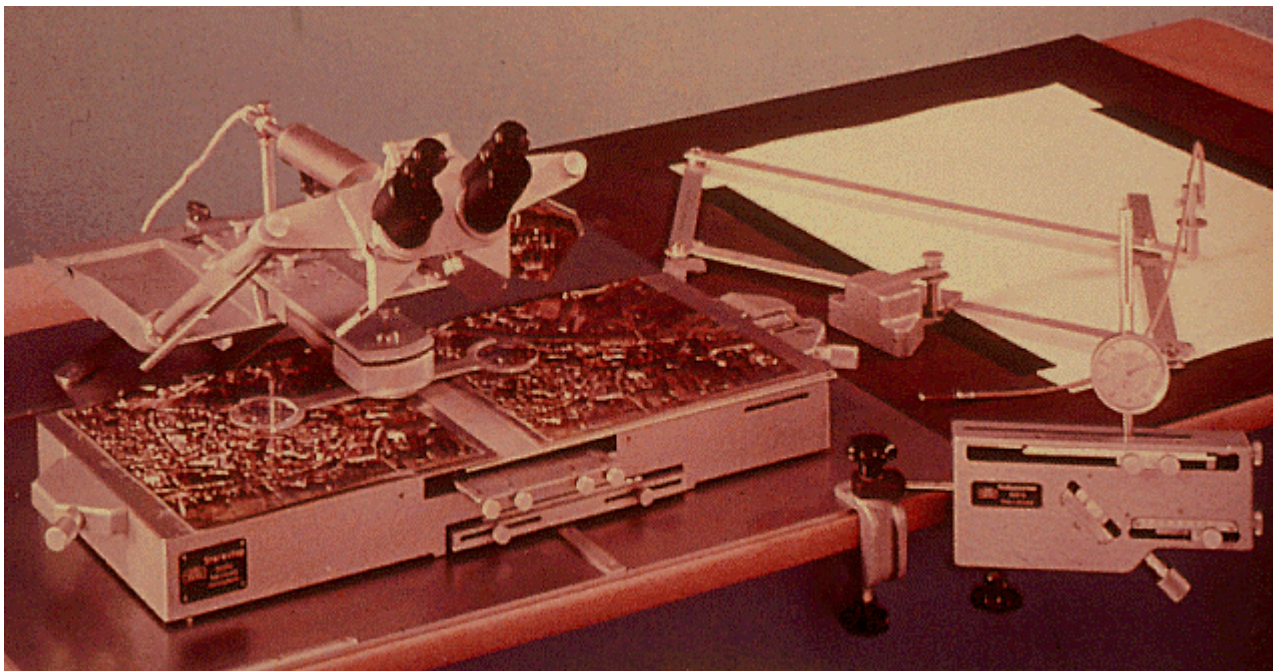
	Z	M	X	Y		S measured	S mean	S true	true / meas
21	-2,19222	0,00161	-0,17231	0,012883	21_22	0,310476			
22	-2,41145	0,001771	0,028343	0,102743	23_24	0,320936			
23	-2,07372	0,001523	-0,03656	-0,01676	27_28	0,329579	0,32033	0,352	1,098866
24	-2,31235	0,001699	0,157973	0,07389	21_25	0,248506			
25	-2,2567	0,001658	-0,17241	-0,22711	23_27	0,244778			
27	-2,14215	0,001574	-0,03619	-0,25178	24_28	0,247425	0,246903	0,245	0,992294
28	-2,39095	0,001756	0,15983	-0,16071	21_23	0,182617			
					25_27	0,17968			
					22_24	0,165702	0,176	0,155	0,880683

	Z	M	X	Y		S measured	S true	true / meas
31	-2,58106	0,001896	-0,35076	-0,13462				
33	-2,024	0,001487	-0,11448	-0,30777	31_33	0,629388	0,595	0,945363
34	-2,54987	0,001873	1,140725	-0,17045	33_34	1,367826	1,3	0,950413

**Lasketut 3-D koordinaatit.** Koordinaatit on laskettu parallaksikaavoilla. Sen jälkeen päämitat on laskettu vinoina avaruusetäisyyksinä päätepisteiden koordinaattieroista ( $S_{\text{measured}}$ ) ja laskettu niiden keskiarvot ( $S_{\text{mean}}$ ). Tätä keskiarvoa on lopuksi verrattu siihen etäisyyteen, joka on mitattu mittanauhalla samasta päämitasta suoraan kohteella ( $S_{\text{true}}$ ). Vertailusta nähdään, että tässä tapauksessa mittausepävarmuus on luokkaa 5-10 %, kun tällä samalla kuvaparilla se voisi tarkasti mitaten olla niinkin pieni kuin 0.01 %.

- Excel-sovellus
  - [laatikot.xls](#) (pikselimittauksiin perustuva )
  - [laatikot.zip](#)
- Tehtävä
  - [Avaruusetäisyyden mittaaminen](#)
- Luennolla 4.2.2004 käsitelty esimerkki excelillä laskettuna
  - [esimerkki 4.2.2004](#) (kuvat tehtävästä Avaruusetäisyyden mittaaminen)
  - [laatikot\\_viivoitin.xls](#) ( muokattu excel-sovellus)
  - [laatikot\\_viivoitin.zip](#)

## Parallaksimittauksiin rajoittuvat stereokartoituslaitteet



**Zeiss Stereotop.** Yksinkertaisimmat stereokartoituskojeet ovat tulkinta- ja laskinlaitteita, jotka koostuvat peilistereoskoopista, parallaksitangosta, kuvien siirtomekanismista kummankin kuvakoordinaatin suuntaan sekä pantografista. Kuvat alkuperäisen negatiivirullan 1:1 paperikopioita (**pinnakkaiset, pintakopiot**). Mikäli mahdollista, tulkintakuvat oikaistaan tarkoiksi pystykuviksi (**oikaistut kuvat ja pääpisteiden mukainen keskinäinen orientointi**). Maastokoordinaattien laskeminen perustuu parallaksikaavoihin ja se tehdään mekaanisesti koneen sisälle rakennetuilla analogialaskimilla, jotka säädetään keskinäisen orientoinnin perusteella. Mittaustulos muunnetaan pantografilla suoraan karttakoordinaatistoon.





**Zeiss Stereocord G3 PC.** Kussakin mittauspisteessä mitataan sekä vaaka- että pystyparallaksit ja näiden vaikutus lasketaan kohdekoordinaatteihin (**laskennallinen keskinäinen orientointi**). Maastokoordinaatit lasketaan tietokoneella ja täydennyskartoituksen tulokset piirretään. Tässä kuvat tulkitaan diapositiiveina ja läpivalaistaan.

---

Maa-57.300 [Fotogrammetrian perusteet](#)

[1](#) [2](#) [3](#) [4](#) [5](#) [6](#) [7](#) [8](#) [9](#) [10](#) [11](#) [12](#) [13](#)

---