

Maa-57.290 Fotogrammetrian erikoistyö

**Digitaalikameran asemointi  
pallopanoraamajalustaan**

Espoo, elokuussa 2001

Antero Kukko

# Sisällysluettelo

1. Johdanto	3
2. Perspektiivinen kameramalli ja kuvasäteiden realisointi	5
3. Pallopanoraamajalustan rakenne ja toiminta	7
4. Tähykset	9
5. Tähyklinjat	11
5.1 Yleistä	11
5.2 Rakentaminen	12
6. Projektiokeskuksen asemointi	14
7. Johtopäätökset ja keskustelua	16
8. Käytännön ohjeita työn suorittamiseen	18
9. Viitteet	20

# 1. Johdanto

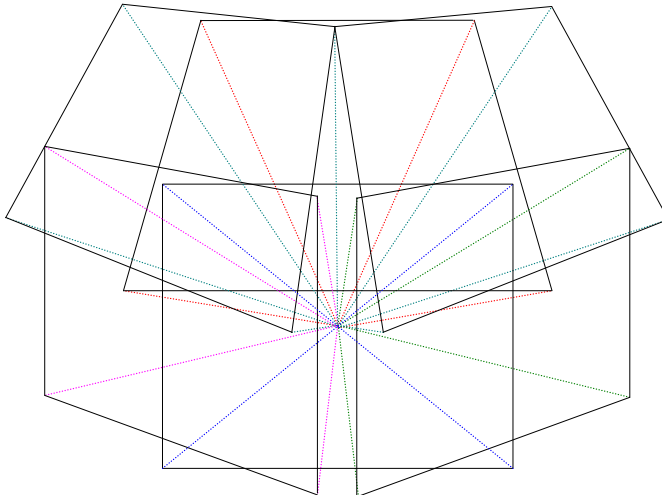
Panoraamakuvauksen juuret ulottuvat yli 150 vuoden päähän. Tuolloin useat keksijät kehittivät ja patentoivat toisistaan riippumatta erilaisia menetelmiä, joissa perusratkaisut olivat kuitenkin saman tyyppisiä; pyörivä kamera, laajakulmainen optiikka tai kääntyvä linssi. (IAPP, 2001). Useat näistä menetelmistä ovat nykyäänkin käyttökelpoisia, mutta niiden rinnalle on tullut uusia. Yksi tällainen menetelmä on usean digitaalisen kuvan yhdistäminen laajakulmaiseksi panoraamakuvaksi, jossa siinäkin käytetään kääntyvää kameraa (Pöntinen, 2000).

Panoraamakuvia on käytetty moniin eri tarkoituksiin, taiteesta ilmatiedusteluun. Nykyään panoraamakuvia käytetään varsinkin virtuaalisissa ympäristöissä ja valokuvataiteessa. Fotogrammetrisesti panoraamakuvat ovat aikojen saatossa jääneet melko vähäiselle huomiolle (Pöntinen, 2000). Digitaalitekniikka on kuitenkin avannut uusia mahdollisuuksia panoraamakuvien fotogrammetriseen tutkimukseen ja käyttöön.

Tässä työssä tutkittiin digitaalikameran asemointia pallopanoraamajalustaan. Pallopanoraamajalustaa käytetään samankeskisten kuvasarjojen ottamiseen. Jalusta pystytetään kolmijalalle ja sen avulla voidaan siihen kiinnitettyä ja asemoitua kameraa pyörittää vapaasti kaikkiin suuntiin. Tällä tavalla saadaan kuvilla katettua periaatteessa täysi pallon muotoinen sektori kameran ympärillä. Käytännössä rajoituttaneen kuitenkin pienempiin kuvaussektoreihin, kuten arkeologisten tai teollisten mittauskohteiden kuvauksiin (Kuva 1). Samankeskisistä kuvasarjoista voidaan tuottaa myös laajakulmaisia stereomalleja ottamalla kohteesta kaksi kuvasarjaa halutulla kuvakannalla, toisin sanoen siirtämällä kameraa kuvasarjojen välillä.

Jotta pallopanoraamajalustan avulla otettujen kuvien käyttö olisi mahdollista tarkkojen panoraamakuvien tuottamiseen, täytyy siihen kiinnitetyn kameran olla asemoitu siten, että sen projektiokeskus sijaitsee pallopanoraamajalustan kahden pyörimisakselin leikkauspisteessä. Tällöin kameran kääntäminen ei vaikuta projektiokeskuksen sijaintiin ja eri kuvilla näkyvät samat kohteet vain

projektiivisesti muuntuneina. Tämä taas on ehtona toisiaan osittain peittävien kuvien yhdistämisessä yhdeksi laajakulmaiseksi kokonaisuudeksi. Samankeskiyys ehdon lisäksi kameran kalibroitiparametrit (kameravakio, pääpisteen koordinaatit ja linssivirheet) on tunnettava, jotta kuvien yhdistäminen voidaan tehdä. (Pöntinen, 2000.)



**Kuva 1.** Samankeskiisistä digitaalikuvista voidaan tuottaa laajakulmaisia panoraamakuvia mielivaltaisessa pallosektorissa.

Panoraamakuvien ohella toinen fotogrammetrisesti huomionarvoinen samankeskisten kuvien käytön sovellusalue on kamerakalibrointi, joka tehdään käyttämällä eri suuntiin otettuja, riittävästi toisiaan peittäviä kuvia. Kamerakalibroinnista tällä menetelmällä ovat kirjoittaneet muun muassa Fryer (Fryer, 1996) ja Hartley (Hartley, 1994).

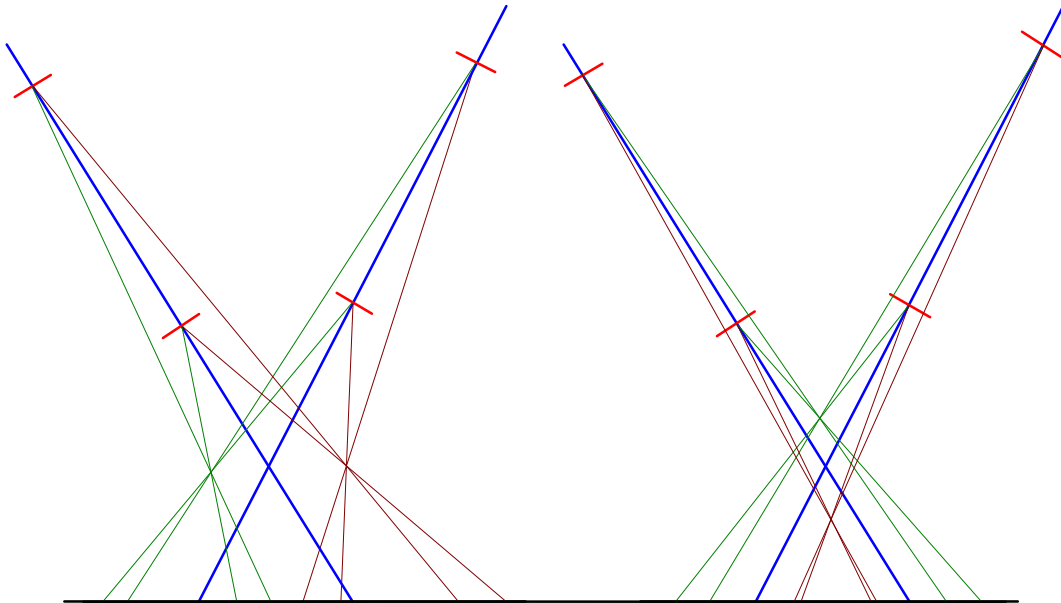
Erikoistyössä tutkittiin digitaalikameran projektiokeskuksen asemointia vapaasti pyörivän pallopanoraamajalustan pyörimisakselien leikkauspisteeseen. Tällaisella konstruktiolla voidaan tuottaa samankeskisiä kuvia, jotka voidaan kameran kalibrointitietoja hyväksi käyttäen yhdistää laajakulmaisiksi ja tarkoiksi pallopanoraamakuviksi. Työ tehtiin Teknillisen korkeakoulun Maanmittausosastolla, Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen laboratoriossa. Kamerajalusta ja asemointiin tarvittavat tähykset valmistettiin osaston yhteydessä toimivassa hienomekaniikan tutkimuslaboratoriossa.

## 2. Perspektiivinen kameramalli ja kuvasäteiden realisointi

Kameran projektiokeskuksen asemoinnissa (keskistämisessä) pallopanoraamajalustan pyörimisakselien suhteen oletetaan, että käytettävä kamera on perspektiivikamera ts. kuva muodostuu keskusprojektiokuvauksena. Keskusprojektiokuvaus perustuu kollineaarisuusehtoon, jonka mukaan kohdepiste, kuvapiste ja projektiokeskus sijaitsevat samalla suoralla (Inkilä, 2001). Toisaalta kollineaarisuusehdon perusteella voidaan sanoa, että perspektiivisen kameramallin mukaan kaikki kuvasäteet leikkaavat yhdessä pisteessä, eli kameran projektiokeskuksessa.

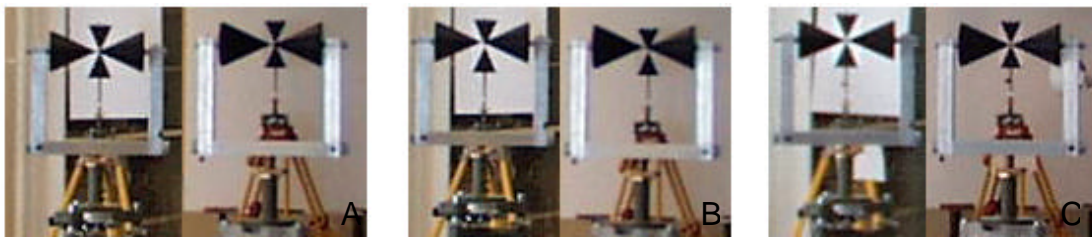
Projektiokeskipisteen asemointia varten osa kuvasäteistä on realisoitava todellisuuteen, eli näkyvöitettävä. Käytännössä kuvasäteet voidaan mallintaa käyttämällä esimerkiksi tähyksien avulla rakennettavia, toisiaan leikkaavia suoria tähyslinjoja. Linjat vastaavat kuvasäteitä, jolloin linjoja kuvaamalla ja kuvilla näkyviä linjojen muodostamia tähyskuvioita tarkastelemalla saadaan selville mihin suuntaan kameran projektiokeskusta on siirrettävä, jotta se saataisiin linjojen leikkauspisteeseen. Tähyslinjojen rakentaminen ja kameran asemointi on selostettu kappaleissa 5 ja 6.

Seuraavan kuvan piirrokset esittävät projektiokeskuksen sijainnin vaikutusta tähyslinjojen kuvautumiseen kuvatasolle (musta vaakaviiva). Siniset viivat kuvaavat tähyslinjoja ja punaiset poikkiviivat tähyksiä. Sinisten viivojen leikkauspiste kuvaa projektiokeskuksen oikeaa paikkaa. Vihreät ja ruskeat viivat esittävät tähysten ja kameran projektiokeskuksen (saman väristen viivojen leikkauspiste) kautta kulkevia säteitä eri tilanteissa. Näiden periaatekuvien avulla tähyssektorista otetuista kuvista voidaan määrittää kameran projektiokeskuksen siirtosuunnat, jotta projektiokeskus saadaan siirrettyä sinisten viivojen ts. tähyslinjojen leikkauspisteeseen (Kuva 2).



**Kuva 2.** Periaatepiirrokset projektiokeskuksen sijainnin vaikutuksesta tähyslinjojen kuvautumiseen kuvatasolle. Vasemmassa piirroksessa projektiokeskus sijaitsee oikean paikan (sinisten linjojen leikkauspiste) vasemmalla ja oikealla puolella. Oikeanpuoleisessa piirroksessa projektiokeskus on oikean paikan etu- ja takapuolella.

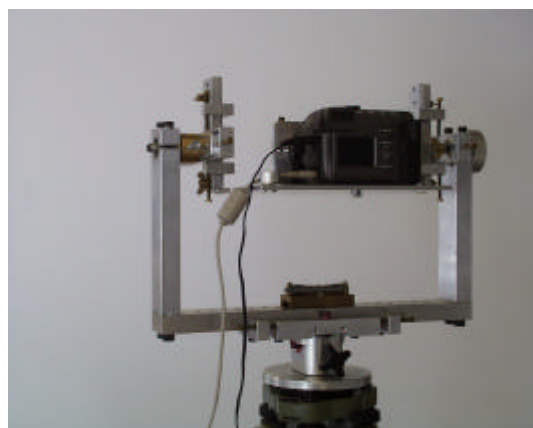
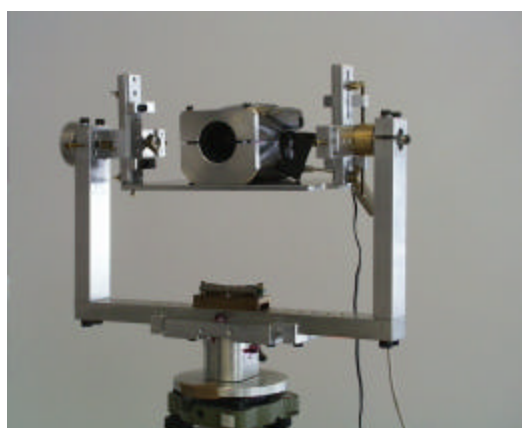
Kuvassa 3 on esitetty tähyssektorista otetun kuvasarjan avulla kameran projektiokeskuksen paikan vaikutusta tähyskuvioon. Ensimmäisessä kuvaparissa kameran projektiokeskus sijaitsee tähyslinjojen leikkauspisteen oikealla puolella, kun taas keskimmaisessä kuvaparissa se sijaitsee lisäksi tähystason alapuolella. Oikeanpuolimmaisessa kuvaparissa projektiokeskus on asemoituna tähyslinjojen leikkauspisteeseen ja tähystasoon. Tämä on nähtävissä tähyskuvioista, joissa tähyksien kärjet ovat kohdakkain molemmissa tähyslinjoissa.



**Kuva 3.** Tähyksuvia. **A)** Projektiokeskus oikealla ja **B)** projektiokeskus oikealla alhaalla tähyslinjojen leikkauspisteeseen ja tasoon nähden. **C)** Projektiokeskus oikein asemoituna tähyslinjojen leikkauspisteessä, jolloin tähykset muodostavat kuvalle ristin muotoiset kuviot. Kuvapareissa vasen ja oikea tähyslinja vastaavilla puolilla.

### 3. Pallopanoraamajalustan rakenne ja toiminta

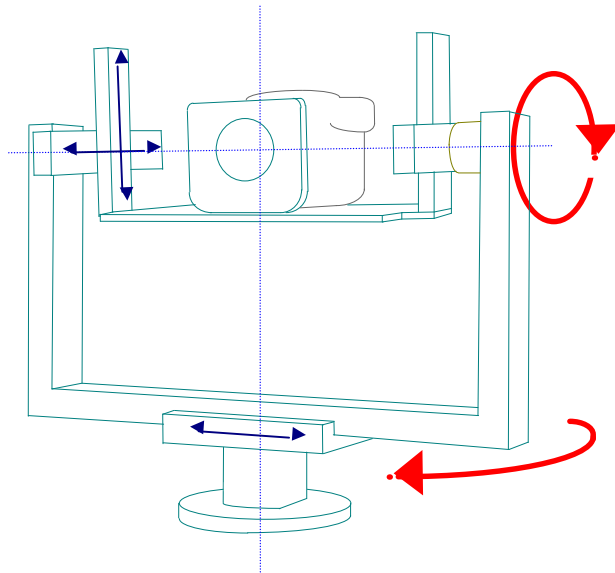
Pallopanoraamajalustan runko on U:n muotoinen alumiinista valmistettu kehys. Runko pyörii laakeroidun akselin varassa pystyakselin ympäri. Jalusta voidaan tasata runkoon kiinnitetyn putkitasaimen avulla, mutta keskistetyllä kameralla tasaus ei kuvaustilanteessa ole välttämätön. U:n muotoisen rungon molempien sakaroiden yläosassa on laakeroitu akselinapa, joiden kautta kameran vaakasuuntainen pyörimisakseli kulkee. Pallopanoraamajalustan rakenne selviää parhaiten kuvasta 4, jossa jalusta on kuvattu etu- ja takapuolelta.



**Kuva 4.** Pallopanoraamajalusta. Kuvissa näkyvät kameran objektiivin puristin, kehysten putkitasain, keinun rasiatasain ja kameran pohjaruuvi sekä pyörimisakselien lukitus- ja säätöruuvit. Harmaa kaapeli on datakaapeli tietokoneeseen kuvien siirtämiseksi ja musta on virtakaapeli. Vaaka-akselin päissä on kohdistusnastat.

Kamera kiinnitetään pallopanoraamajalustan keinuun pohjaruuvilla keinun pohjalevyn läpi sekä kiristämällä objektiivin metallinen suojarengas sitä varten tehtyyn puristimeen. Kiinnitysrakenne on tukeva ja sen avulla kamera saadaan asennettua aina samaan asentoon.

Pallopanoraamajalustaan asennettua kameraa voidaan vapaasti pyörittää kaikkiin suuntiin, jolloin kuvilla saadaan katettua mielivaltainen pallosektori mielivaltaisessa suunnassa. Kameran projektiokeskusta liikutetaan asemointivaiheessa pyörimisakselien suhteen sivu-, syvyys-, ja korkeussuunnissa (Kuva 5). Vaaka-akselin suhteen siirrot tehdään keinun säätöruuveilla korkeus- ja syvyysuunnissa. Pystyakselin suhteen keinun siirtäminen tapahtuu liikuttamalla kehystä sivusuunnassa (vasen-oikea).




**Kuva 5.** Pallopanoraamajalustalle asennettua kameraa voidaan vapaasti pyörittää kaikkiin suuntiin. Projektiokeskus asemoidaan liukukiskojen avulla sinisten nuolten osoittamiin suuntiin.

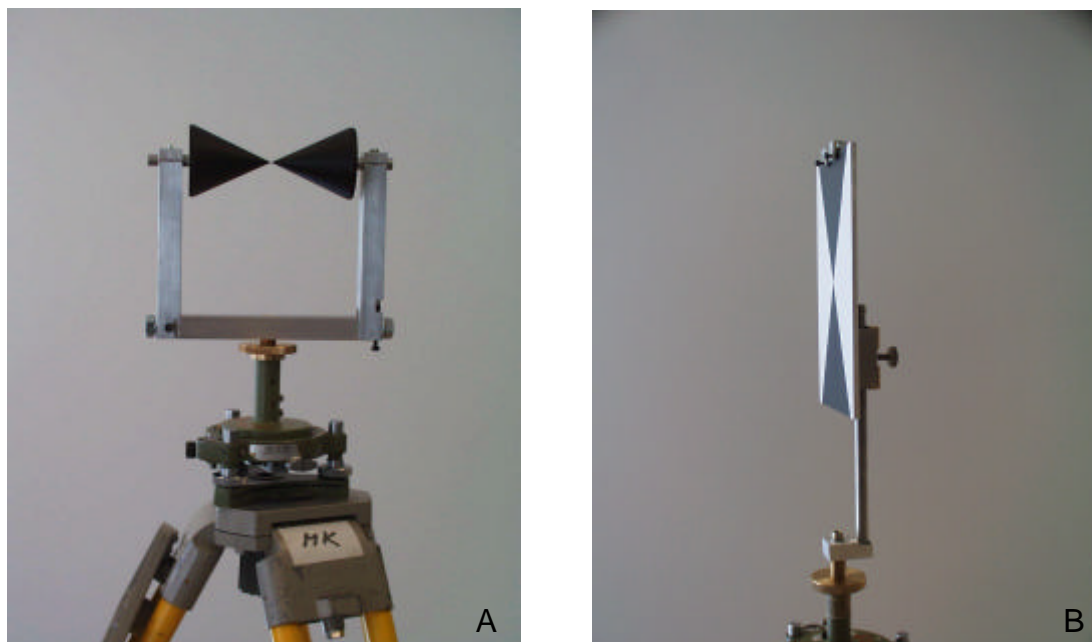
Säädöt suoritetaan löysäämällä lukitusruuvit ja kiertämällä säätöruuveja haluttu kierrosmäärä, jonka jälkeen lukitusruuvit jälleen kiristetään. Projektiokeskuksen asemointi pallopanoraamajalustan pyörimisakselien leikkauspisteeseen on selostettu jäljempänä kappaleessa 6.



## 4. Tähykset

Pallopanoraamajalustan asemointiin tarvittavia linjoja varten suunniteltiin ja rakennettiin tähykset, joilla sidotaan linja sivu- ja korkeussuunnissa. Tähykset voidaan kiinnittää pakkokeskistysjalkoihin ja niiden korkeutta voidaan säätää ruuvilla. Kun tähysten kärjet ovat samalla suoralla projektiokeskuksen kanssa, ne muodostavat yhdessä ristin muotoisen kuvion  (Kuva 3C ja kuva 7).

Etutähyksessä (Kuva 6A) on kaksi mustaksi maalattua, alumiinista sorvattua kartiota, jotka on asetettu vaakatasoon kärjet vastakkain. Etutähyksen kartioiden kohdistusta varten tähyksen rungossa on säätöruuvit ja kärkien etäisyyttä voidaan tarpeen vaatiessa muuttaa.



**Kuva 6. A)** Etutähyks. Etutähyksen kartiot kohdistettiin mikroskoopin avulla. **B)** Takatähyks. Tähyksen pinta on pyörimisakselin keskellä.

Etutähyksen kärkien kohdistus suoritettiin jysinkoneen istukkaan kiinnitetyn keskistysmikroskoopin avulla, jolloin kärjet saatiin mahdollisimman tarkasti korkeus- ja syvyysuunnissa vastakkain. Tällöin tähyksen kohtisuoruudesta tähyklinjaa vastaan voidaan tinkiä. Tähyksen kolmiulotteisuus mahdollistaa omalta osaltaan tähyksen muodon säilymisen kuvalla, vaikka tähyks ei olisikaan täysin kohtisuorassa tähyklinjaa vastaan.

Takatähys (Kuva 6B) tehtiin alumiinilevystä, johon muotoiltiin mustat, kärjet vastakkain olevat kolmiot pystyasennossa valkoisella taustalla. Teippikuvio tehtiin kiinnittämällä tähyslevy puristimilla tarkasti säädettävään keskisesti pyörivään alustaan. Kuvio leikattiin jyrsimeen kiinnitetyllä terällä liikuttamalla jyrsimen työpöytää, jolloin tähyksen kärjet saatiin teräviksi ja kolmioiden sivut suoriksi. Takatähyksen runko on terästä, messinkiä ja alumiinia ja se pyörii tähyksen pintaa sivuavan keskiakselin ympäri. Tähyslevyn korkeutta voidaan muuttaa ensin karkeasti liu'uttamalla ja tarvittaessa hienosäätää hienokierteisellä ruuvilla.

## 5. Tähyslinjat

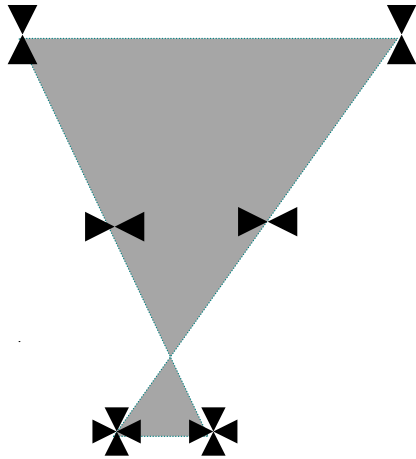
### 5.1 Yleistä

Pallopanoraamajalustan asemointiin tarvitaan kaksi toisiaan leikkaavaa tähyslinjaa. Pöntinen on esittänyt lisensiaattityössään tähyssektorin ja tähyslinjojen geometrian periaatteet (Pöntinen, 2000). Vaakasuuntaisten, samankeskisten kuvasarjojen tuottamiseen kehitetyn ristiluistin asemointiin käytettyä menetelmää on sovellettu ja kehitetty tässä työssä edelleen pallopanoraamajalustaa varten. Pallopanoraamajalustan asemoinnissa kummassakin tähyslinjassa on kaksi tähystä (etu- ja takatähys), joilla sidotaan sekä sivu- että korkeussuunnat. Tähyslinjojen välisen kulman tulee olla tarpeeksi suuri (riittävän leveä sektori), jotta niiden muodostamien tähyskuvioden avulla saadaan kamera luotettavasti asemoitua. Sektori ei kuitenkaan saa olla liian leveä, vaan linjojen on mahduttava samaan kuvaan.

Koska projektiokeskus sijaitsee kolmiulotteisessa avaruudessa ja kahden tähyslinjan avulla saadaan helposti sidottua ainoastaan kaksi suuntaa (vaakasuunnat), täytyy kolmannen suunnan (korkeussuunta) kiinnittämiseksi tehdä lisäjärjestelyjä. Yksi, ja tässä työssä käytetty, vaihtoehto on rakentaa linjat vaakatasoon siten, että kaikkien neljän tähyksen kärjet ovat samassa vaakasuuntaisessa tasossa pallopanoraamajalustan vaaka-akselin kanssa, jolloin ne muodostavat vaakasuuntaisen kolmion, jonka terävä kärki on pallopanoraamajalustan pystyakselilla. Kun kameran projektiokeskus sijaitseen tähyksien muodostaman tason ja linjojen muodostamien suorien leikkauspisteessä, tähyslinjat muodostavat kuvatasolle kaksi ristinmuotoista kuviota (Kuva 7).

Toinen vaihtoehto on asemoida pallopanoraamajalusta ensin sivu- ja syvyys suunnissa ja sen jälkeen korkeussuunnassa kääntämällä jalusta pystyasentoon, jolloin linjat tulevat samaan tasoon pallopanoraamajalustan vaaka-akselin kanssa. Tämä on mahdollista jalustan vaaka-akselin toiseen päähän kiinnitetyn laipan ansiosta. Tällöin korkeussuunnan asemoimiseen voidaan käyttää kumpaa tahansa linjoista. Tässä tapauksessa tähyksien

muodostaman kuvion on oltava erilainen ensimmäiseen menetelmään verrattuna, esimerkiksi pystysuora tappi edessä ja takatähyksessä sopivan levyinen rako, jonka keskelle tappi keskistetään. Vaihtoehtoisesti tähyksinä voidaan käyttää kärki ylöspäin olevia kartioita, joiden kärjet on kohdistettu samalle suoralle.



**Kuva 7.** Tähyksinjojen geometria. Kun kameran projektiokeskus on tähyksinjojen leikkauspisteessä ja niiden muodostamassa tasossa (harmaa), tähykset muodostavat kuvalle ristin muotoiset kuviot.

## 5.2 Rakentaminen

Tähyksinjojen rakentamiseen tarvittiin kuusi kolmijalkaa, joista viidellä muodostettiin varsinainen tähyksektori. Kuudes oli korkeussuunnassa säädettävällä pöydällä varustettu kolmijalka, joka pystytettiin sektorin taakse ja johon asennettiin vaaituskoje (Kuva 8). Pallopanoraamajalusta tasattiin putkitasaimen avulla, jolloin sen vaakasuuntainen-akseli saatiin yhtymään vaakatasoon. Tämän jälkeen säädettiin vaaituskoje samaan tasoon pallopanoraamajalustan vaaka-akselin kanssa akselin päihin asennettujen kohdistusnastojen avulla.

Kun näin saatiin määritettyä tähystaso, vaihdettiin pallopanoraamajalustan paikalle teodoliitti. Tämä tehtiin irrottamalla jalusta pakkokeskistysjalustastaan (jalustan sovitinkappaleen asento pakkokeskistysjalustassa merkittiin ennen poistoa teipillä) ja asentamalla teodoliitti pallopanoraamajalustan pakkokeskistysjalkaan.



**Kuva 8.** Tähyklinjojen rakentaminen. Teodoliitin avulla linjat saadaan suoriksi ja niiden leikkauspiste teodoliitin pystyakselille. Vaaituskojeella säädetään tähykset jalustan vaak akselin tasoon. Huomaa vaaituskojeen asennus säädettävälle kolmijalan pöydälle.

Seuraavassa vaiheessa säädettiin vaaituskojeen avulla tähykset oikealle korkeudelle. Teodoliittia käyttäen asemoitiin tähykset siten, että ne muodostivat kaksi suoraa, jotka leikkasivat teodoliitin, ja siten myös pallopanoraamajalustan pystyakselilla. Suorien leikkaaminen pystyakselilla on ehdoton edellytys kameran projektiokeskipisteen asemoimisen kannalta. Kun tähyssuorat olivat valmiit, irrotettiin teodoliitti ja asennettiin pallopanoraamajalusta takaisin pakkokeskistysjalustalleen siten, että sovitinkappale tuli samaan asentoon kuin se oli pallopanoraamajalustaa tasattaessa.

## 6. Projektiokeskuksen asemointi

Digitaalikameran projektiokeskuksen asemointi pallopanoraamajalustan pyörimisakselien leikkauspisteeseen suoritettiin 1. kuvaamalla tähyssektori, 2. määrittelemällä kuvasta siirtosuunnat ja 3. siirtämällä kameraa jalustan säätöruuveilla kuvasta tulkittuihin suuntiin. Vaiheita 1-3 toistettiin kunnes molempien tähyslinjojen tähyskuvio saatiin kuvalla ristin muotoiseksi (Kuva 3C). Työn kuluessa otetut kuvat tallennettiin niihin tehtyjä siirtoja kuvaavilla nimillä. Tämä auttoi muistamaan viimeisimpien siirtojen suunnat ja vaikutuksen ja tarvittaessa mahdollisti niiden tarkistamisen. Kuvassa 9 on nähtävissä asemointiin käytetty laitteisto ja kuvausjärjestely.

Projektiokeskuksen asemoinnin onnistumista testattiin kääntelemällä kameraa eri suuntiin ja tarkastelemalla kuvilta tähyskuvioden säilymistä oikeanlaisina. Esimerkkinä mainittakoon vasemman tähyslinjan kuvaaminen siten, että se sijaitsi eri puolilla testikuvia (vasemmassa, oikeassa, ylä- ja alareunassa sekä kulmissa). Testikuvien avulla tutkittiin, muuttuiko tähyskuvio kameran ollessa eri asennoissa. Mikäli kuvio muuttuisi, täytyisi asemointia tarkentaa.

Toinen projektiokeskuksen asemoinnin tarkkuutta määrittelevä koe oli kameran poikkeuttaminen tähyslinjojen avulla ratkaistusta, oikeaksi oletetusta paikasta. Kokeen avulla voitiin todeta, että jo parin millin muutokset projektiokeskuksen sijainnissa näkyivät selvästi tähyskuvioden muutoksina. Tästä voitiin päätellä, että asemoinnilla saavutettu projektiokeskuksen sijaintivirhe oli alle 2 mm.

Tähyssektorista otetut kuvat siirrettiin kamerasta kaapelilla kytkettyyn tietokoneeseen, jonka näytöllä tähyssektorista otettuja kuvia voitiin tarkastella suurempina ja tarkempina kuin kameran omassa näytössä. Lisäksi kuvia pystyttiin suurentamaan, mikä helpotti kohdistuksen määrittämistä. Kameran laukaiseminen hoidettiin tietokoneen kautta, jolloin kameran käsinlaukaisusta aiheutuvan värinän tuottamat kuvavirheet saatiin kuvaustilanteessa eliminoitua.



**Kuva 9.** Kuvaujärjestely. Kameran laukaiseminen sekä kuvien analysointi suoritettiin kameraan kytketyllä tietokoneella.


Kun kameran projektiokeskus oli saatu keskistettyä, kameran paikka merkittiin pallopanoraamajalustan liukukiskojen reunoihin sahaamalla niihin urat ja merkitsemällä kameran tunnus uramerkkien yhteyteen. Mikäli pallopanoraamajalustaan asemoidaan useampia kameroita, kunkin asema merkitään yksilöllisesti liukukiskoihin. Kohdistusmerkkien avulla pallopanoraamajalustan keinu ja kehys voidaan palauttaa kullekin kameralle kuuluvaan asentoon, vaikka ne olisi poikkeutettu tai pallopanoraamajalusta olisi asemoitu jollekin toiselle kameralle. Tarkimmin luistit saa kohdistettua rakotulkin avulla sovittamalla riittävän tiukka rakotulkki sahattuun uraan ja siirtämällä luisteja siten, että toisiaan vastaavat urat ovat tarkasti kohdakkain.

## 7. Johtopäätökset ja keskustelua

Digitaalikameran projektiokeskuksen asemointi pallopanoraamajalustan pyörimisakselien leikkauspisteeseen onnistui tässä työssä esitetyllä menetelmällä hyvin. Pallopanoraamajalustaa käyttäen voidaan tuottaa tarkkoja panoraamakuvia halutussa pallosektorissa. Usean kuvan yhdistämisellä laajakulmaiseksi panoraamakuvaksi saavutetaan resoluutioltaan tarkempia kuvia kuin vastaavan kokoiset, linssitekniikalla tuotetut kuvat.

Tähyssektorin rakentaminen pallopanoraamajalustan vaak akselin kanssa samaan vaakatasoon nopeuttaa ja yksinkertaistaa kameran projektiokeskuksen asemointia. Mikäli tähyslinjat ovat erisuuntaisia, niiden leikkauspisteen paikka vaak akselin tasaamiseksi pallopanoraamajalustan pysty akselilla on vaikea määrittää.

Erilaisin koejärjestelyin todettiin projektiokeskuksen asemoinnin onnistuvan siten, että projektiokeskuksen paikka poikkeaa kussakin suunnassa alle kaksi millimetriä oikeasta paikastaan. Poikkeaman vaikutusta panoraamakuvan laatuun olisi tarpeellista tutkia. Poikkeamalla tarkoitetaan tässä asemoinnissa jäljelle jäävää keskisyysvirhettä, eli projektiokeskuksen poikkeamaa pyörimisakselien leikkauspisteestä. Keskisyysvirheen mallintaminen ja vaikutus kameran eri asennoissa ja kuvausetäisyyksillä antaisi lisätietoa panoraamakuvien projektiivisesta tarkkuudesta.

Vaakasuuntaisten panoraamakuvien tuottamiseen kehitetty ristiluisti voidaan asemoida käyttäen tässä työssä käytettyä tähyssektoria ja tähyksiä sillä erotuksella, että takatähyksestä käytetään ainoastaan sen runkoa (korkeussuuntaa ei tarvitse kiinnittää). Etutähyksen kartiot kohdistetaan sivusuunnassa takatähyksen rungon ( $\varnothing$  12mm teräksinen tappi) keskelle. 

Digitaalikameran asemoinnissa käytetyt tähykset ja pallopanoraamajalusta valmistettiin itse, joten sellaisia ei saa valmiina kaupasta. Vastaavista kaupallisista tähyksistä ei tämän tekijällä ole tietoa. Sitä vastoin erilaisia pallopanoraamajalustoja on saatavissa lukemattomia eri malleja eri



kameroille. Näissä projektiokeskuksen asemointi suoritetaan useimmiten kameran etsimen kautta, jolloin lopputulosta ei voi kuin arvailla.

Pallopanoraamajalustan suunnitteluun ja rakentamiseen kului aikaa reilut kaksi kuukautta. Tähysten rakentaminen vei reilut kaksi viikkoa.

Samankeskisistä kuvasarjoista valmistettuja pallopanoraamakuvia ja stereomalleja voidaan hyödyntää esimerkiksi arkeologiassa, arkkitehtuurissa, maisemasuunnittelussa ja teollisuudessa dokumentointiin, mallintamiseen ja mittaamiseen.

Pallopanoraamajalustaa voidaan käyttää siihen asemoidun kameran kalibrointiin. Useita samankeskisiä ja riittävästi toisiaan peittäviä kuvia käyttäen voidaan ratkaista kameran polttoväli, linssivirheet, kuvan affiinisuus (kuvan koordinaattiakselien poikkeama suorasta kulmasta) sekä pääpisteen paikka kuvilla. Samankeskisten kuvien käytöstä kamerakalibroinnissa ovat kirjoittaneet muiden muassa Fryer (Fryer, 1996) ja Hartley (Hartley, 1994). Kalibrointia varten pallopanoraamajalustaan voidaan asentaa periaatteessa mikä tahansa kamera, mutta koska kamerat kuitenkin ovat erilaisia, kullekin täytyy erikseen suunnitella ja rakentaa oma kiinnitysmekanisminsa.

Jatkossa voisi ajatella pallopanoraamajalustan kehittämistä yksinkertaisemmaksi ja helppokäyttöisemmäksi. Varsinkin säätöruuvien määrää voisi vähentää. Toisaalta nykyinen rakenne on erittäin tukeva ja kestävä.

## 8. Käytännön ohjeita työn suorittamiseen

Varaa kameran keskistämiseen riittävästi aikaa. Varsinkin tähyslinjojen pystytys vaatii tarkkuutta ja huolellisuutta. Yhdelle kameralle sektorin rakentamisineen työn suorittaminen vie noin 2 työpäivää.

Pallopanoraamajalustan asemointi kannattaa tehdä sisätiloissa, jolloin saadaan tasaiset työskentelyolosuhteet. Valaistusolosuhteiden tulisi olla mahdollisimman tasaiset ja riittävät. Varsinkin taaempien tähysten valaisu on tarvittaessa hoidettava lisävaloin.

Takatähykset on hyvä erottaa taustasta esimerkiksi valkoisella pahvilla. Tällöin niille saadaan mahdollisimman hyvä näkyvyys kuvilla ja kuvien analysointi on helpompaa.

Sisätiloissa kolmijalkojen pystytyksessä on hyvä käyttää ns. tähtiä, jolloin kolmijalat saadaan riittävän tukevasti paikoilleen. Lisäksi tähdet kannattaa kiinnittää lattiaan vaikka pakkausteipillä, jolloin estetään niiden liikkuminen asemoinnin aikana.

Etummaisat tähykset on hyvä pystyttää mahdollisimman lähelle kameraa, noin 1-2 metrin päähän. Taaemmat tähykset voivat olla niistä maksimissaan noin kaksikertaisen etäisyyden päässä (2-5 m). Tällä pyritään varmistamaan tähyksien riittävän terävä erottuvuus kuvilla. Kameran kuvaustarkkuus on syytä asettaa suurimmalle mahdolliselle (kuvan pakkaus minimiin).

Pallopanoraamajalustan tasaamisen yhteydessä kannattaa sovitinkappaleen asento pakkokeskistysjalan suhteen merkitä, jotta se voidaan asentaa takaisin paikalleen tasauksen muuttumatta.

Kameran laukaisu on hyvä suorittaa lankalaukaisimella tai tietokoneen kautta, jolloin estetään kameran käsinlaukaisusta mahdollisesti aiheutuva tärinä.

Tähyssektorista otetut kuvat voidaan nimetä niihin tehtyjen siirtojen mukaan, jolloin tarvittaessa voi tarkistaa tehdyn siirron vaikutus tähyskuviin. Lisäksi

nimeäminen helpottaa viimeksi tehtyjen siirtojen muistamista. Vaihtoehtoisesti siirrot voi merkitä paperille.

## 9. Viitteet

**Fryer, J.** “Single Station Self-Calibration Techniques”. IAPRS, Vol XXXI, Part B5. Pp. 178-181. Vienna 1996.

**Hartley, R.** “Self-Calibration from Multiple Views with a Rotating Camera”. Lecture Notes in Computer Science, Vol 800. Ed. Jan-Olof Eklundh. Computer Vision - ECCV '94

**IAPP.** <http://www.panphoto.com>. International Association of Panoramic Photographers. 3.8.2001.

**Inkilä, K.** “Analyttinen fotogrammetria”. TKK:n Maanmittausosastolla luennoitavan saman nimisen kurssin luentomoniste, 2001.

**Pöntinen, P.** “On the creation of panoramic images from image sequences”. Licentiate's thesis, 2000.