

Luento 13: Mittausovellukset

AIHEITA

- [Off-line sovelluksia](#)
- [On-line sovelluksia](#)

Mittausovellukset ovat fotogrammetrian "erikoissovelluksia", koska valtaosa fotogrammetrian yleisestä soveltamisesta on kartoitusta ja sisältyy kartantuotantoon. Kun kartoitussovellukset perustuvat yleensä ilmakuvaukseen, mittausovelluksissa on lähes aina kyse maakuvaudesta. Erikoissovellusten aluetta kutsutaan myös lähifotogrammetriaksi, ei-topografiseksi fotogrammetriaksi, ei-kartografiseksi fotogrammetriaksi, ja moneksi muuksi.

Erikoissovelluksille on ominaista se, että mittaukselle asetettavat suoritusvaatimukset poikkeavat eri tehtävissä huomattavasti toisistaan sen mukaan, mihin lopputulosta käytetään. Mittaustulos voi olla suunnittelijalle tuotettava rakennuksen julkisivupiirros tai CAD-malli, mutta se voi olla myös tasolasin taivutuslinjalla tarvittavaa prosessin ohjaustietoa, joka johdetaan mitatuista profiili-muodoista. Kummassakin on kyse fotogrammetrian soveltamisesta. Julkisivumittausta voi verrata kartoitusmittaukseen, jossa lopputulosta tarkastellaan sen mukaan, miten hyvin julkisivun muoto ja piirteet kyetään mallilla toistamaan. Lasimittauksessa lasin suunniteltu muoto taas tunnetaan etukäteen ja kyse on ainoastaan sen seikan takistamisesta, miten hyvin taivutettu muoto vastaa suunniteltua muotoa.

Mittausovellukset poikkeavat luonteeltaan myös tehtävään käytettävissä olevan ajan mukaan ja jaetaan "off-line"- ja on-line"-sovelluksiin. Julkisivumittaus on "off-line"-soveltamista, jossa kuvien tulkinta ja mittaus muodostavat selvästi erillisen työvaiheen. Tuotantolinjalla tehtävät mittaukset ovat "on-line"-sovelluksia, jossa kuvaus, tulkinta ja ohjaustietojen laskenta ovat kiinteä osa koko valmistusprosessia. Tämä ero näkyy myös mittauksen toteutuksessa. "Off-line"-sovelluksissa jokainen mittausasuoritus on periaatteessa kertaluonteinen. Samaa kuvaus- ja mittauskalustoa käyttäen siirrytään tehtävästä toiseen ja joka kerta mittausprosessi suunnitellaan pääosin uudestaan. "On-line"-sovelluksissa mittausjärjestelmä rakennetaan pysyväksi ja mittaustehtävät ohjelmoidaan, minkä jälkeen järjestelmä toimii eli toistaa itseään tuotantolinjan tahdissa.

- [Maa-57.300 Fotogrammetrian yleiskurssi](#)
- [Maa-57.220 Fotogrammetrinen kartoitus](#)
- [Maa-57.260 Fotogrammetrian erikoissovellukset](#)

Fotogrammetrian alku 1850-luvulta aina 1920-luvulle saakka oli lähes yksinomaan maakuvausta eli nykyistä erikoisfotogrammetriaa, koska ilmakuvia ei voitu tehdä muuten kuin kuumailmapallostasta käsin. Maakuvia käytettiin mm. rakennushistorialliseen dokumentointiin ja vuoristoalueilla topografiseen kartoitukseen. Vuonna 1885 perustettiin Berliiniin Alfred Meydenbauerin aloitteesta Preussin mittakuvalaitos, johon sittemmin kuvattiin yli 10'000 lasinegatiivia pääasiassa saksalaisista, mutta myös Lähi-Idän rakennuskohteista. Preussin maakuvalaitos oli pitkään ainoa fotogrammetriaa järjestelmällisesti soveltanut organisaatio koko maailmassa. Topografiset sovellukset lisääntyivät merkittävästi vasta ilmakuvauksen myötä.


Fotogrammetrian erikoissovelluksissa käytetään pääasiassa samaa laitekantaa kuin kartoitussovelluksissakin. Poikkeuksen muodostavat kamerat, jotka ovat olleet maakuvauskäyttöön varta vasten kehitettyjä mittakameroita tai myös tavallisia "amatöörikameroita". Kartoitusohjelmistot eivät sellaisenaan sovellu erikoisfotogrammetrian tehtäviin, sitä huonommin mitä selvemmin on kyse mittaussovelluksesta. Rajoitukset johtuvat ilmakuvaukseen verrattuna epäsäännöllisistä kuvaus-tilanteista. Maakuvakameroiden kuvakoot ja polttovälit poikkeavat ilmakuvauksen arvoista, kuvausta ei voi suorittaa ilmakuvauksen tavoin 60 % ja 30 % peitoin eikä koko kohdetta voi kuvata yhdellä ja samalla mittakaavalla niinkuin ilmakuvauksessa tehdään. Jos tämä epäsäännöllisyys aikanaan edellytti maakuvien käsittelyyn omia laiteratkaisuja, nykyiset ohjelmat käyttäytyvät samoin; ilmakuvausten kartoitusohjelmia ei käytännössä voi soveltaa maakuviin muissa kuin julkisivumittauksissa.









Saksalainen Albrecht Meydenbauer (1834-1921) ryhtyi vuonna 1858 kehittämään valokuvien käyttöä rakennusten dokumentointiin ja mittaamiseen. Hänen ajatuksenaan oli tallentaa julkinen rakennusperintö kuvaamalla arvokkaat ja monumentaaliset rakennukset mahdollisimman suuressa mittakaavassa ja mahdollisimman hienorakeiselle filmille. Tämä edellytti häneltä perspektiivikuvauksen teorian kehittämistä mittauksen tarpeisiin, tehtävään soveltuvan kuvauskaluston suunnittelemista ja rakentamista, ja lopulta myös vaativaan dokumentointikäyttöön soveltuvan hienorakeisen valokuvamateriaalin kehittämistä. Hän onnistui tässä tehtävässään ja sai perustaakseen Preussin mittakuva-arkiston. Meydenbauer otti myös ensimmäisenä käyttöön termin "fotogrammetria" esitellessään uutta tekniikkaansa Berliiniläisen arkkitehtiseuran viikkolehdessä 1867.

Kuvauskalusto

- Nykyisin fotogrammetrian maakuvasovelluksiin käytetään pääasiassa digitaalisia kameroita. Digitaalisten kameroiden puolijohdekuva-antureiden geometrinen stabiilius on parempi kuin perinteisten mittakameroiden kuvapohjana käytetty filmi tai lasi. Uusimpien kameroiden kuvakoko, joka on luokkaa 1000 x 1000 pikseliä tai parempi, antaa mahdollisuuden tarkkaan 3-D mittaamiseen. Digitaalikameran erityisiin etuihin kuuluu kuvien välitön käsiteltävyys tietokoneella. Kuvia ei tarvitse erikseen kehittää ja digitoida. Kuvien käytön suurimpana esteenä on toistaiseksi yleiskäyttöisten tulkintaohjelmien kehittymättömyys.
- Perinteiset fotogrammetriset mittakamerat ovat joko yksittäisiä ns. maakuvakameroita tai kiinteäkantaisia stereokameroita. Kameroissa käytettiin aiemmin yleisesti lasinegatiiveja, millä vältettiin kuvan deformaatio kuvauksen jälkeen. Analyyttisen fotogrammetrian aikakaudella eli 1980-luvulla kameroiden lasilevyt on korvattu vähitellen laaka- ja rullafilmeillä ja filmideformaatiot kompensoidaan laskemalla. Filmikameroissa lasipohja on korvattu resealevyllä.
- Meydenbauer oli ensimmäinen, joka kehitti järjestelmällisesti myös kuvaustekniikkaa ja rakensi mm. omat mittakameransa. Suurimman mittakameran lasinegatiivin kuvakoko oli 40 cm x 40 cm, mikä on huomattavasti suurempi kuin minkään nykyisen mittakameran kuvakoko!

Digitaalisia kameroita						
CCD sensor	Sensor area H x V [mm]	Cell size H x V [microns]	Image size H x V [pixels]	Signal output	Camera	
1/2"			1024 x 768	8 bit, SSFDC-card	Olympus Camedia C-1000L	

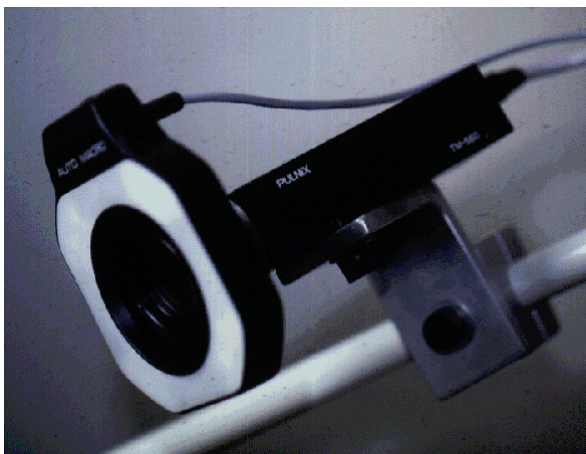
2/3"			1280 x 1024	8 bit, SSFDC card	Olympus Camedia C-1400 L	
2/3"			2240 x 1680		Olympus Camedia E-10	
	27.6 x 18.4	9 x 9	3060 x 2036	3 x 12 bit, PCMCIA card	Kodak DCS 460	
KAF-1400	(9 x 7)	6.8 x 6.8	1317 x 1035	8 bit, video	Kodak Megaplug Model 1.4i	
KAF-4200	18.5 x 18.5	9 x 9	2029 x 2044	8 bit/10 bit	Kodak Megaplug Model 4.2i	
KAF-16800	(37 x 37)	9 x 9	4096 x 4096	8 bit	Kodak Megaplug Model 16.8i	

Maakuvakameroita.

Malli	Valmistusmaa	Polttoväli [mm]	Kuvakoko [mm]	Kuvausetäisyydet [m]
Hasselblad MK70	Ruotsi	60	60 x 60	0.9 - ∞
Wild P32	Sveitsi	64	65 x 90	3.3 - ∞
Zeiss TMK6	Saksa	60	90 x 120	5 - ∞
Zeiss UMK 10/1318	Saksa	100	130 x 180	3.6 - ∞

Stereomittakameroita.

Malli	Valmistusmaa	Polttoväli [mm]	Kuvakoko [mm]	Kuvausetäisyydet [m]	Kuvakanta [cm]
Zeiss SMK40	Saksa	60	90 x 120	2.5 - 10	40
Zeiss SMK120	Saksa	60	90 x 120	5 - ∞	120



Digitaalisen fotogrammetrian kehitystyö alkoi 1970-luvun lopulla, jolloin ensimmäiset puolijohdevideokamerat tulivat markkinoille. Vasemmanpuoleisen kuvan Pulnix-kamera on osa kuvamittausjärjestelmää, jossa kamerat ovat jatkuvassa yhteydessä tietokoneeseen. Järjestelmää käytetään kolmiulotteiseen mittaamiseen teollisuuden laadunvalvonnan ja tuotannohjauksen tehtävissä. Oikeanpuoleisen digitaalikameran Olympus Camedia E-10 etuna on mittatarkkuus ja moni-

käyttöisyys. Tällaiset uuden ajan "mittakamerat" antavat mahdollisuuden kehittää fotogrammetrian tekniikaksi, jonka soveltuu yleiseen 3-D mittaamiseen ja mallintamiseen.



TKK:n maakuvauskalusto hankittiin 1960-luvulla, minkä jälkeen sitä on käytetty rakennushistorialliseen dokumentointiin, insinöörimittauksiin ja lukuisiin erilaisiin tutkimussovelluksiin aivan näihin vuosiin saakka. Kuvauskalusto, joka on valmistettu saksalaisen Zeiss'in tehtailla, koostuu kahdesta yksittäiskamerasta TMK6 sekä stereokameroista SMK40 ja ja SMK 120. Kamerat ovat kiinteästi fokuoituja määrätyille kuvausetäisyyksille (ks. taulukot).



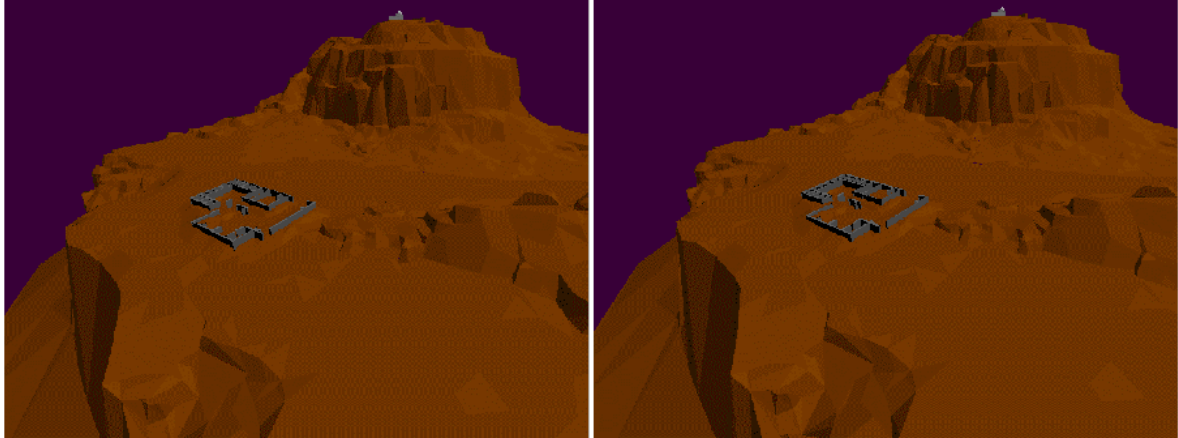
Merikasarmin kuvaus Katajanokalla. Tiedot TKK:n maakuvauskohteista ja niihin liittyvästä kuva- ja mittausaineistosta on järjestetty tietokannaksi ja arkistoitu. ([HUT, Photoarchive](http://foto.hut.fi/research/facilities/fotoarc/index.html))

<http://foto.hut.fi/research/facilities/fotoarc/index.html>



Arkeologista dokumentointia 1980-luvun lopulla. Kuvauskohteena on Åvikin lasitehtaan uunin pohja Somerolla, kuvaajana Raimo Laurén, TKK.

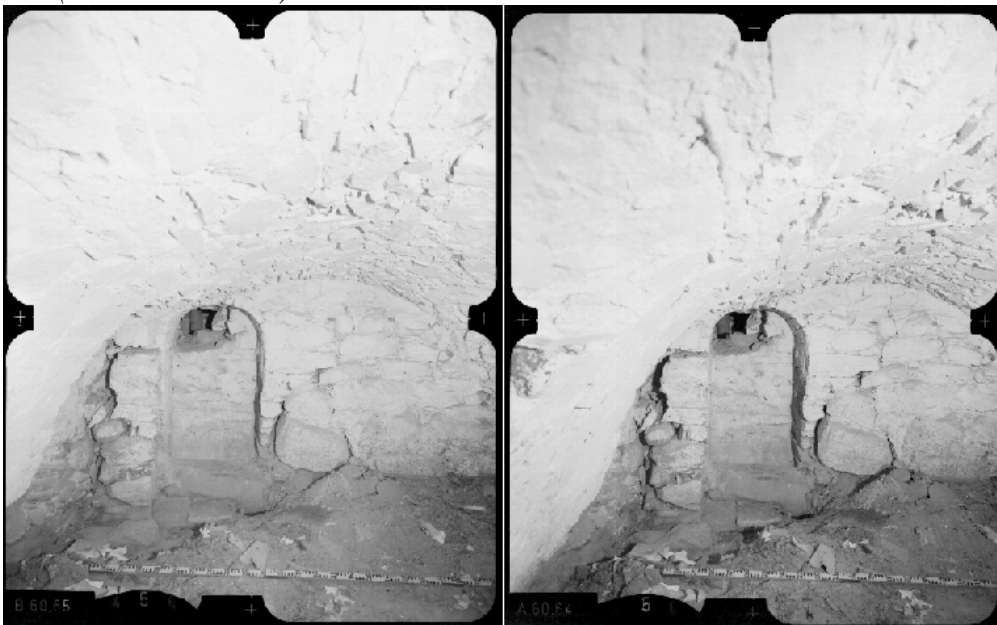
Off-line sovelluksia



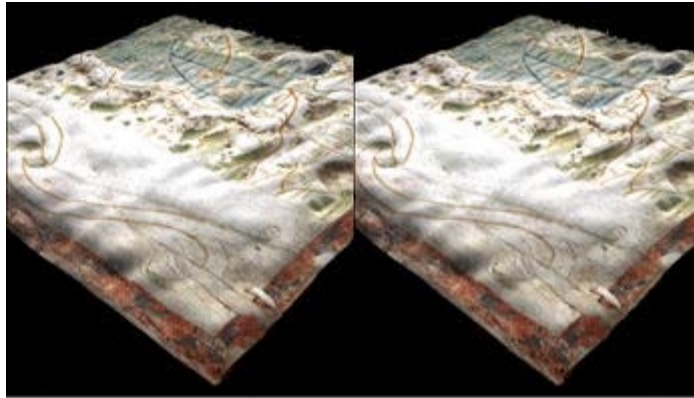
Aaronin luostarin raunio Petrassa Jordaniassa. Historialliset kohteet soveltuvat fotogrammetriseen dokumentointiin erittäin hyvin. Kohde voidaan tallentaa kuville pienimpiä yksityiskohtia myöten, kuvilta tulkittujen tietojen perusteella kohde voidaan mitata ja rekonstruoida kolmiulotteisena mallina, ja mallia voidaan käyttää kohteen ja ympäristön havainnollistamiseen sen historiallisen kehityksen valossa. (Saara Mattila)



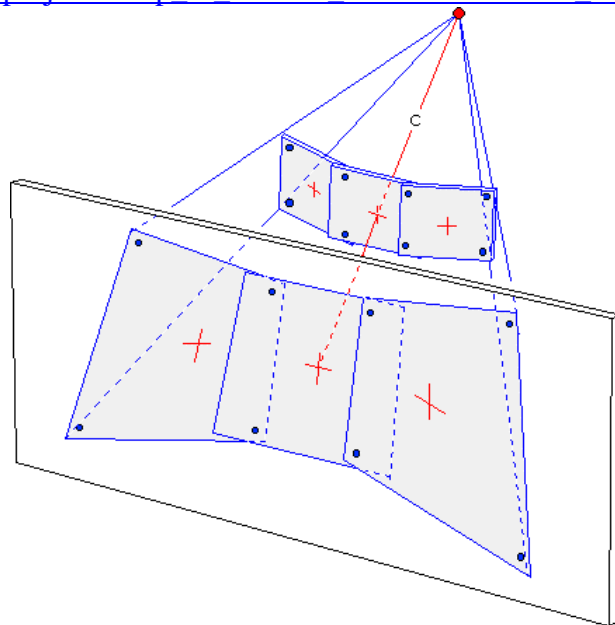
Tässä esimerkissä kuvat on oikaistu lattiatasoon ja koottu kuvamosaiikiksi. Kuvassa näkyvät seinärakenteet ovat perspektiiviltään vääristyneet, mutta lattian osalta kuva on mittatarkka ja soveltuu karttapohjaksi. (Petteri Pöntinen)



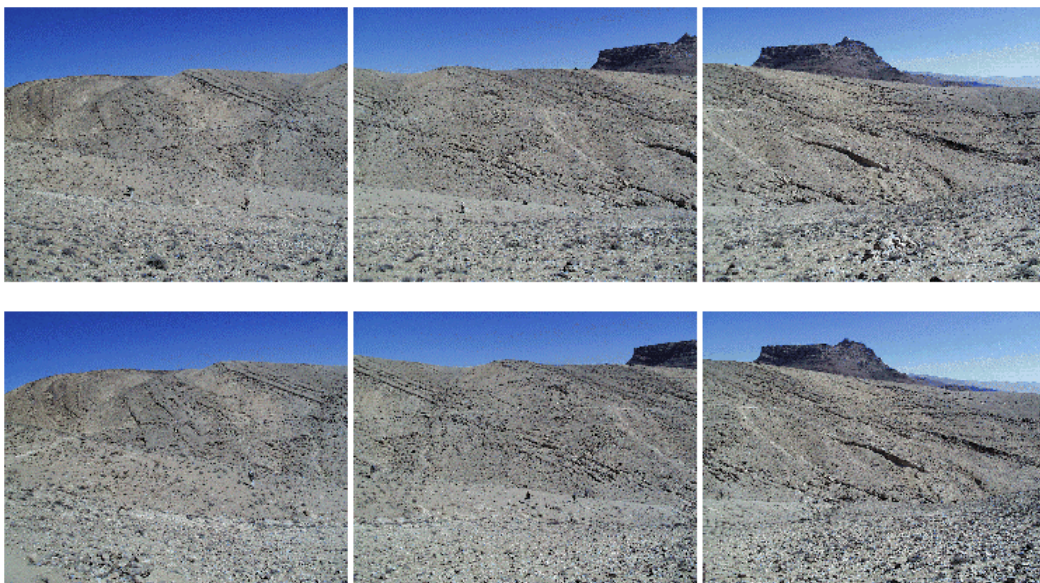
SMK40-kuvapari, Melkkilän kartanon kellari. Yksinkertaisin 3-D malli kohteesta on stereokuva-pari. Tarpeen tullen se voidaan tulkita ja mitata graafiseksi malliksi. Etualan mittalattaa käytetään mallin mittakaavan määrittämiseen. (Raimo Laurén)



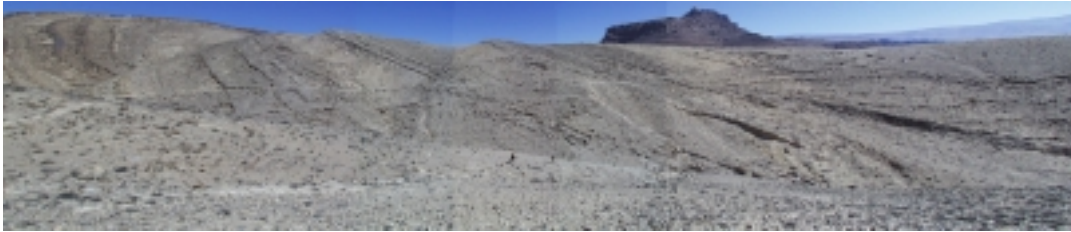
Vanhan pergamenttikartan 3-D dokumentointi, Map of Mexico 1554. (Antti Kuittinen). Ks. myös:
http://foto.hut.fi/research/projects/Map_of_Mexico_1554/Photography.html ja
http://foto.hut.fi/research/projects/Map_of_Mexico_1554/Presentation_of_the_map.html



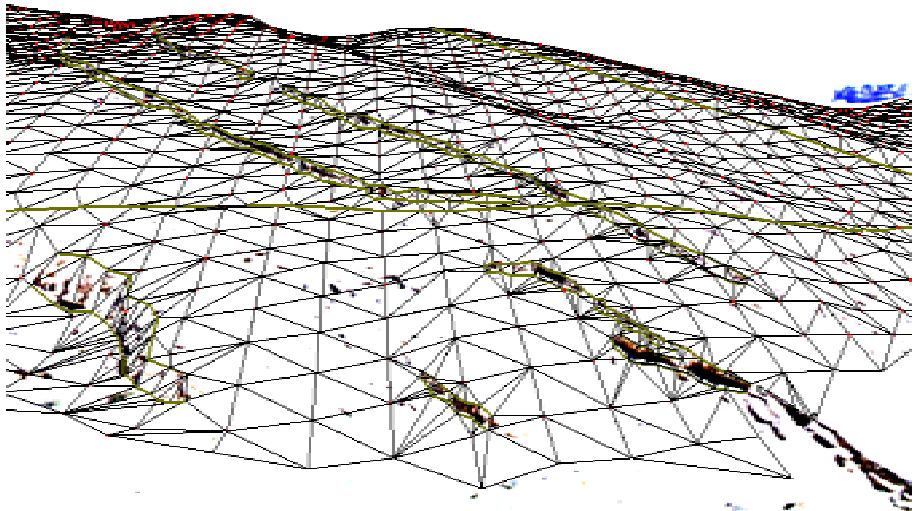
Panoramakuvauksessa digitaalikameran kuvat oikaistaan ja kootaan yhdeksi laajakulmaiseksi kuvaksi. Kuvat otetaan samankeskisinä, s.o. kääntämällä kameraa tarkasti projektiokeskuksensa ympäri. Yhdistetty kuva on tarkka keskusprojektiokuva ja siitä on poistettu optiikan piitovirheet.



Panoraamakuvien käyttö kartoitustehtävissä, Finnish Jabal Haroun Project, Petra. Samankeskiset kuvasarjat on otettu stereokuvaparina, ylemmät oikeanpuoleisena, alemmat vasemmanpuoleisena kuvasarjana.



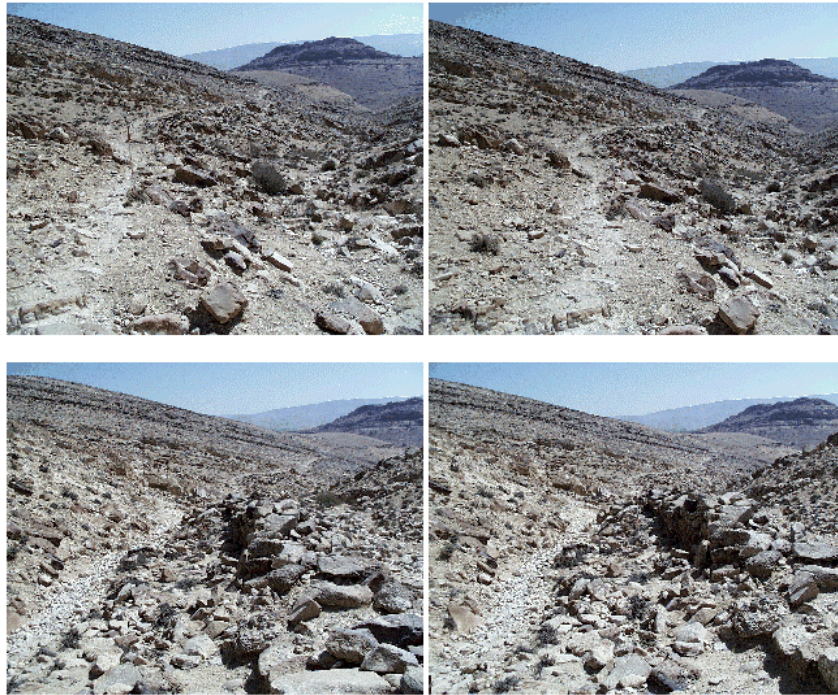
Samat kuvat oikaistuna panoraamakuvaksi. Panoraamakuvan etuna on sen laajakulmaisuus, suuri koko ja taloudellisuus. Yhdellä kuvaparilla kyetään kartoittamaan sama alue vähemmän tukipistein kuin alkuperäisten kuvien kolmelta stereomallilta. Näiden panoraamakuvien kuvakulma on noin 120° ja kuvakoko 4660×1000 pikseliä, kun yksittäisen oikaisemattoman kuvan kuvakoko on 1280×1024 pikseliä. (Milka Nuikka, 2001)



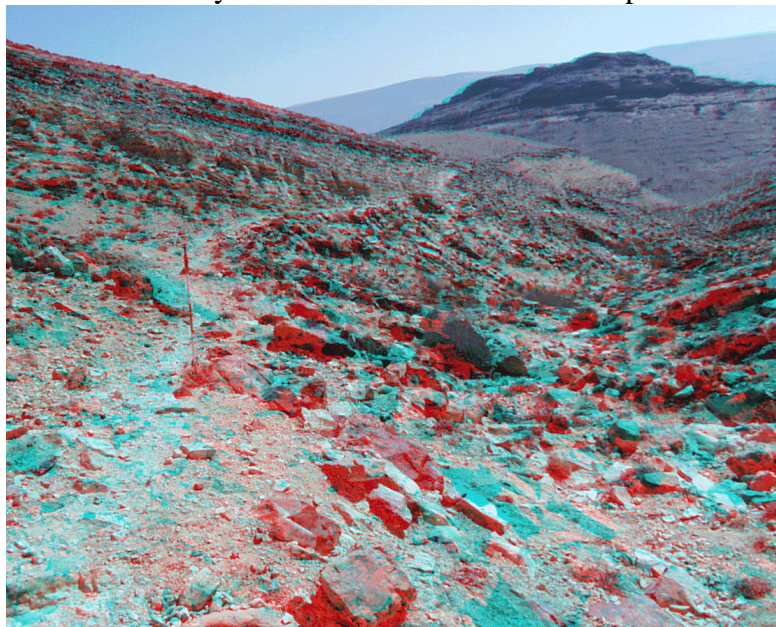
Edellisestä kuvaparista digitaalisella stereotyöasemalla tulkittu ja mitattu maanpinnan kolmiomalli. (Milka Nuikka, 2001)



Maakuvien käyttö tieuran dokumentoinnissa ja visualisoinnissa. Yllä esitetty panoraamakuvapari kuvaa rinnettä välillä c - e. (Hanne Junnilainen)



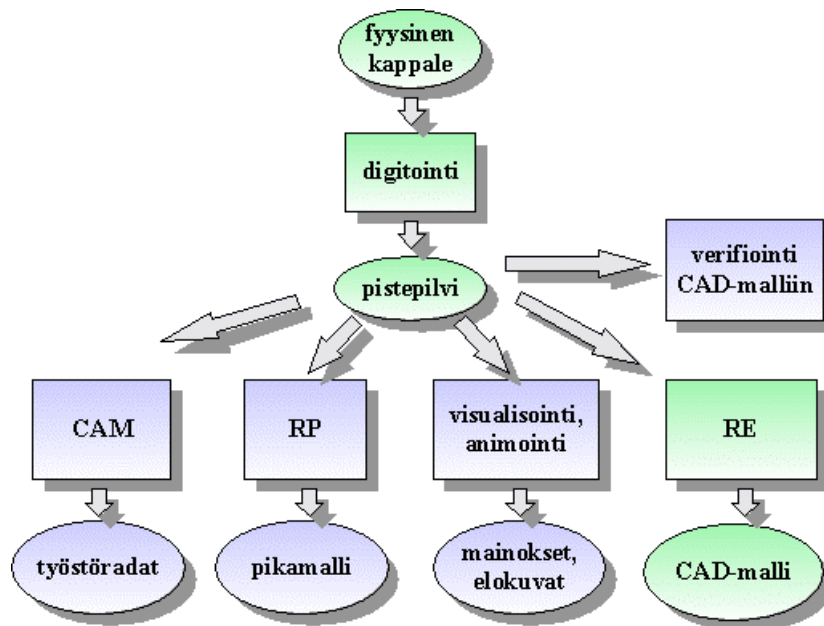
Tieuran näkymän dokumentointi stereokuvapareilla.



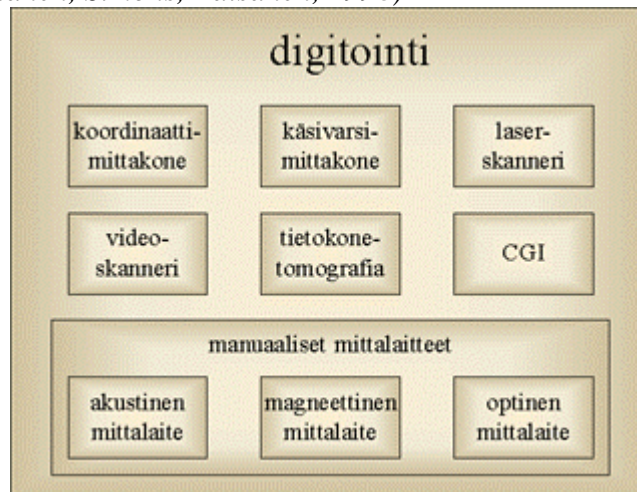
Stereokuvapari anaglyfikuvana.



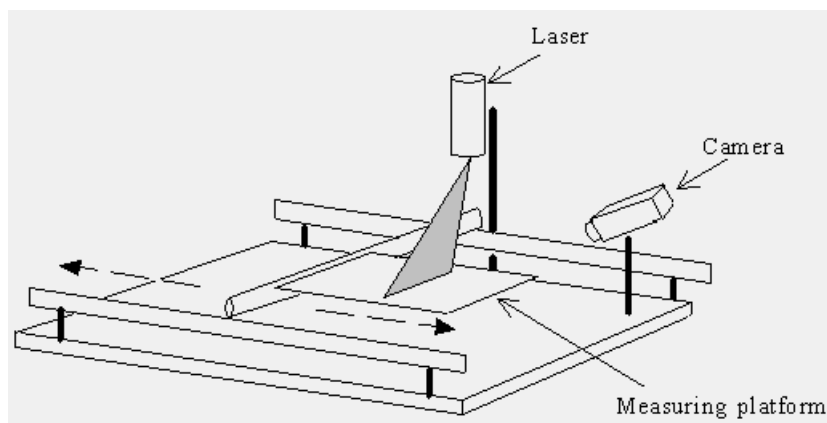
Ympäristömallien tuottaminen. (Marjut Vitikainen; Helsinki Arena)



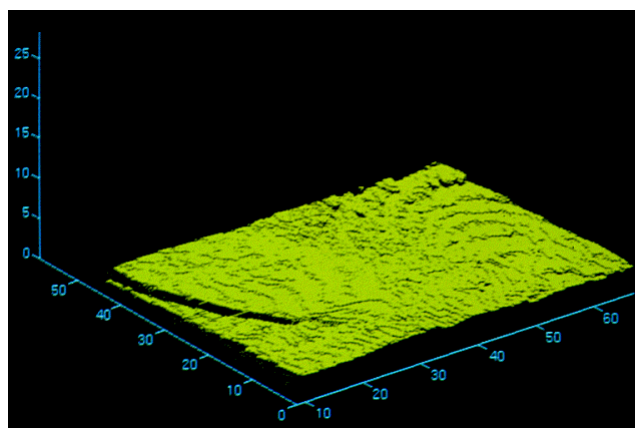
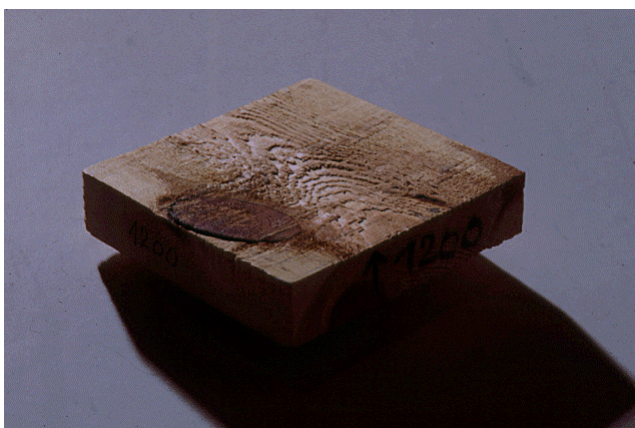
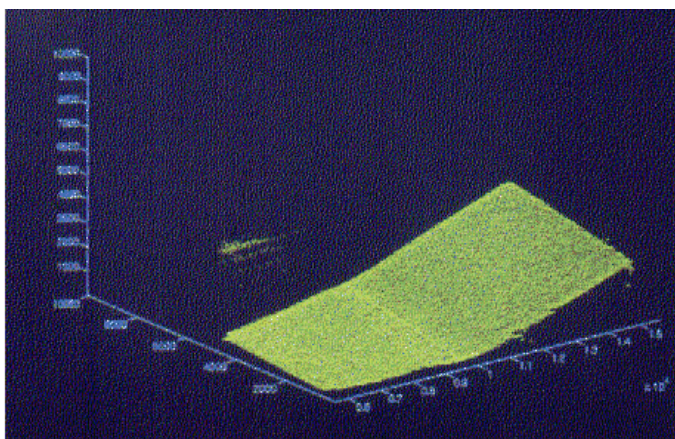
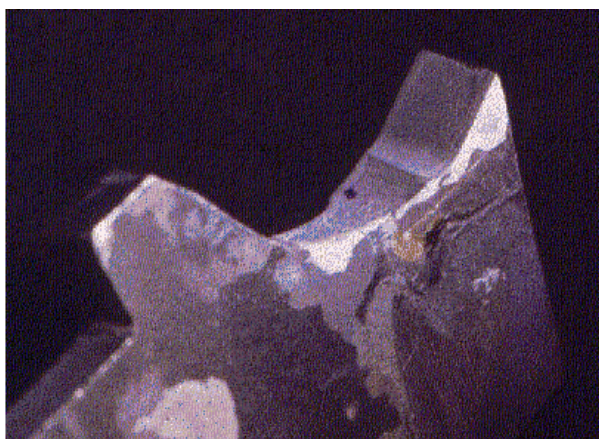
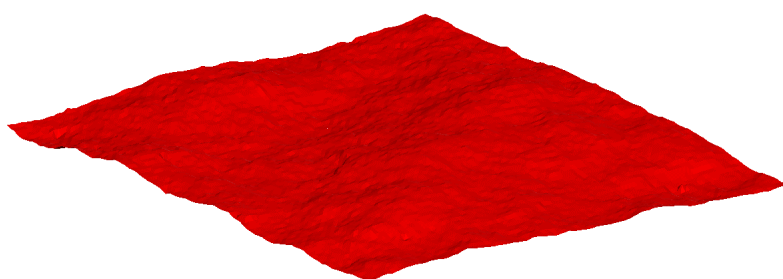
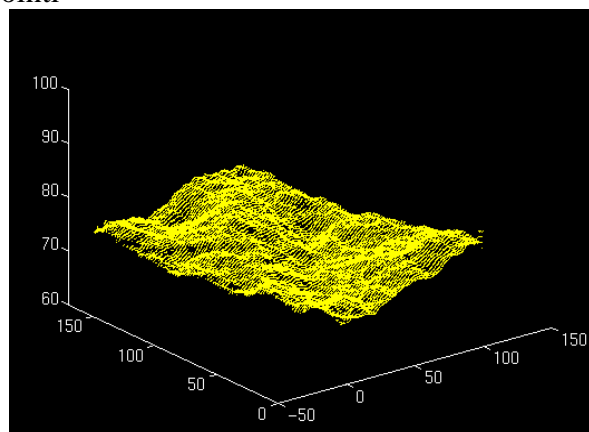
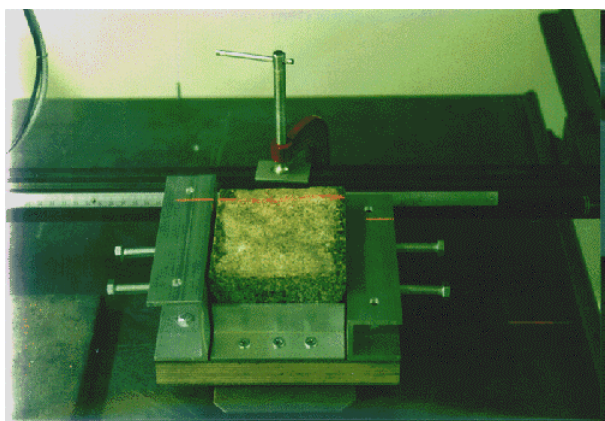
Reverse Engineering. Kappaleiden digitoiminen ja esittäminen teollisuuden valmistusprosessin erilaisiin tarpeisiin. (Rintanen, Simons, Räisänen, 1998)



3-D digitoinnin vaihtoehtoiset ratkaisut.

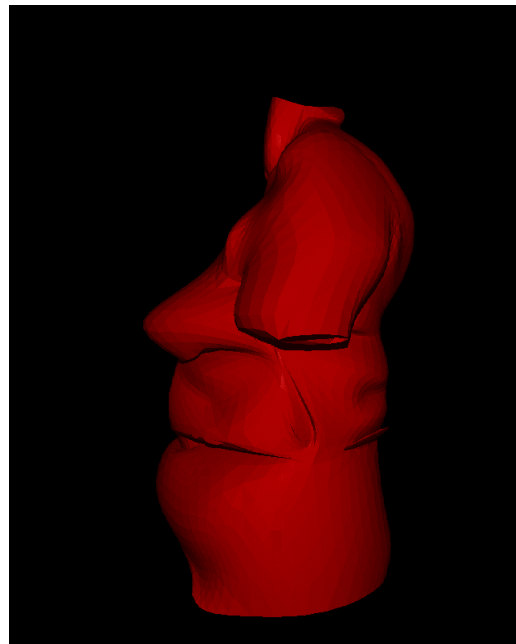
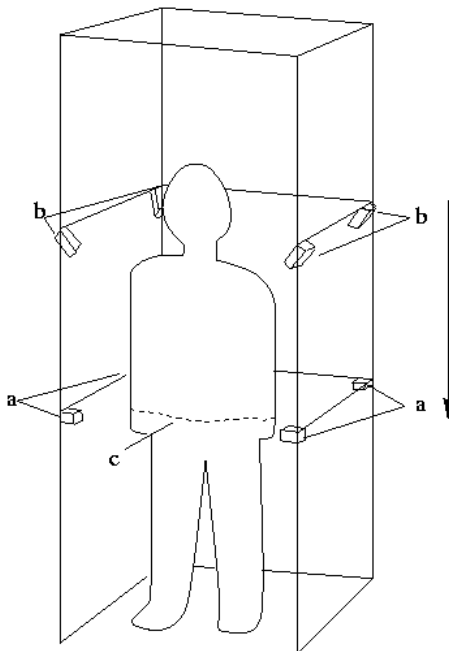


Profilointi

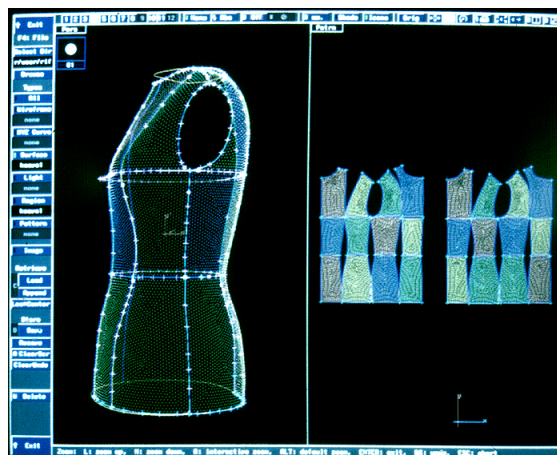




FaroArm Digitizing pinciple



Videoskannerin periaate ja sillä tuotettu malli (TKK; Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen laboratorio) Tarkemmin: ks. http://foto.hut.fi/research/hankkeet/3d_vaate.html

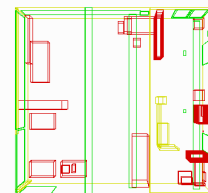
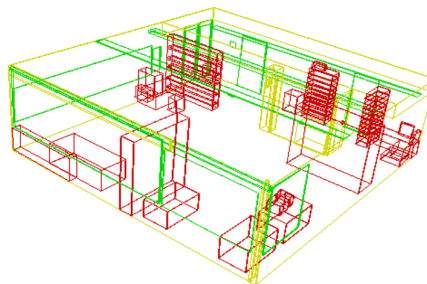
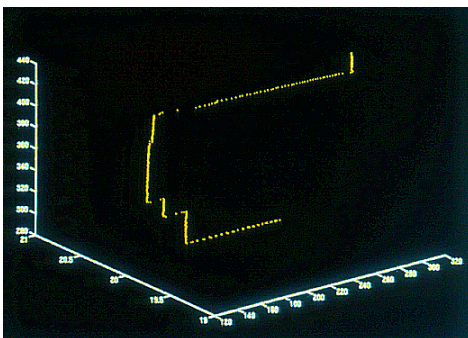


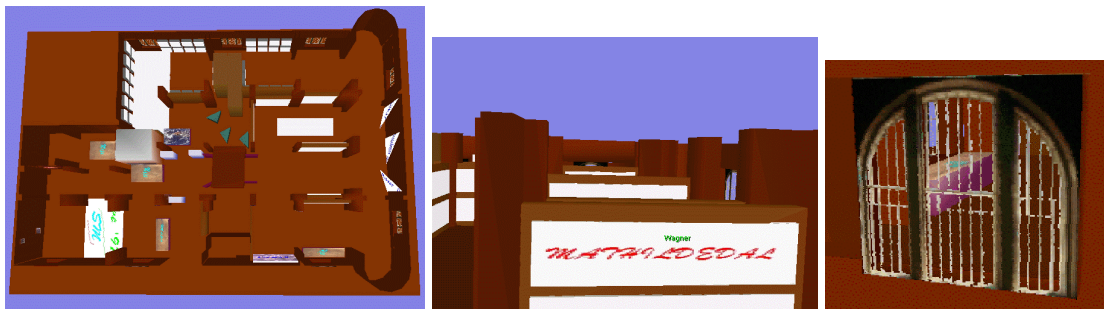


Koordinaattimittauskone

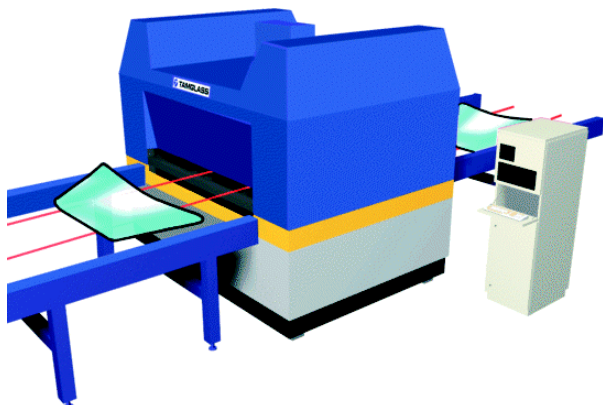


Profiilimittausta. Laserilla tehty punainen profiili videokuvattuna (oikeanpuoleinen kuva). TKK, Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen laboratorio. Alla laskettu profiili sekä profiilien pohjalta muokattuja rautalankamalleja. Lopuksi malliin on lisätty tekstuuri ja toimintoja kohteille (liikkuva laatikko).











On-line sovelluksia



Tamglass Engineering, GlassVision3D. GlassVision on muotolasin valmistuksessa käytettävä mittausjärjestelmä. Lasin pinnan 3-D pistemittauksia käytetään taivutusprosessin ohjaus-tietoina ja tilastolliseen laadunvarmistukseen. Järjestelmä on tullut tuotteena markkinoille 1997. Järjestelmän mittausosa perustuu Mapvision-tekniikkaan.



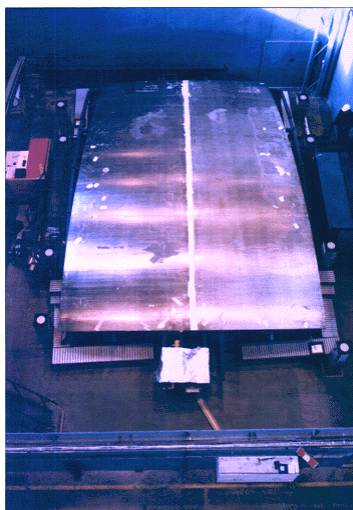
Mapvision- kuvamittausasema. Mittaustehtäviä ovat paikoitusmittaus, prosessinohjaus, laadunvarmistuksen muoto- ja muodonmuutosmittaus, muodoltaan tuntemattoman 3-D kohteen digitointi ja mallinnus. Järjestelmä koostuu tietokoneesta, 2 - 8 pysyvästi asennetusta kamerasta, muotomittauksissa kiinteistä tai numeerisesti ohjatuista piirreprojektoreista. Mittauspisteen piirteenhaku on automaattista. Piirteinä käytetään sovelluksesta riippuen tähysmerkkejä, kohteen omia yksityiskohtia tai kohteeseen projisioituja pisteitä ja viivoja.

CCD sensor	Sensor area H x V [mm]	Cell size H x V [microns]	Image size H x V [pixels]	Signal output	Camera	
1/4"	3.6 x 2.7		752 x 582	PAL	Cohu 3500	
1/3"	4.8 x 3.6	7.35 x 7.4	752 x 582	PAL	Pulnix TMC-73M	
1/2"	6.4 x 4.8	8.6 x 8.3	752 x 582	CCIR	Pulnix TM-300	
1/2"	6.4 x 4.8	8.6 x 8.3	752 x 582	CCIR	Cohu 4910	
2/3"	8.8 x 6.6	11 x 11	758 x 581	CCIR	Pulnix TM-62EX	
1"	9.1 x 9.2	9 x 9	1008 x 1018	8 bit RS-422	Pulnix TM-1001	

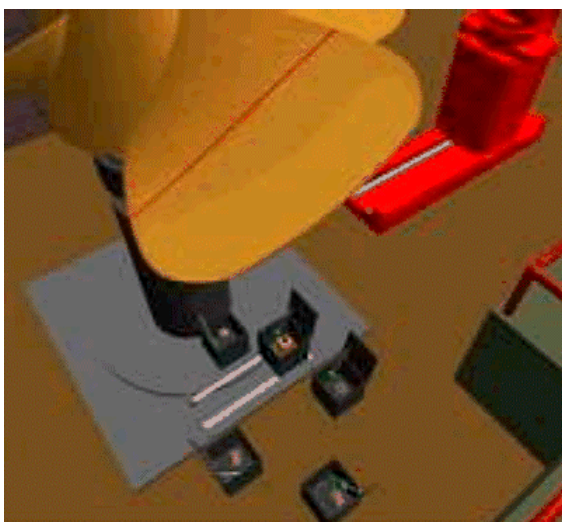
Videokamerat. Videokamerat ja koko mittausjärjestelmä kalibroidaan 'on-site'. Itsekalibrointi ei edellytä ulkoisia kalibrintipisteitä. Mittaustarkkuus xy on kuvalla on ± 0.05 pikseliä. Kun kuvakoko on 500×750 pikseliä, mittaustarkkuus on kohteessa $1 : 10\,000 - 40\,000$, eli XYZ on kohteessa ± 0.1 mm, kun mittaustilan dimensio on $1 \text{ m} - 4 \text{ m}$, ± 0.2 mm, kun $2 \text{ m} - 8 \text{ m}$; jne.



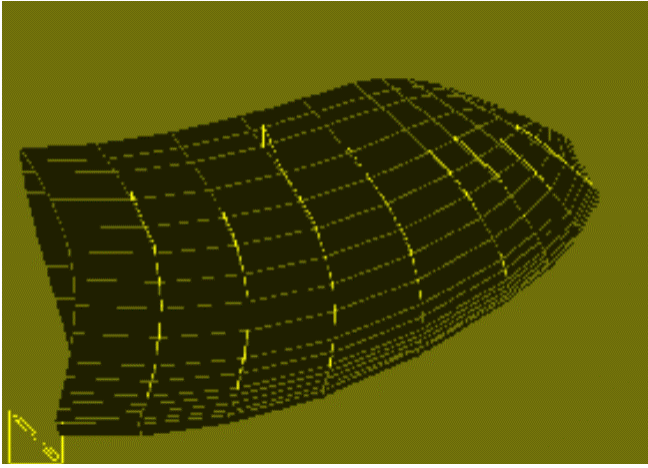
Valmet Automotive Inc., Uusikaupunki. Robotisoitu korinsaumaus, ensimmäinen mittausasema, tuotantokäytössä vuodesta 1992, korin tunnistus, ovien tarkistus, mittaus, koordinaatistonmuunnosten laskenta, tiedonsiirto roboteille, XYZ paikoitustarkkuus ± 0.2 mm $1.5 - 2$ m:n matkalla, kokonaissuoritus aika <15 sekuntia.



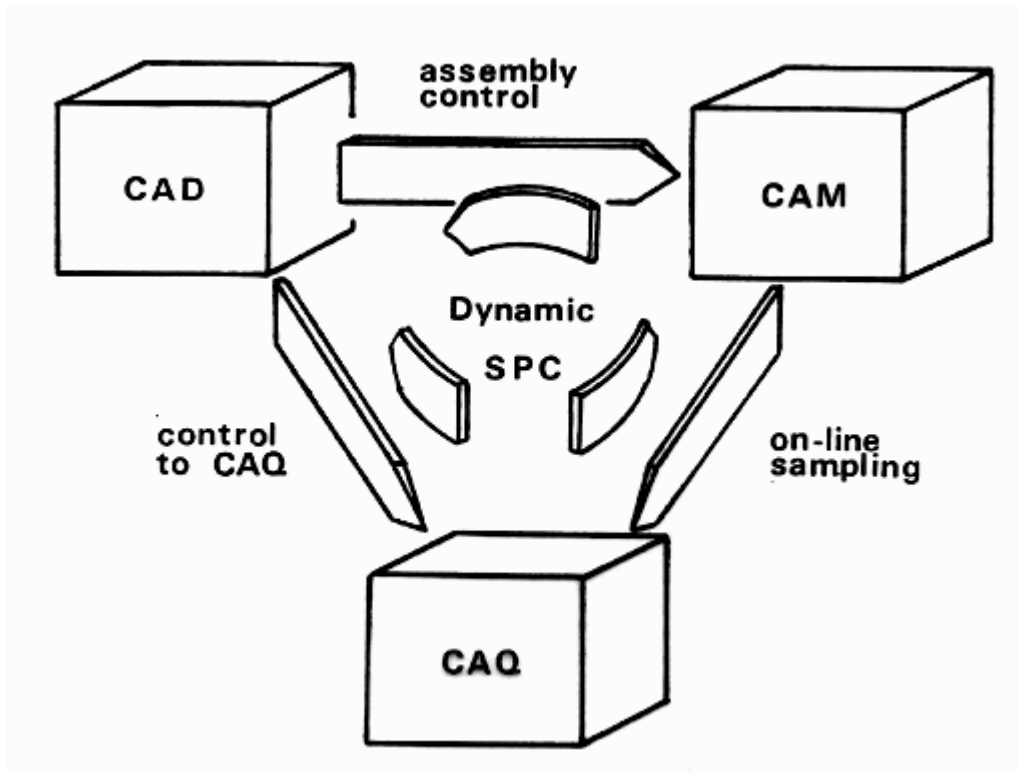
Kvaerner Masa-Yards. LNG-tankin paneelien mittaus, mittaustila 8×10 m, mittausetäisyys $11 - 13$ m, numeerisesti ohjattu laserprojektorit, 2000 mitattavaa pistettä, 0.9 sekuntia/piste, XYZ muotomittaustarkkuus $\pm 0.3 - 0.4$ mm, vertaus suunniteltuun muotoon.



Robotic Technology Systems Ltd. Laivapotkurit, potkurikoot 0.5 m:stä alkaen aina 12 m:iin saakka, kaksipuolinen mittaus, mittaustarkkuus ± 0.2 mm, numeerisesti ohjatut laserprojektorit, mitatun pinnan sovitus suunnitellun pinnan muotoon, ohjaustiedot muotoa viimeistelevälle robotille.



Mittaamalla tuotetun mallin vertaus suunniteltuun CAD-malliin.
(Kuva: Katri Oksanen, 1996)



Dynaaminen SPC.