

**Metsätehon raportti 183**  
**11.3.2005**

**Rajoitettu jakelu**

Järvi-Suomen Uittoyhdistys  
Kuhmo Oy  
Metsähallitus  
Metsäliitto Osuuskunta  
Metsäteollisuus ry  
Pölkky Oy  
Stora Enso Oyj  
UPM-Kymmene Oyj  
Vapo Timber Oy  
Visuvesi Oy

**Puun geometrisen laatutiedon  
mittaukset monikamera-  
menetelmällä**

*Petteri Pöntinen*  
*Jussi Heikkinen*  
*Olli Jokinen*

# **Puun geometrisen laatutiedon mittaukset monikameramenetelmällä**

**Petteri Pöntinen  
Jussi Heikkinen  
Olli Jokinen**

Metsätehon raportti 183  
11.3.2005

Rajoitettu jakelu:

Järvi-Suomen Uittoyhdistys, Kuhmo Oy, Metsähallitus, Metsäliitto  
Osuuskunta, Metsäteollisuus ry, Pölkky Oy, Stora Enso Oyj,  
UPM-Kymmene Oyj, Vapo Timber Oy ja Visuvesi Oy

Asiasanat:

kuvamittaus, kalibrointi, puun geometrinen laatu

© Metsäteho Oy

Helsinki 2005

## SISÄLLYS

<b>TIIVISTELMÄ</b> .....	<b>4</b>
<b>1 TAUSTA</b> .....	<b>5</b>
<b>2 TAVOITE</b> .....	<b>5</b>
<b>3 AINEISTO JA MENETELMÄT</b> .....	<b>5</b>
3.1 Kuvamittausjärjestelmän kalibrointi.....	5
3.2 Läpimitan mittauksen kalibrointi.....	6
3.3 Esitutkimus konenäkötekniikan soveltamisesta hakkuukoneessa .....	6
<b>4 TULOKSET</b> .....	<b>9</b>
4.1 Kuvamittausjärjestelmän kalibrointi.....	9
4.2 Läpimitan mittauksen kalibrointi.....	11
4.3 Esitutkimus konenäkötekniikan soveltamisesta hakkuukoneessa ...	14
<b>5 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT</b> .....	<b>15</b>
<b>KIRJALLISUUS</b> .....	<b>15</b>

## **TIIVISTELMÄ**

Hankkeessa kehitettiin menetelmiä kahden tai useamman kameran kuvamittausjärjestelmän kalibroimiseksi sekä puun pintamallin rekonstruoinniseksi erityisesti metsäolosuhteissa. Konenäkötekniikan soveltamista hakkuukone-mittauksessa hahmoteltiin. Työ tehtiin Teknillisen korkeakoulun fotogrammetrian ja kaukokartoituksen laboratoriossa osana Metsätehon koordinoimaa Puun laadun mittaus ja lajittelu -projektia.

## 1 TAUSTA

Nykyisin puun määrää mitataan metsässä ensisijaisesti hakkuukoneen suoran kontaktin antureilla. Sahoilla on käytössä lasermittaus kuoren päältä ja uutena on tulossa röntgen. Nykyisten menetelmien puutteena on epätarkka kuoreton läpimitta ja röntgenlaitteisto on kallis. Kuvamittaukseen perustuvilla puuta koskettamattomilla optisilla menetelmillä mittauksen tarkkuutta voidaan parantaa ja geometrian lisäksi kuvilta voidaan mitata myös muita laatuominaisuuksia. Runkojen aiempaa tarkempi katkenta hakkuuvaiheessa parantaisi sahausmenetelmän tulosta ja vähentäisi hylättyjen tukkien määrää tehtaalla.

Kuvamittausjärjestelmä muodostuu kahdesta tai useammasta kamerasta ja mahdollisesta projektorista, jolla kohteen pinnalle projisoidaan vastinpisteiden hakua helpottavaa piirteistöä. Järjestelmän kalibroinnissa ratkaistaan kameroiden sisäiset ja keskinäiset orientaatiot. Kun nämä tunnetaan, voidaan kuvilta mitata 3D-tietoa, kuten tukin pituus ja poikkileikkauksen halkaisija, sekä rekonstruoida tukista tarkka kolmiulotteinen pintamalli muun geometrisen laatuominaisuuden määrittämiseksi.

## 2 TAVOITE

Tavoitteena oli kehittää erityisesti metsäoloihin soveltuva menetelmä kahden tai useamman kameran kuvamittausjärjestelmän kalibroimiseksi sekä tehdä esitutkimus konenäkötekniikan soveltamisesta hakkuukoneessa.

## 3 AINEISTO JA MENETELMÄT

Testiaineistona käytettiin Metlan toimittamia pölkkyjä sekä sahalla pölkky-pinoista digitaalikameralla otettuja kuvia.

### 3.1 Kuvamittausjärjestelmän kalibrointi

Kuvamittausjärjestelmän kalibroinnissa ratkaistaan joukko kunkin kameran sisäisiä parametreja sekä kameroiden keskinäiset asemat. Sisäisiä parametreja ovat tavallisesti polttoväli, pääpisteen paikka (polttopisteen kohtisuora projektio kuvatasolle) sekä parametrit linssin piirtovirheiden korjaamiseksi (säde ei kulje suoraan vaan taipuu linssissä). Kameroiden asemat ilmoitetaan yleensä yhteen kameraan sidottuun referenssikoordinaatistoon nähden. Kiertomatriisit, siirtovektorit ja skaalaustekijät ovat tuntemattomia koordinaatistojen välillä.

Kehitetty kalibrointimenetelmä perustuu kolmiulotteiseen kappaleeseen, johon on sijoitettu ympyräkiekon muotoisia koodattuja tähyksiä. Tähysten keskipisteet ja koodit mitataan automaattisesti kultakin kuvalta. Koodi kertoo, mitkä tähykset eri kuvilla ovat vastintähyksiä. Koodattujen tähysten paikantamisen jälkeen mahdollisesti tarvittavat muut tavalliset tähykset voidaan periaatteessa löytää tähysten keskinäisen sijainnin perusteella. Kameroiden sisäiset ja keskinäiset orientaatiot lasketaan vastintähyksistä.

Käytännössä kamerat kalibroidaan tarkasti etukäteen laboratoriossa ja metsäolosuhteissa varmistetaan kalibroinnin säilyminen, mahdollisesti päivitetään osaa sisäisistä parametreista sekä ratkaistaan kameroiden keskinäiset asemat.

### **3.2 Lämpimitan mittauksen kalibrointi**

Pölkyn todellisen läpimitan mittaamiseksi yhdeltä kovalta kehitettiin menetelmä, joka perustuu pölkyn keskilinjaan sijoitettujen tähysten ja kaksiulotteisen projektiivisen muunnoksen käyttöön. Vinosta suunnasta otettu kuva oikaistaan pölkyn keskiviivan määräämään tasoon, jossa katselusuunta on suoraan sivulta. Oikaistusta kuvasta mitataan pölkyn todellinen läpimitta, jossa ei ole vinosta katselusuunnasta aiheutuvaa virhettä. Menetelmässä on otettava huomioon, että vain se osa pölkkyä, joka sijaitsee pölkyn keskilinjalla, on muodoltaan oikea (ts. silhuetti). Kaikki muut osat ovat enemmän tai vähemmän vääristyneet.

Puun pintaan voidaan lisäksi heijastaa laserjuovia, jolloin läpimitan mittaaminen oikaistulta kovalta on helpompaa. Tällaisen järjestelmän kalibroimiseksi luotiin erittäin yksinkertainen ja robusti menetelmä, jolla kuitenkin päästään kohtuullisiin tarkkuuksiin. Menetelmä perustuu kaksiulotteiseen projektiiviseen muunnokseen, jolla kameralle näkyvästä laserjuovasta poistetaan perspektiivin aiheuttama ”vääristymä”. Yksinkertaisimmillaan menetelmä vaatii neljän pisteen keskinäisen sijainnin tuntemista laserjuovan määrittämässä tasossa.

### **3.3 Esitutkimus konenäkötekniikan soveltamisesta hakkuukoneessa**

Esitutkimuksessa ideoitiin kameroiden ja kalibrointipisteistön sijoittelua hakkuukoneeseen sekä kehitettiin menetelmää puun kolmiulotteisen pintamallin rekonstruoinniseksi stereokuvilta.

Pintamallin rekonstruoinnissa kameroiden sisäiset ja keskinäiset orientaatiot oletetaan tunnetuksi. Kuvilta etsitään vastinpisteitä joko puunpinnan omien piirteiden tai pinnalle projisoidun tekstuurin avulla. Vastinpisteiden kuvaus-  
säteet leikataan kolmiulotteisessa avaruudessa ja leikkauspisteistä muodostetaan kohdetta kuvaava pintamalli.

Vastinpisteiden haku perustuu kuvakorrelaatioon. Stereokuvauksen normaalitytapauksessa vastinpisteet sijaitsevat kuvilla samalla rivillä. Parhaan korrelaation selvittämiseksi kaikki kuva-alkiot käydään läpi koko kuvan leveydeltä. Koska kuvakorrelaatio perustuu pelkästään harmaasävyjen vertaamiseen pienellä kuva-alalla, se ei pysty ottamaan huomioon esimerkiksi valaistuksen vaihtelua sovitettavien kuvapalojen kesken. Tämä on keskeinen puute ko. menetelmän soveltamiseksi vaihtelevissa kuvausolosuhteissa kuten

esimerkiksi metsäympäristössä. Toisaalta myös puun kolmiulotteisen muodon mittaamiseen joudutaan ottamaan useita tällaisia kuvapareja, koska yhdeltä stereokuvaparilta voidaan ratkaista vain varsin pieni osa puunpintamallista. Näiden stereokuvaparien keskinäinen asema toisiinsa nähden on tällöin tunnettava, jotta malli voidaan muuntaa yhteiseen koordinaatistoon.

Tutkimuksessa selvitettiin ja osittain toteutettiin kuvamittausmenetelmää, jolla voidaan mitata puunpinnan muotoa konvergenttikuvilta. Menetelmässä ei käytetä kuvakorrelaatiota vastinpisteiden löytämiseen kuvilta, vaan menetelmä perustuu pienen kuvapalan harmaasävyjen sovittamiseen kuvilla. Matemaattinen malli perustuu geometrisen kuvamuunnoksen (kaava 1) ja PNS (Pienimmän NeliöSumman) sovitukseen. Mallissa voidaan toisaalta ottaa huomioon sovitettavien kuvien väliset radiometriset erot (kaava 2), jotka useimmiten johtuvat valaistuksesta. Toisaalta myös perspektiivisyyden vaikutus voidaan huomioida soveltamalla oikeantyyppistä geometrista mallia. Tällöin kuvapalojen geometrisena kuvamuunnoksena voidaan käyttää affiinista muunnosta (kaava 3), joka approksimoi perspektiivisyyden vaikutusta. Affiininen malli on useissa tapauksissa riittävä, sillä projektiivisen muunnoksen liittäminen malliin voisi johtaa yliparametrisointiin.

$$f(x, y) - e(x, y) = g(x, y)$$

*Kaava 1. Funktionaalinen malli.*

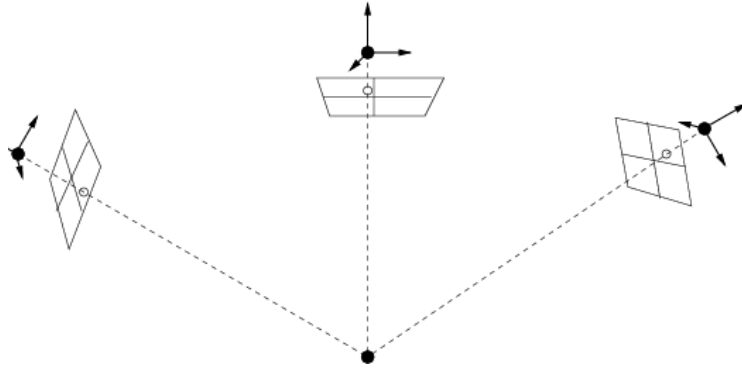
$$f(x, y) - e(x, y) = g^0(x, y) + r_s + g^0(x, y)r_t$$

*Kaava 2. Radiometrinen malli.*

$$\begin{cases} x = a_{11} + a_{12}x_0 + a_{21}y_0 \\ y = b_{11} + b_{12}x_0 + b_{21}y_0 \end{cases}$$

*Kaava 3. Affiininen muunnos.*

Matemaattinen malli, joka yhdistää harmaasävyjen interpoloinnin ja geometrisen muunnoksen, on parametriensa suhteen epälineaarinen. Tämä taas johtaa iteratiiviseen ratkaisumalliin. Tällöin tarvitaan likiarvoja ratkaistaville geometrisen muunnoksen parametreille (lähinnä vastinpisteiden likimääräinen sijainti). Kuvasovitusmenetelmä tuottaa ratkaisun osapikselitarkkuudella, mikä näin ollen tuottaa tarkempia kuvahavaintoja kuin kuvakorrelaatioon perustuva menetelmä. Myös konvergenttikuvauksella (kuva 1) kuvasovitusmenetelmänä on osoitettu olevan parempi tarkkuus kohdekoordinaattien mittaamisessa kuin stereokuvapareihin pohjautuvalla menetelmällä.

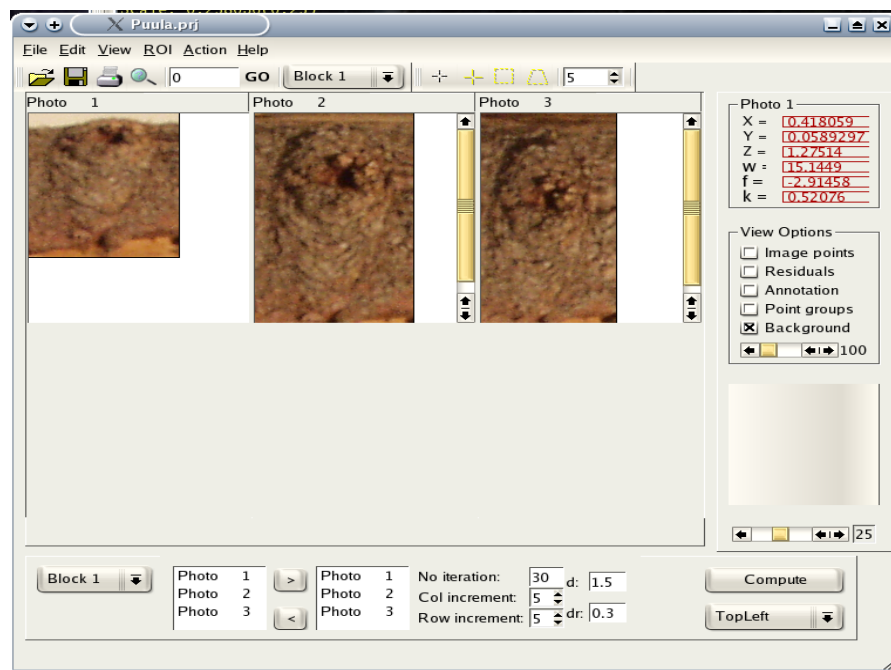


**Kuva 1.** Konvergenttikuvauksen periaate.

Edellisen kuvasovitusmallin lisäksi kehitystyössä ohjelmoitiin usean kuvan yhtäaikaista pakotettua kuvayhteensovitususta. Useammalta kuvalta tehtävässä samanaikaisessa kuvayhteensovituksessa voidaan käyttää kuvien orientointitietoa hyväksi ohjaamalla näin yhteensovitususta. Tällöin voidaan puhua pakotetusta monikuvayhteensovituksesta MPGC (Multi Photo Geometric Constrained matching) (epipolaaripakko, kollineaarisuusehto). Mallia on aiemmin kehitetty Zürichin teknillisessä korkeakoulussa (ETH) (Gruen ja Baltsavias 1985, Baltsavias 1991), mutta varsinaisia sovelluksia ei ole kuitenkaan laajemmin kehitetty. Mallissa ratkaistaan samanaikaisesti niin vastinpisteiden paikat kuvilla kuin kohdepisteen kolmiulotteiset koordinaatit. Pakkoyhtälöiden tarkoituksena on stabiloida ja nopeuttaa ratkaisun konvergointia kuvayhteensovituksessa. Menetelmän etuna voidaan pitää sitä, että 3D-koordinaatit ovat suoraan samassa koordinaatistossa eikä ylimääräisiä koordinaattimuunnoksia tarvitse suorittaa lopullisen pintamallin rekonstruoinnissa.

Kuvamittausta kehitettiin Linux RedHat 9.0 -ympäristössä hyödyntäen Qt-graafisia kirjastoja. Kehitystyössä pystyttiin hyödyntämään osin aiemmin TKK:lla tehtyjä kuvamittaus- ja PNS-estimointityökaluja. Tätä työtä varten ohjelmoitiin monikuvayhteensovitusmalli (MPGC), joka toteuttaa edellä esitetyt pakkoyhtälömallit. Kuvayhteensovitus oli alun perin tarkoitus kokeilla pienellä kuva-alalla, mitä varten ohjelmoitiin interaktiivinen työkalu, jolla pystytään rajaamaan operaatio halutuille kuva-alueille (kuva 2). Menetelmää ei ole vielä päästy testaamaan, koska menetelmän vaatimia alkulikiarvoja tuottava algoritmikehitys on kesken. Alkulikiarvoja tarvitaan periaatteessa vain mittarivien ensimmäisten pisteiden mittaamiseksi. Tämän jälkeen voidaan periaatteessa hyödyntää edellisen sovituksen tuottamia 3D-koordinaattiarvoja uuden pisteen likiarvoina. Tällöin siis oletetaan, että pinta on jatkuva eikä tukin pinnalla esiinny jyrkkiä korkeusvaihteluja suhteessa kuvausetäisyyteen. Menetelmä vaatii paljon laskentakapasiteettia, mutta se on varsin hyvin muunnettavissa hyödyntämään rinnakkaislaskennan tarjoamia apukeinoja laskenta-ajan lyhentämiseksi.





**Kuva 2.** Havainnekuva MPGC-kuvayhteensovituksen ohjelma-työkalusta.

## 4 TULOKSET

### 4.1 Kuvamittausjärjestelmän kalibrointi

Kuvamittausjärjestelmän kalibroinnin osalta testattiin erityisesti koodattujen tähysten mittausta, arvioitiin menetelmän tarkkuutta ja ideoitiin kalibrointi-kappale viranomaismittauksiin.

Kuvassa 3 on esimerkki koodatusta tähyksestä. Tähyksen keskiosa on valmistettu heijastavasta materiaalista. Kun kohdetta valaistaan kamerasuunnasta, lisääntyy tähyksen keskiosan kirkkaus muita kuvassa näkyviä kohteita enemmän (kuva 4). Ottamalla kaksi kuvaa, ilman valaistusta ja valaistuksen kanssa, ja vähentämällä nämä kuvat toisistaan saadaan kuva, jossa tähyksen keskiosat erottuvat hyvin (kuva 5). Tähyksen keskiosan soikeuden perusteella voidaan päätellä, missä tähyksen tunnistamiseksi tarvittava koodi on kuvalla (kuva 6). Muutaman testin perusteella vinostikin kuvattu tähyksen tunnistettavissa, kunhan sitä ei ole kuvattu liian vinosta. Nyrkkisääntönä tähyksen vinoudelle voidaan pitää sitä, että tähyksen pyöreä keskiosa ei saa näyttää kuvalla ellipsiltä, jonka lyhyempi puoliakseli on alle puolet pitemmästä puoliakselista.



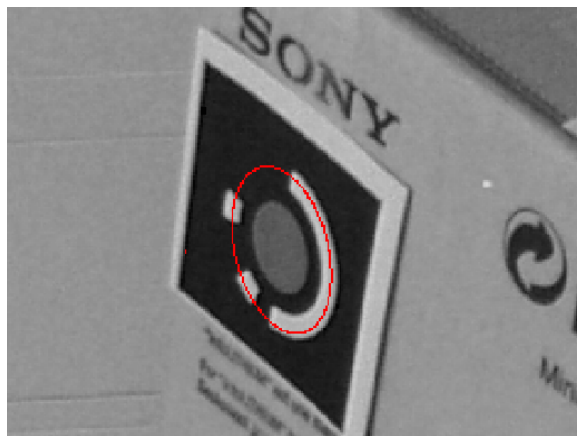
**Kuva 3.** Tähts ilman valaistusta.



**Kuva 4.** Tähts valaistuna.



**Kuva 5.** Kuvien 3 ja 4 erotuskuva.



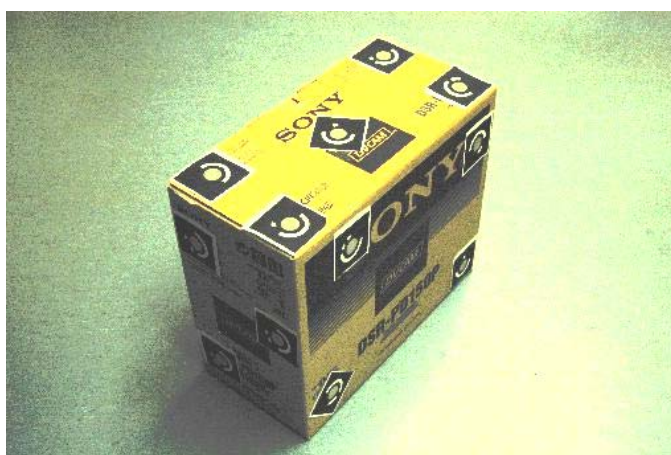
**Kuva 6.** Kehä, jolta koodi luetaan.

Kalibroinnin tarkkuuden riippuvuutta kalibroitikappaleen etäisyydestä, tähtysten keskinäisestä sijainnista ja tähtysten mittaustarkkuudesta tutkittiin generoimalla simuloituja mittaustuloksia tietokoneella. Simulointeja tehtiin tapauksissa, joissa mitattava kappale oli 2 - 6 metrin etäisyydellä kamerasta. Kuvamittausten keskivirhe oli 0,5, 0,25 ja 0,125 pikseliä, jolloin vastaavat maksimivirheet olivat 2,3, 1,1 ja 0,6 pikseliä. Kuvakoko oli 1 000 x 1 000 pikseliä ja kameran polttoväli 1 200 pikseliä. Sekä mittaukset kameroiden keskinäisen aseman määrittämiseksi että itse kohteen mittaus oletettiin tehtävän samalla tarkkuudella, vaikka todellisuudessa kameroiden kalibrointitähysten mittauksissa päästäneen parempiin tarkkuuksiin kuin itse kohteen mittauksessa. Jokaista tapausta varten tehtiin 1 000 eri simulointia ja niiden tulokset on esitetty taulukossa 1.

**TAULUKKO 1** Mittausten keskivirheet eri etäisyyksillä ja eri kuvamittaustarkkuuksilla. Tapaus 1 vastaa 0,5, tapaus 2 0,25 ja tapaus 3 0,125 pikselin tarkkuudella tehtyjä kuvamittauksia (vrt. teksti).

Etäisyys	Tapaus 1	Tapaus 2	Tapaus 3
2 m	2,2 mm	1,1 mm	0,5 mm
3 m	3,6 mm	1,8 mm	0,9 mm
4 m	5,5 mm	2,8 mm	1,3 mm
5 m	7,9 mm	3,9 mm	2,1 mm
6 m	9,9 mm	4,9 mm	2,3 mm

Metlan toimittaman kuva-aineiston perusteella ideoitiin, miten pölkkypinojen kuvaus pitäisi tehdä viranomaismittauksissa sahalla. Kamera on kalibroitava ja kuvauskohteessa mittakeppien ja lattojen sijaan kohteeseen kannattaisi viedä jokin tunnettu 3D-kappale (kuva 7), jonka perusteella kameroiden asemat voitaisiin ratkaista ja mittaukset suorittaa perinteisesti eteenpäinleikkaamalla vähintään kahdelta kuvalta.



**Kuva 7.** Mahdollinen kalibrointikappale viranomaismittauksiin.

## 4.2 Lämpimitan mittauksen kalibrointi

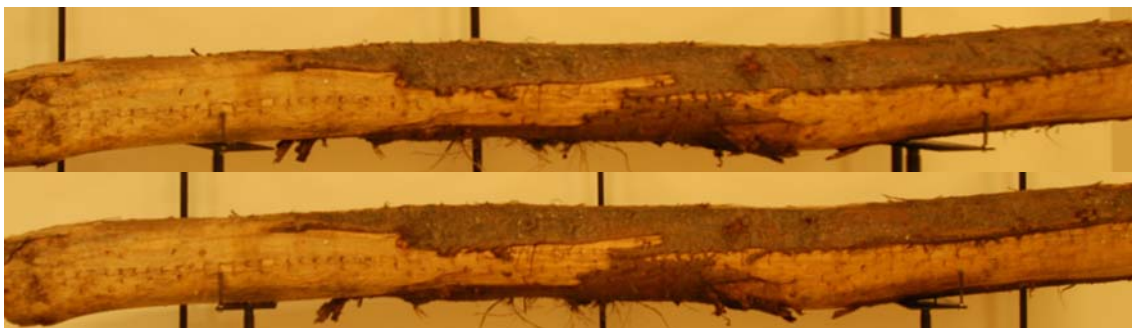
Pölkyn reunaviivaan perustuvan läpimitan mittauksen kalibrointia testattiin Metlan toimittamilla pölkyillä. Kuvissa 8 ja 9 näkyvien tankojen päissä sijaitsevat kalibrointitähkykset asetoitiin tarkasti pölkyn keskiviivan määräämään tasoon. Vinosta suunnasta otettu kuva oikaistiin tähyksen avulla suoraan sivusta otetuksi (kuva 10). Oikaistulta kuvalta mitattiin pölkyn läpimita, jonka oikeellisuus varmistettiin vertailumittauksella. Vain pölkyn keskiviivan määräämä taso on oikeassa mittakaavassa (esim. pölkyn alareunassa näkyvä kaarna on siirtynyt todelliselta paikaltaan verrattaessa kuvan 10 ylä- ja alakuvaa).



**Kuva 8.** Pölkky kuvattuna etuviistosta.

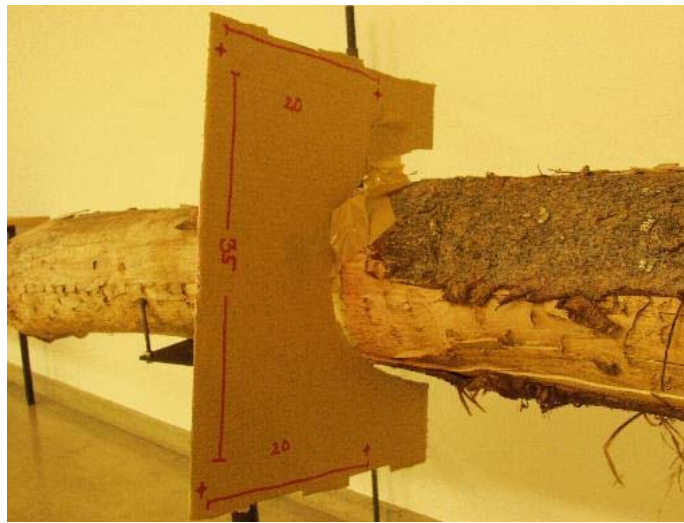


**Kuva 9.** Pölkky kuvattuna sivusta.

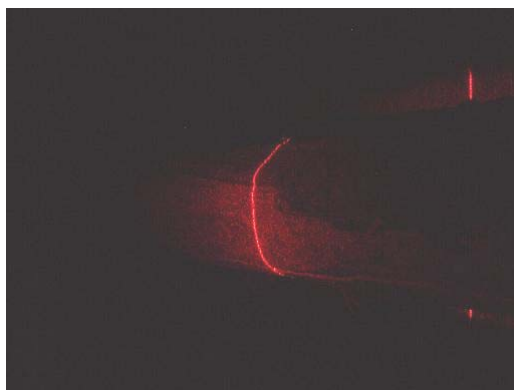


**Kuva 10.** Ylemmässä kuvassa vinosti kuvattu pölkky oikaistuna siten, että se vastaa kohtisuoraan kuvattua pölkkyä (alla).

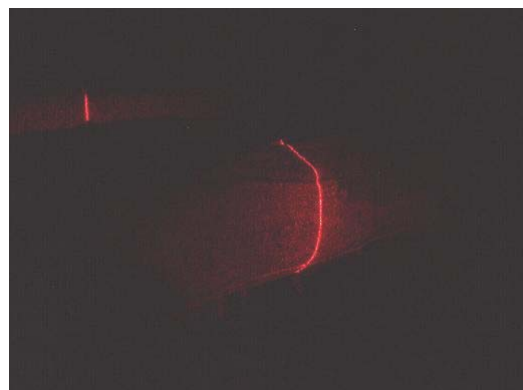
Pölkyn poikkileikkauksen mittaamista laserjuovan avulla testattiin kuvan 11 mukaisella alkeellisella kalibrointimenettelyllä, jolla päästiin jopa muutamman millimetrin tarkkuuksiin. Laserin määrittämään tasoon asetettiin pahvilevy, johon merkittiin neljä sijainniltaan tunnettua pistettä. Tämä kalibrointikappale kuvattiin kameralla kahdesta eri suunnasta. Tämän jälkeen pölkkyä valaistiin laserjuovalla ja kuvattiin uudestaan kameralla kahdesta eri suunnasta (kuvat 12 ja 13). Kuvilta irrotetut juovat oikaistiin samaan koordinaatistoon. Kuten kuvasta 14 nähdään, eroavat eri mittaukset toisistaan maksimissaan pari millimetriä, ja ottaen huomioon koejärjestelyjen ”karkeuden” on tulos rohkaiseva.



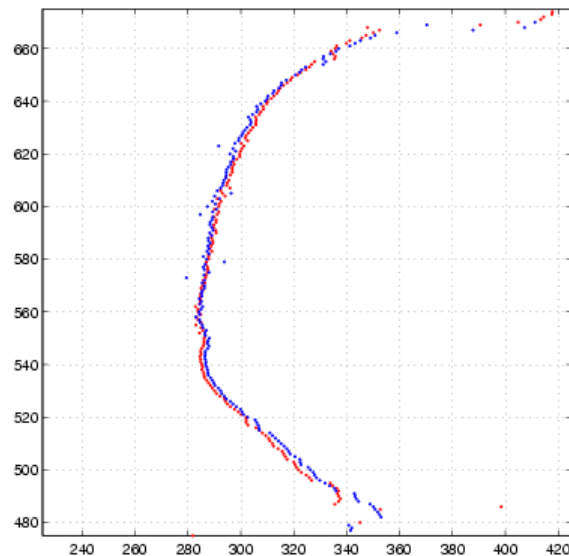
**Kuva 11.** Kalibrointijärjestely.



**Kuva 12.** Oikealta otettu kuva.



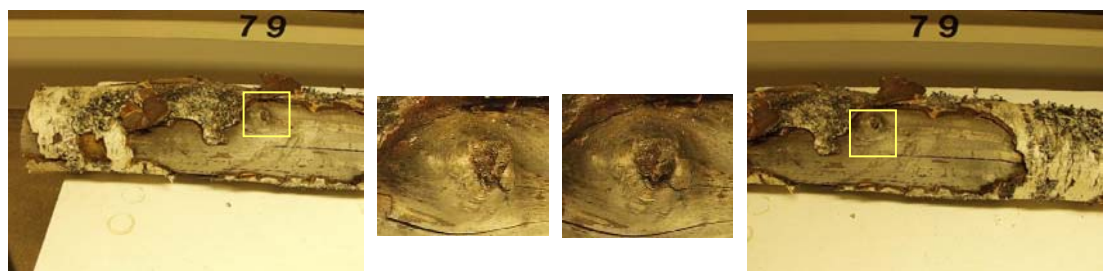
**Kuva 13.** Vasemmalta otettu kuva.



**Kuva 14.** Molemmat profiilit oikaistuna samaan koordinaatistoon.

### 4.3 Esitutkimus konenäkötekniikan soveltamisesta hakkuukoneessa

Puun pintamallin rekonstruoinnin osalta testattiin kuvakorrelaation toimivuutta. Kuvakorrelaatiolla pystyttiin mittaamaan vastinpisteiden sijainti kuvilla ja ratkaisemaan pisteen kolmiulotteinen asema. Kuvakorrelaatio toimi varsin hyvin tapauksissa, jolloin kohdepinta oli jossain määrin kohtisuorassa kuvaussuuntaa vastaan ja kuvapari oli otettu varsin lähekkäin toisiaan, jolloin kuvakanta oli lyhyt. Katso kuvaa 15.



**Kuva 15.** Stereokuvapari koivutukista. Sovitettava kuvapari vasemmalta ja oikealta kovalta.

Kuvatekniikan soveltamista hakkuukonemittauksessa ideoitii ja kirjattiin tutkimussuunnitelmaksi jatkohanketta varten. Metsäolosuhteissa mittausjärjestelmä voisi muodostua kahdesta kamerasta ja tekstuuriprojektorista, jotka asennettaisiin suojattuihin koteloihin hakkuukoneen hytin katolle. Kalibrointipisteistönä olisi hakkuupäähän maalatut viisi koodattua tähystä, jotka muodostavat kolmiulotteisen kehikon. Pituus ja läpimitat mitattaisiin pyörittämällä tukkia erillisellä telineellä tai hakkuupäässä kääntelemällä.

## 5 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Hankkeessa kehitettiin metsäolosuhteisiin soveltuva menetelmä kameraparin kalibroimiseksi sekä tehtiin esitutkimus kuvatekniikan soveltamisesta hakkuukoneessa.

Kalibroinnissa kehitettiin algoritmit koodattujen tähysten automaattiseksi mittaamiseksi yhdeltä kovalta ja vastintähysten tunnistamiseksi useammalta kovalta. Tähysten avulla määritettiin kameroiden sisäiset parametrit sekä kameroiden keskinäinen orientaatio. Laboratoriotesteissä menetelmä antoi tarkkoja tuloksia. Jatkossa tehdään kenttäkokeet hakkuukoneen yhteydessä, jolloin saadaan tietoa kalibroinnin päivityksen tarpeesta erityisesti hakkuukoneen tärinän vuoksi.

Esitutkimuksessa suunniteltiin ja ohjelmoitiin kuvien yhteensovitukseen perustuvaa menetelmää yhtenäisen puun pintamallin rekonstruoinniseksi ja geometrisen laatutiedon mittaamiseksi konvergenttikuvilta. Tehtävässä kahdelta tai useammalta kovalta etsitään yhteisiä vastinpisteitä aluepohjaisella yhteensovituksella ja samassa sovitustehtävässä ratkaistaan kohdepisteen 3D-koordinaatit. Näitä tehtäviä varten ohjelmoitiin vastinpisteiden haku aluepohjaisella harmaasävyjen yhteensovituksella aluksi kuvakorrelaatiolla ja lopuksi PNS-tasoituksella, kameroiden ulkoisten orientaatioiden ratkaisu vapaalla tasoituksella, kohdealueen interaktiivinen rajaus kovalta monikulmiopistein sekä vastinpistejoukon automaattinen mittaaminen rajatulta alueelta. Kuvayhteensovituksessa ratkaistavien parametrien alkulikiarvojen määrittäminen vaatii vielä jatkokehitystä. Ohjelmoidut toiminnot testattiin Metlan toimittamilla pölkyillä.

Jatkossa pintamalleja voitaneen käyttää tukin laatuominaisuuksien kuten oksaisuuden, lenkouden tai soikeuden määrittämiseen. Myös puunkuoren paksuus voidaan mahdollisesti ratkaista alueilla, joissa kuori on osin poistettu tai irronnut. Digitaalikuviin perustuva kuvamittaus tuottaa myös varsin yksityiskohtaista kuva-aineistoa tukkien pinnasta, jota voitaneen hyödyntää määrittäessä puun muuta ominaisuustietoa esim. tekstuurianalyysin avulla.

## KIRJALLISUUS

**Gruen, A. and Baltasvias, E.P.** 1985. Adaptive least squares correlation with geometrical constraints. Proc. SPIE 595, pp. 72-82.

**Baltasvias, E.P.** 1991. Multiphoto geometrical constrained matching. PhD Thesis. Miteilungen 49, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zürich. 221 pages.