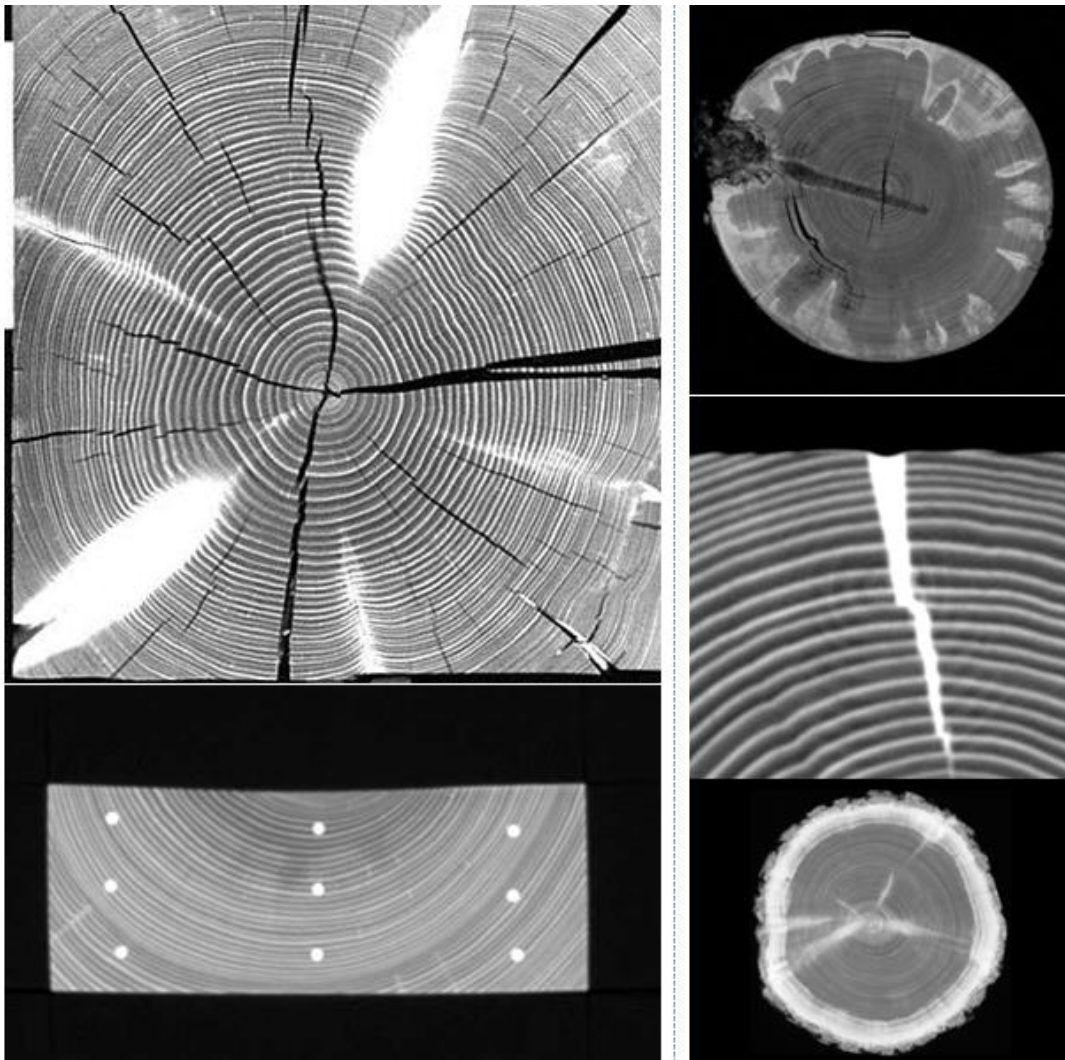




# Datortomografi som metod för utveckling av byggkomponenter av trä

*Slutrapport*

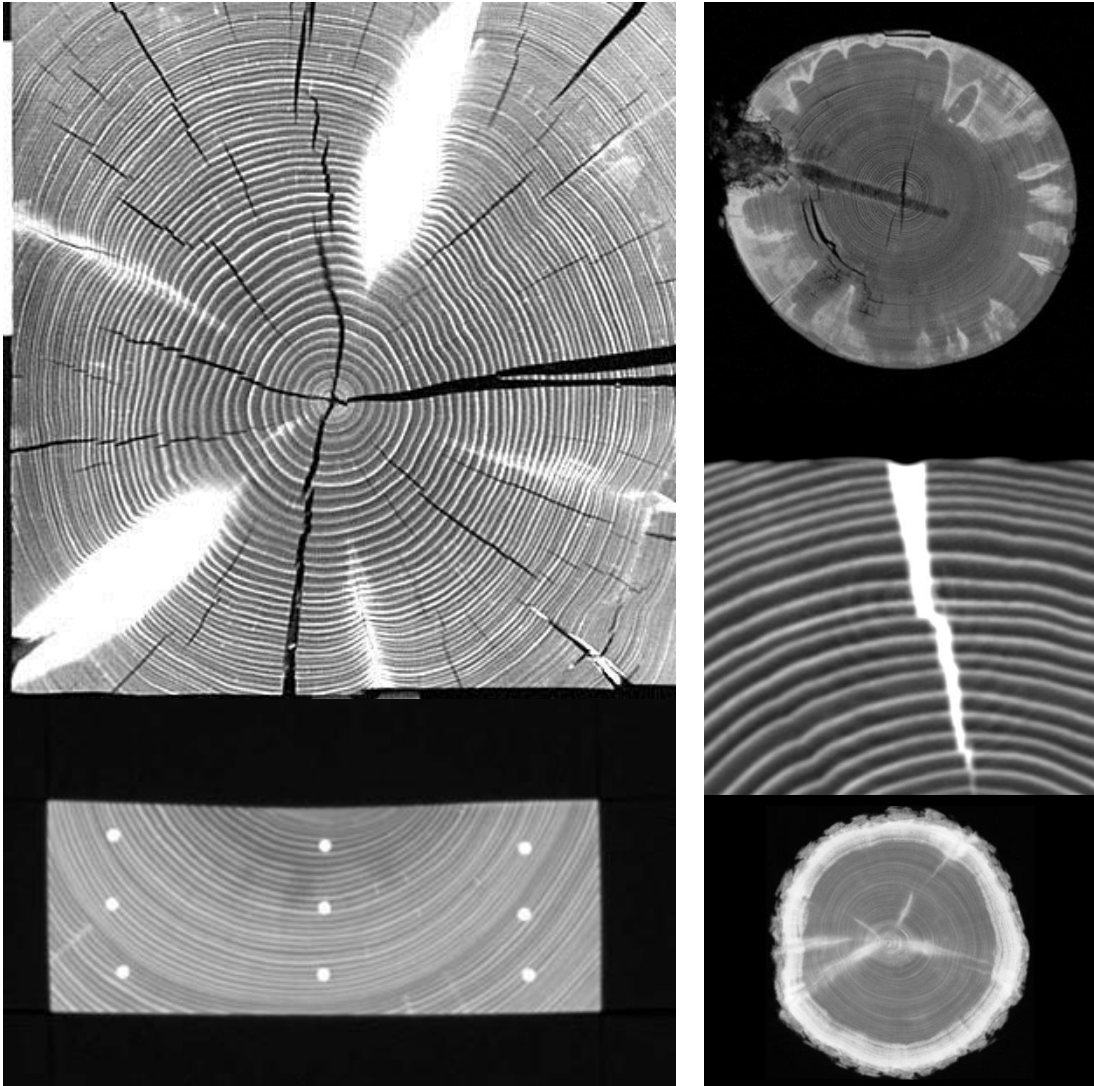


Karin Sandberg, Owe Lindgren, Anders Gustafsson

# Datortomografi som metod för utveckling av byggkomponenter av trä

Karin Sandberg, Owe Lindgren, Anders Gustafsson

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut



# Datortomografi som metod för utveckling av byggkomponenter av trä

Karin Sandberg, Owe Lindgren, Anders Gustafsson **SP**

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut  
Box 857, 501 15 Borås (huvudkontor )

© 2013 SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

SP Report 2013:63  
ISSN 0284-5172

## Förord

TCN (TräCentrum norr) har mellan 2006-2012 drivit ett beständighetsprogram där detta projekt ”Datortomografi som metod för utveckling av byggkomponenter – del 2” har ingått. För att undersöka möjligheterna att använda datortomografi för vidareutveckling av byggprodukter initierades en förstudie; ”Samverkan mellan trä och metall i utomhuskonstruktioner” (Sandberg et al 2009). Därefter fortsatte arbetet med nya aspekter där metoden att använda datortomografi och bildbehandling för att mäta förändringar i byggprodukter i trä på ett oförstörande sätt t.ex. har vatteninträning, och lagning av sprickor undersökts (Sandberg et al. 2010). I denna rapport beskrivs metodutveckling av tomografering och bildbehandling för byggprodukter, tillämpningsområden och begränsningar.

Tillsammans med träindustrin har SP Trä och Luleå tekniska universitet (LTU) i Skellefteå utvärderat användning av datortomografi och bildbehandling för att kunna användas till sammansatta komponenter i olika tillämpningar påverkande av varierande yttre klimat. Projektet har finansierats av TCN som är en centrumbildning vid Luleå tekniska universitet i Skellefteå och finansieras av deltagande träindustrier i Norr- och Västerbotten tillsammans med medel från EU Mål 1 och Länsstyrelserna samt Skellefteå och Piteå kommun.

Ett stort tack till alla som har deltagit och bidragit till att projektet kunde genomföras. Industrin har bidragit med värdefull information med avseende på konstruktioner, prototyp tillverkning och praktiska tillämpningar. Ett speciellt tack till de personer som aktivt har bidragit i projektet, Anders Gustafsson (SP Trä), Birger Marklund (LTU), Per Lundgren (Martinsons Byggsystem Umeå), Eric Borgström (Setra Långshytte Limträ), Åke Persson, (Setra Långshytte Limträ), Göran Berggren (SP Trä), Mattias Sunesson (Setra Långshytte Limträ).

Skellefteå den 18 december 2013

Karin Sandberg  
Projektledare SP Trä

Owe Lindgren  
Professor LTU

Anders Gustafsson  
SP Trä

## Sammanfattning

Syftet med projektet är att undersöka om datortomografi är en metod för framtida utvärdering av byggprodukter av trä, för att uppnå bättre beständighet och utförande av träkonstruktioner. Datortomografi (CT-skanning) är en oförstörande provningsmetod som gör det möjligt att i bilder studera insidan av trä visuellt. Vedens densitet framträder i bilden som en gråskala där intensiteten är proportionell mot densiteten. Inriktningen på projektet är att fastställa mättekniska grunderna för att tomografera och använda bildbehandling på sammansatta träprodukter. Fördelen med oförstörandemätmetoder är det möjligt att följa objekt under en tid under olika yttre förändringar som t ex fuktbelastning.

Detta arbete innefattar såväl teori, vad som är mättekniskt möjligt, en experimentell del för att ge svar på vad som händer och med vilken detaljeringsgrad man kan följa förändringarna.. En tillämpad del där olika ”mätmetoder” studeras i fallstudier. Framförallt har mätmetoder för sprickor utvecklats och innefattar tredimensionell gestaltning av sprickor och förbättring av upplösningen i bilderna. Mätning av fukt i bilderna har utvecklats med programvaran ImageJ och MatLab. Arbetet omfattar även fallstudier där tomografering och bildbehandling har använts på ett nytt sätt.

Några områden där tomografering kan användas:

- Fuktbalans i trä och ytbehandling, vad innebär skador på tätskiktet? Hur stor är inverkan av material och ytbehandling etc.
- Förband och infästningar i bl.a. fasadsystem och fuktvandringens inverkan.
- Lagning av sprickor och utförande, hur gör man det på bästa sätt för att erhålla bästa utfyllnaden i sprickan.
- Testa hur fungerar olika konstruktionslösningar t ex droppnäsor under inverkan av vatten?
- Undersöka hur fuktvandring sker i produkter under en längre tid t.ex. utomhusexponering och hur det påverkar sprickbildning och delaminering.

## Abstract

The purpose of this project has been to investigate whether computed tomography (CT) Scanning can be a method suitable for future evaluations of wooden constructions to achieve a better durability and design of wood products. CT-scanning is a non-destructive test method that makes it possible to study images of the inside of wood visually. Wood density variations are presented in a gray scale where the intensity is proportional to density. The objective of the project has been to find the limitations in measurements to scan and use image processing on mixed wood products. The largest advantage using a non-destructive test method is that it is possible to follow test objects for a longer time during i.e. in changes like moisture changes.

This work includes as well as theory, what is possible to measure, an experimental part that describes what happens and in what detail changes can be followed. The applied part was performed in different case studies. Above all how to measure cracks has been developed and this includes 3-D presentations of cracks and improvement of image resolution. Moisture measurements have been developed in the softwares Image J and MatLab.

Some areas where CT-scanning can be used under these prerequisites are:

- Moisture balance in wood and surface coatings, i.e. how do damages in the surfaces affect moisture movements? What is the influence of different coating systems?
- The impact on moisture movement in facadesystems due to nails and screws or other fastening systems.
- How to repair cracks to achieve best results and degree of filling of the cracks.
- How do different design systems affect moisture movement.
- Investigations of moisture movements occurs in different products during a longer time span i.e. outdoor exposure and how this affects crack formation and delamination's.

Key words: CT scanning computed tomography, Crack, Glulam, Image processing, reconstruction algorithm, moisture content, resolution

# Innehållsförteckning

## Förord 3

<b>Sammanfattning</b>	<b>4</b>
<b>Abstract</b>	<b>5</b>
<b>Innehållsförteckning</b>	<b>6</b>
<b>1 Inledning</b>	<b>7</b>
1.1 Bakgrund	7
1.2 Datortomografi	8
1.3 Målsättning och inriktning	8
<b>2 Mättekniska förutsättningar</b>	<b>9</b>
2.1 Bildbehandling	9
2.2 Mätbrus	10
2.3 Kantrekonstruktion	10
2.4 Inverkan av provkroppens storlek på CT-talet	11
<b>3 Trä och metall</b>	<b>12</b>
<b>4 Sprickmätningar</b>	<b>13</b>
4.1 Val av algoritm för bästa rekonstruktion av sprickor	14
4.2 Mätning av sprickbredd	15
4.3 Sprickor i 3D-modeller	16
4.4 Dubblering av datotomografens upplösning genom "stitching"	16
<b>5 Fuktmätning</b>	<b>16</b>
5.1 Fuktkvotmätning – utveckling av programvara ImageJ	16
5.2 Fuktkvotmätning nära aluminiumytor	16
<b>6 Tillämpning</b>	<b>18</b>
6.1 Bestämning av sprickdjup och sprickutbredning med två metoder	18
6.2 Lagning av sprickor i trä	19
6.3 Tomografering av balkar från Lejonströmsbron	20
6.3.1 Resultat från tomografering	21
6.3.2 Resultat från hållfasthetsprovning	21
6.4 Årsringsorienteringens inverkan på sprickor i limträbalkar	22
6.5 Sprickors inverkan på skjuvhållfastheten	23
6.6 Vattenupptagning i sprickor i limträbalkar	24
6.7 Håltagningar i trä och vattenupptagning	26
6.8 Detektering av röta i telefonstolpar.	26
<b>7 Begränsningar och möjligheter</b>	<b>27</b>
<b>8 Referenser</b>	<b>28</b>



# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Möjligheten att tomografera konstruktionsdelar kan leda till bättre utsikter att förutsäga träkonstruktionens bärförmåga och beständighet i utomhusprodukter. Inslitsade plåtar, utformning av tätningar, dymlingar, inlimmade stänger är några exempel där klimatpåverkan har stor betydelse (Bengtsson & Johansson 2002, Riberholt 1986, Eurokod 2004). Utomhuskonstruktioner av trä är i regel sammansatta av flera material, till exempel kan ett fönster bestå av trä, glas och aluminium. För att hålla samman olika delar av trä och andra material används olika typer av förband. Vanliga delar i ett förband i kombination med trä är spik, skruv, metallplåtar, bleck eller lim.

Under brukstiden utsätts förbanden vanligen för väderexponering, vilket medför fuktinducerade rörelser på grund av krympning och svällning i trä. Rörelserna kan långsiktigt reducera funktionen hos förbandet genom försämrade vidhäftning, korrosion och sprickbildning. Genom att bättre kunna förutsäga långtidspåverkan av yttre miljö kan säkrare och effektivare förband utformas och ge ökade möjligheter till högre utnyttjandegrad av konstruktioner. Att använda datortomografi tillsammans med bildbehandling är ett sätt att möjliggöra att se på dessa förändringar i tre dimensioner. Ett problem är att röntgenstrålningen i datortomografer inte kan genomtränga stål och beräkningsalgoritmerna är framtagna för röntgen av kroppar som har mjuka former och inte raka linjer. Därför genomfördes en studie av detta (Sandberg et al 2009) som visade att det var möjligt att tomografera trä och aluminiumdetaljer med olika former på ett tillförlitligt sätt. Problem som följer på grund av geometrisk form, håligheter, kantkonstruktion kan övervinnas. När man använde Shepps rekonstruktionsalgoritm, kunde en mätnoggrannhet av  $\pm 2 \text{ kg/m}^3$  i en volym av  $1 \times 1 \times 5 \text{ mm}^3$  med 95 % signifikansnivå förväntas vid mätningar inuti en provkropp av trä. Detta motsvarar en mätnoggrannhet av  $\pm 1 \%$  i fuktkvot i motsvarande volym.

Vid mätning av fuktkvot i trä uppstår ett annat problem eftersom provbitarna ändrar dimension på grund av krympning och svällning. För att beräkna fuktkvoten efter tomografering måste densitetsbilderna transformeras med ett bildbehandlingsprogram så att pixlarna från olika bilder och tider stämmer med varandra (Lindgren 1992, Danvind 2001, Sandberg 2006). Problemet är att mätmetoden som utvecklades för t.ex. fuktkvot med tomografering och bildbehandling innebär en långsam hantering och passar bäst för forskning, dessutom är inte metoden anpassad till byggprodukter. För att hantera rörelser och deformationer mellan de olika byggkomponenterna krävdes en metodutveckling, eftersom det råder en stor komplexitet vad gäller att kunna hantera tomografibilder vid olika tidpunkter, positioner i objekten, förändringar i riktningar, olika materialkombinationers inverkan etc. Mätosäkerheten för processen att tomografera, bildbehandla och beräkna fuktkvoten måste fastställas men även för deformationer och sprickor. Genom att utveckla och beskriva ”metoder” för hur mätningar skall genomföras är det möjligt använda tomografi tillsammans med bildbehandling vid nya applikationer exempelvis vid utveckling av nya byggprodukter. Detta arbete har genomförts och avrapporterats i projektet (Sandberg et al 2010) samt i detta projekt. Arbetet har genomförts som ”fallbeskrivningar” med en tillämpad del och en teoretisk fördjupningsdel. Denna rapport består av två delar; där den första sammanfattar den första delen av arbetet och i den andra delen har särskild vikt lagts på sprickor i trämaterial och särskilt inriktat mot möjligheten att mäta sprickor, upplösning, noggrannhet och även utfyllnadsgrad vid spricklagning.

## 1.2 Datortomografi

Datortomografi (CT-skanning) är en oförstörande provningsmetod som gör det möjligt att i bilder studera insidan av trä visuellt. Vedens densitet framträder i bilden som en gråskala där intensiteten är proportionell mot densiteten. Tillsammans med bildbehandling är det därför möjligt att mäta och bearbeta data från bilderna. Begränsningen i upplösning ligger för datortomografer i avbländningen av strålkälla, detektorernas storlek samt fokallängd (Lindberg et al 1990).

Vid tomografering skickas röntgenstrålar under rotation genom föremålet och på motsatta sidan detekteras intensiteten av absorptionen. Efter rotationen beräknas ett stort antal av absorptionskoefficienter ut och bilden beräknas med hjälp av matematiska algoritmer. För att absorptionskoefficienterna från detektorernas utsignal skall vara möjliga att använda vid databehandling omvandlas dessa till sk CT-tal (Herman 1980). Den beräknade linjära röntgenkoefficienten är normaliserande mot absorptionskoefficienten för vatten  $\mu_{\text{water}}$  och absorptionskoefficienten för det testade materialet  $\mu_x$  se ekvation (1).

$$CT - number = 1000 \times \frac{[\mu_x - \mu_{\text{water}}]}{\mu_{\text{water}}} \quad (1)$$

Genom att varje CT-tal får ett specifikt gråvärde som visas som densitetsvariationen i bilderna kan utvärdering med bildbehandling utföras. Utifrån ett antal projektioner byggs en tvådimensionell genomskärningsbild av provobjektet upp. De enskilda bilderna byggs upp av bildelement (pixlar) som representerar en volym med en viss bredd på röntgenstrålen. Genom att sammanställa flera bilder längs med provbiten kan tredimensionella avbildningar eller rekonstruktioner byggas upp.

## 1.3 Målsättning och inriktning

Visionen är att skapa riktlinjer och rekommendationer som förbättrar utformning och utförande av träkonstruktioner och därigenom uppnå bättre hållbarhet och utförande för utomhusprodukter av trä.

Syftet med projektet är att undersöka om datortomografi och bildbehandling är en metod för framtida utvärdering av byggprodukter, för att uppnå bättre hållbarhet och utförande av träkonstruktioner.

Målet är att utveckla metoder för att detektera, mäta och fastställa mätosäkerheten för fukt- och deformationsförändringar samt sprickbildning i byggprodukter med datortomografi och bildbehandling.

Ett delmål är att undersöka vilken hårdvara för bildbehandling, utrustning och kompetens som krävs för att studera sprickbildning och deformation vid mätning i byggprodukter och mätosäkerhet.

Ett delmål är även att utveckla metoder för att följa fukt eller sprickutveckling i x-y-z-led. För att göra det måste även bildbehandlingen användas och utvecklas.

Ett annat delmål är att testa några av mätmetoderna praktiskt på några prototyper dvs. ”fallstudier” samt att arbeta fram instruktioner med råd och rekommendationer vid utveckling av byggprodukter. Studier och beskrivning av förändringarna under varierande klimat och belastning möjliggörs eftersom metoden är oförstörande.

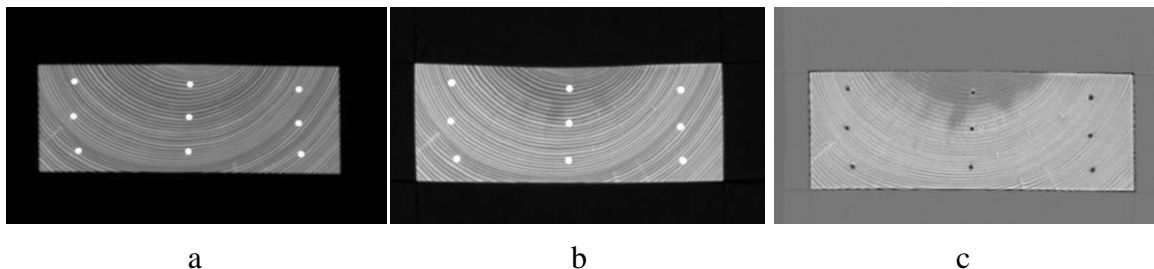
## 2 Mättekniska förutsättningar

### 2.1 Bildbehandling

Tomograferingen ger bilder med 512x512 pixlar och genom att använda bildbehandling kan man göra mätningar i bilderna för att bestämma densitet, fuktkvot, dimension etc. I början av projektet undersöktes användbarheten hos bildbehandlingsprogram/programvaror, deras prestanda vid bildtransformation, och exakthet vid beräkning i bilder (Sandberg et al 2010). Valet föll på bildbehandlingsprogrammet ImageJ som är möjligt att programmera själv, har tillräcklig noggrannhet och är fritt att använda. En stor grupp användare bidrar också med publika makron som av oss kan användas som grund för bildbehandling och analys. Programmet är framtaget av NIH Image och från grunden riktat mot forskning (Medicin) bekostat av National Institute of Health i USA.

Bestämning av fuktkvoten i trä med tomografibilder och bildbehandling sker i flera steg eftersom CT-talet är kopplat till densiteten i provobjektet. Densiteten framträder i olika gråskalor i bilderna. För att fastställa fuktkvoten måste två densitetsmätningar genomföras varav en med känd (referens) fuktkvot. Eftersom trä krymper och sväller vid fuktabsorption och uttorkning måste bilderna transformeras så att bilderna med högre fuktkvot får samma storlek som referensbilden på liknade sätt som i figur 1 och bild a) och b). Därefter subtraheras den transformerade bilden från referensbilden se subtraktionsbild Figur 1 c). Vilket kan beskrivas enligt ekvation (2).

$$CTtal_{Subtraktionsbild} = CTtal_{Referensbild} - CTtal_{Transformerad\ förändringsbild} \quad (2)$$



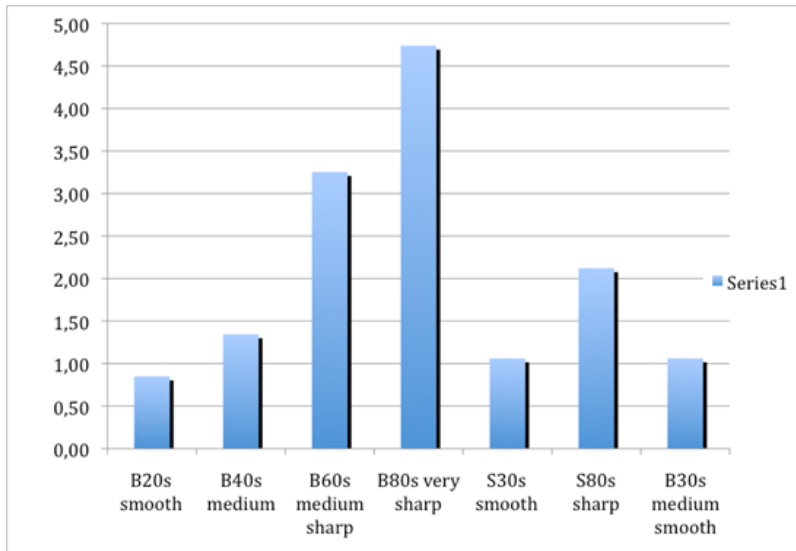
Figur 1. Provbit med nio inborrade blyertsstift som ger bra positionsbestämning a) torr provbit (referensbild) b) fuktig provbit efter en vecka i vatten (förändringsbild). c) subtraktionsbild med transformering. (Sandberg et al 2010).

CT-talen efter subtraktionen används i en algoritm för att bestämma fuktkvoten. Enkelt uttryckt kan man säga att en algoritm används där en förändring av varje 1 % fuktkvot motsvarar en förändring med en faktor 2,2 CT-tal under fibermättnadspunkten. Över fibermättnadspunkten är motsvarande faktor 4,4.

Mätnoggrannheten på grund av uppmätt krympning och svällning utreddes på så sätt att felförskjutningen uttryckt i antalet pixlar från respektive referenspunkt översattes till ett fel i CT-tal. Detta värde är beroende av val av rekonstruktionsalgoritm, oftast väldigt lågt när man använder Shepps rekonstruktionsalgoritm. Detta framgår av figur 2.

## 2.2 Mätbrus

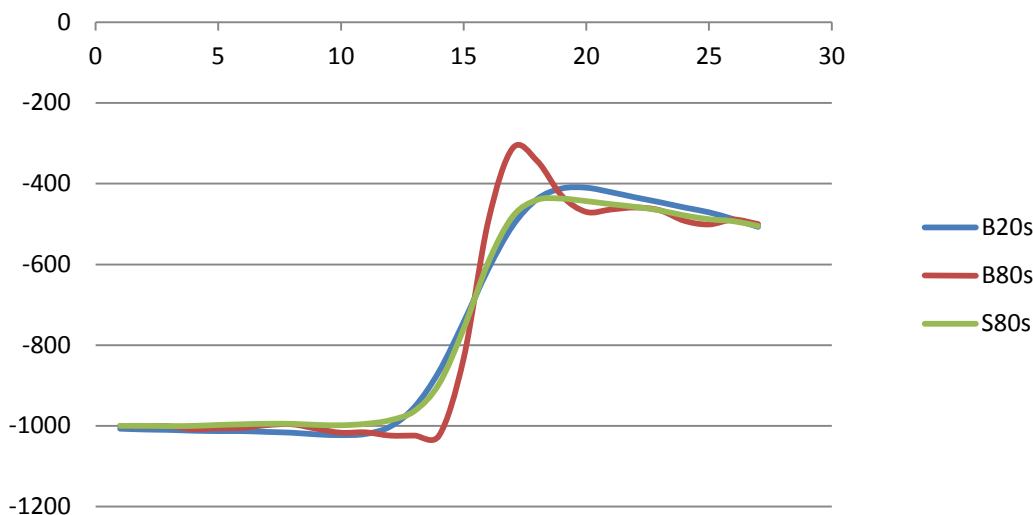
Eftersom gråskalan i bilden är proportionell mot densiteten kan mätningar utföras i bilden med hjälp av bildbehandlingsprogram. I figur 2 framgår mätbruset i datortomografer vid mätningar i trämaterial. Mätbruset är lågt. Störst mätbrus har rekonstruktionsalgoritmen B80s very sharp, vilket beror på att kontrasterna blir större och exaktheten i positioneringen får stor inverkan. Ett brus på  $\pm 2$  CT-tal är mycket bra. Mät noggrannheten kan förenklat sägas ligga inom  $\pm 2 \text{ kg/m}^3$  i en  $3 \times 3 \text{ mm}^2$  (i en mätvolym). Detta motsvarar  $\pm 1\%$  fuktkvot i samma volym. Denna kan jämföras med tvärsnittet hos en tändsticka varsohelst inuti en trästock.



Figur 2. Mätbrus för olika rekonstruktions algoritmer i datortomograf Siemens Emotion Duo (Sandberg et al 2009).

## 2.3 Kantrekonstruktion

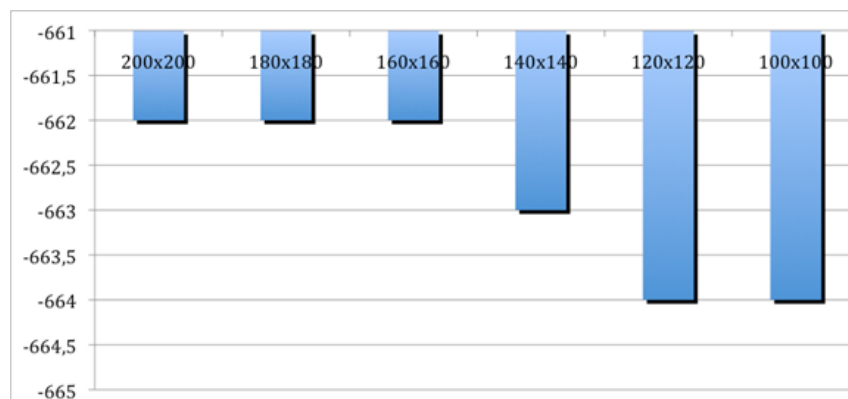
Ett problem i datortomografi är att kanter inte går att återge exakt. Detta beror på att Fouriertransformen som används i algoritmerna inte kan beräkna en kant (eller fyrkantsvåg) rent matematiskt (Sandberg et al 2009). I figur 3 visas övergången från luft till trämaterial för tre olika algoritmer. Efter utvärdering har algoritmen betecknad S80s valts i kommande försök eftersom den klarar kanten inom 4 pixelbredder utan att ge felaktiga mätvärden inuti trämaterial.



Figur 3. Rekonstruktion av en kant exempelvis mellan luft och trä med tre olika rekonstruktionsalgoritmer. Pixelnummer =  $x$ ; CT-tal =  $y$ . (Sandberg et al 2009)

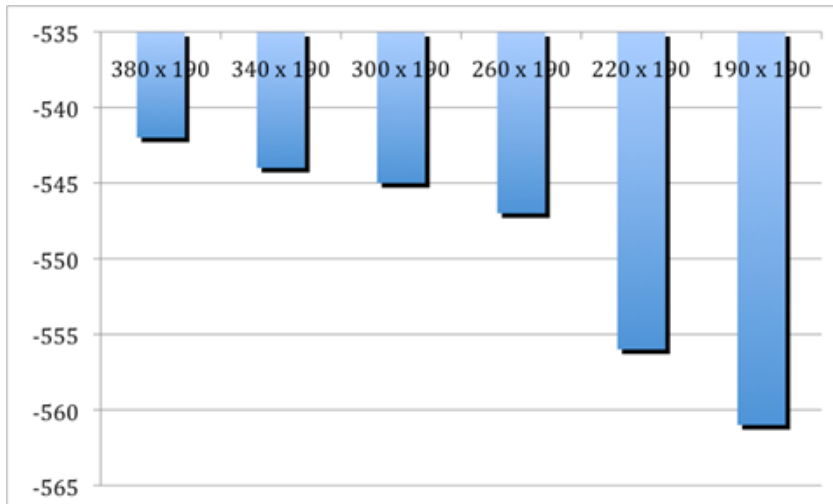
## 2.4 Inverkan av provkroppens storlek på CT-talet

Ett annat problem som uppstår när man använder röntgenstrålning är den s.k. strålningshärdningen. Den resulterar i förhöjda densitetsvärden i mitten av provobjekten vid stora tvärsnitt. Den uppmättes och resultatet visas i figur 4. Vid konstanta sidförhållanden (kvadratiska-/rektangulära tvärsnitt) blir resultatet att densitetsvärdet ökar med ca  $2 \text{ kg/m}^3$  i mitten av objektet. Detta är i praktiken försumbart.



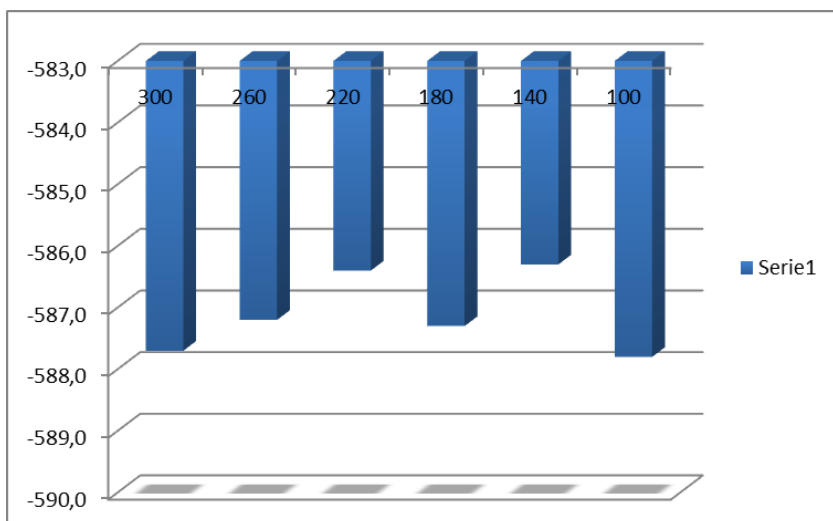
Figur 4. Strålningshärdning i trämaterial Siemens Emotion Duo, för provbitar med olika dimensioner (Sandberg et al 2009). Y-axeln visar medel CT-talens variation beroende på provföremålets dimension i millimeter.

Däremot är strålningshärdningen med stora förändringar i gångväg – dvs. jämförelser av kvadratiska och rektangulära tvärsnitt – värd att hålla under uppsikt. I figuren 5 nedan ser man att i mitten av provkroppen kan stiga upp till 20 enheter vid fördubbling av rektangulära sidans längd. Här måste viss försiktighet tas vid slumpmässiga mätningar där sidornas längder är olika långa.



Figur 5 CT-talets ökning av medelvärdet på grund av ändrad form, (Sandberg et al 2009). Y-axeln visar medel CT-talen.

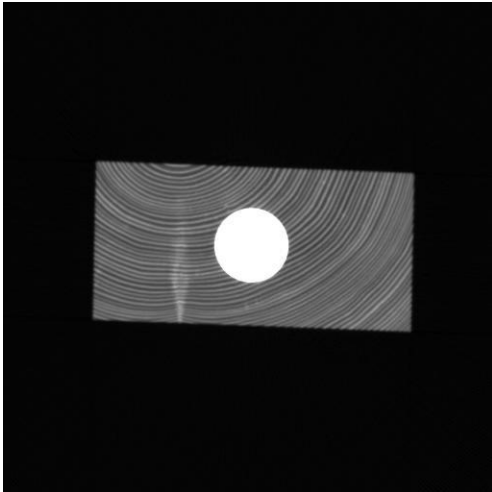
För att undersöka mätsäkerheten beroende på röntgenstrålens gångväg genom ett provobjekt mättes CT-talet i ett cirkulärt tvärsnitt när diametern minskades från 300 till 100 mm (svarvades bort). Figur 6 visar att CT-talens variation i ett cirkulärt tvärsnitt beroende på diametern skiljer cirka 1,5 mellan 300 mm och 100 mm vilket motsvarar lägre än 1 % fuktkvot.



Figur 6. CT-talens variation beroende på diametern i ett cirkulärt tvärsnitt (300-100 mm), Sandberg et al 2010.

### 3 Trä och metall

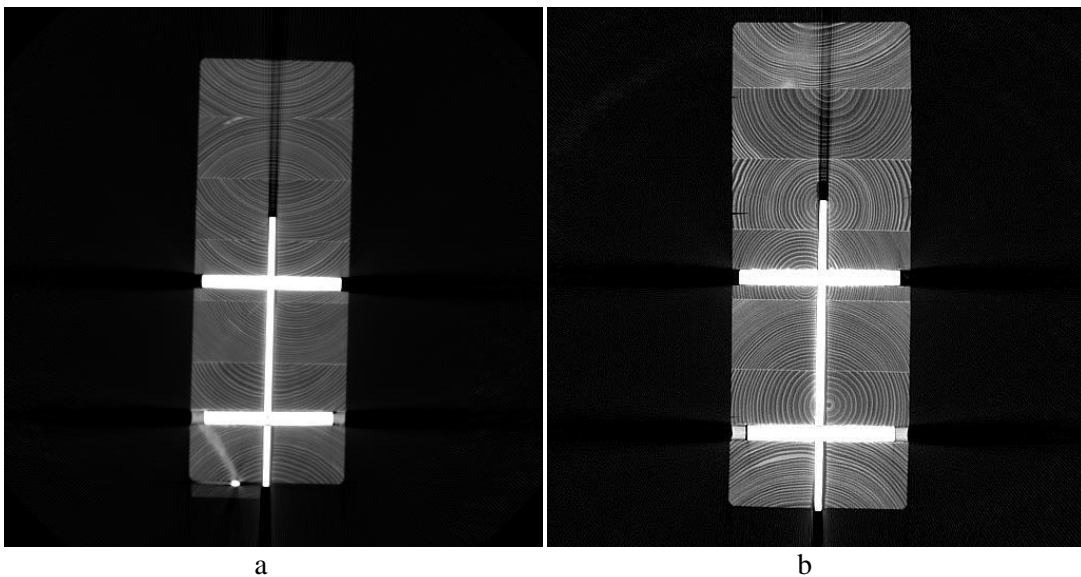
Träförband utförs vanligen med fästelement, skruvar och plåtar av stål. Material som överstiger aluminiums densitet och egenskaper i periodiska systemet är inte lämpliga att tomografera eftersom strålningen hos en medicinsk datortomograf är svag. Därför genomfördes ett antal tomograferingsförsök med träprodukter och aluminium som har en låg densitet. Figur 7 visar en 40 mm aluminiumstång i mitten av en planka för att efterlikna en dymling i en träprodukt. Således gör utbytet av stål till aluminium att man kan tillverka prototyper som kan tomograferas med god kvalitet.



Figur 7. 40 mm aluminiumstång i en plank, Sandberg et al 2009.

Därefter gjordes ett försök att tomografera en liten limträbalk med en aluminiumplåt och dymlingar.

Figur 8 visar en försänkt övre dymling och en nedre dymling som tätats med fogmassa. Längst ner till vänster ses en liten vit prick. Det är i en tumstocks ände med koppar som använts för att montera provkroppen i datortomografen. Alldeles närmast ser man ett litet vitt område där röntgenabsorptionen blivit hög beroende på kopparens närvaro.

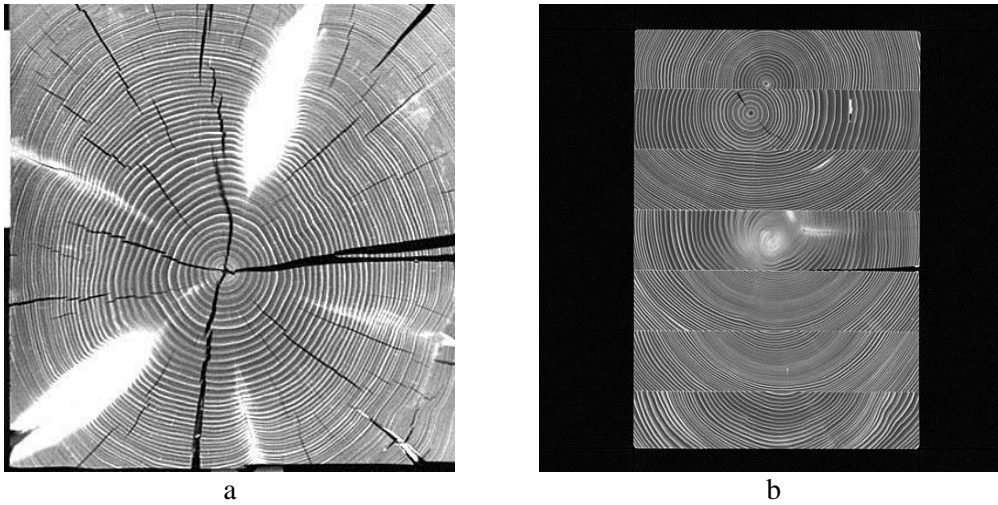


Figur 8. Limträ av gran med dymlingar av aluminium. Inverkan av koppar längst ner i bilden. b) Efter 16 månaders utomhusexponering har plåten inte längre kontakt med underlaget (Sandberg et al 2010) och fogmassa har släpp från underlaget i den nedre nedsänkta dymlingen tätad med fogmassa.

## 4 Sprickmätningar

I trä uppkommer det ofta sprickor och delamineringar och det är av intresse att veta hur långt de går in i trä, hur utbredningen ser ut. Att visuellt se sprickor i en tomografibild är möjligt, se figur 9. Det saknades information om hur noggrant det går att mäta och vilken

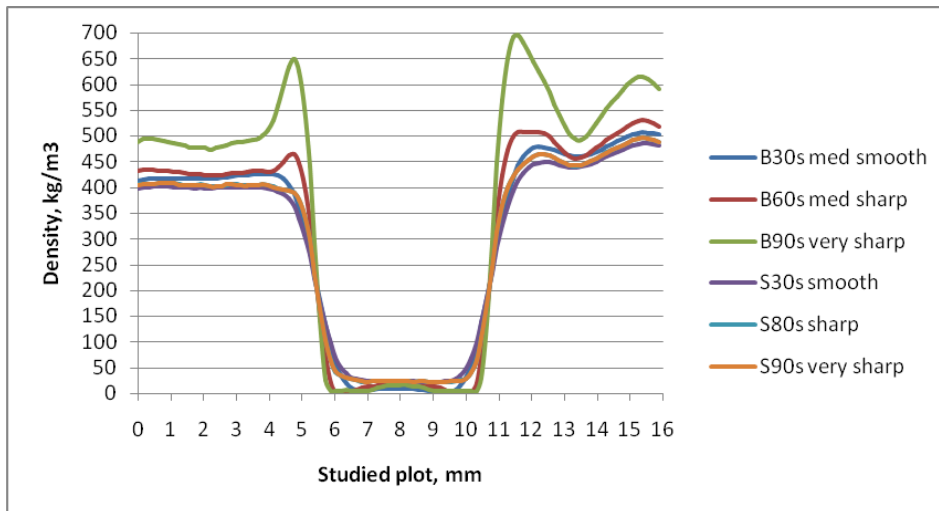
rekonstruktionsalgoritm som ger det bästa resultatet. Att se utbredningen av en spricka i 3-D i bildbehandlingsprogram saknades och utvecklades i projektet.



Figur 9 a) Tvärsnitt av en massivträbalk med sprickor i. b) limträbalk

#### 4.1 Val av algoritm för bästa rekonstruktion av sprickor

Datortomografens rekonstruktionsalgoritmer som ovan nämnts kan inte korrekt återge en fyrkantsvåg på grund av den Fouriertransform som ingår. Därför får man en kontinuerlig övergång mellan exempelvis luft och trämaterial istället för ett direkt hopp. Därför tillverkades ”sprickor” av väldefinierad bredd (1, 3, 5 och 10 mm) och profilerna mellan luft och trä uppmättes med olika algoritmer. Figur 10 nedan kommer från den 3 mm breda artificiella sprickan.



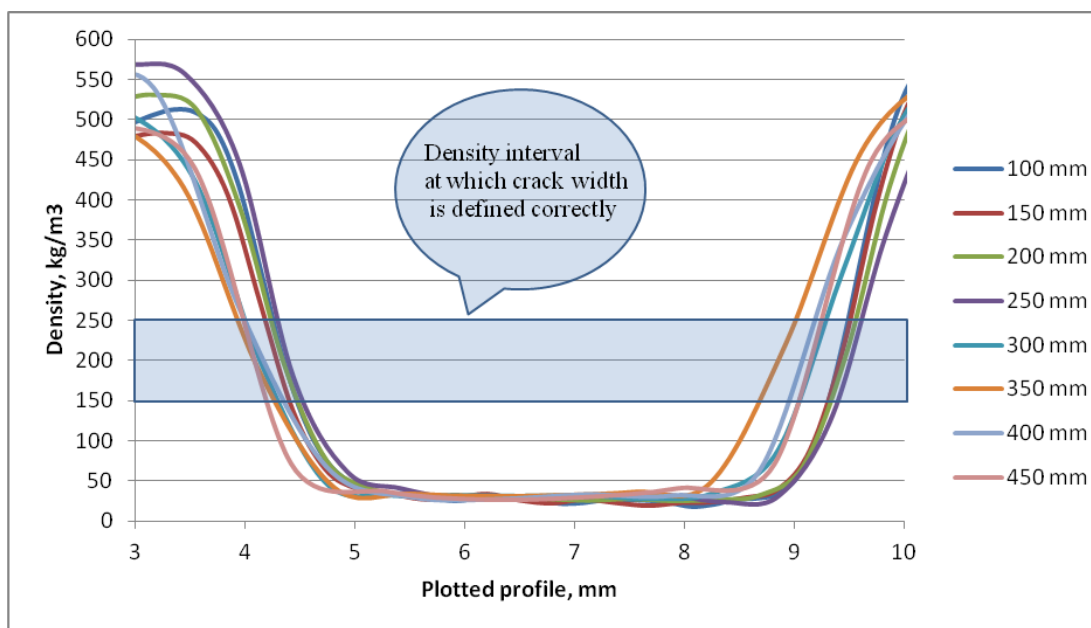
Figur 10. Sex profiler med samma rådata men med sex olika algoritmer uppmätta över en 3 mm bred spricka (Ryadchikov 2012).

Utvärderingen visar att algoritm S90s very sharp ger bästa resultat dvs både når mätvärden för luft och trä samtidigt utan att ”överskatta” densiteten närmast sprickan.



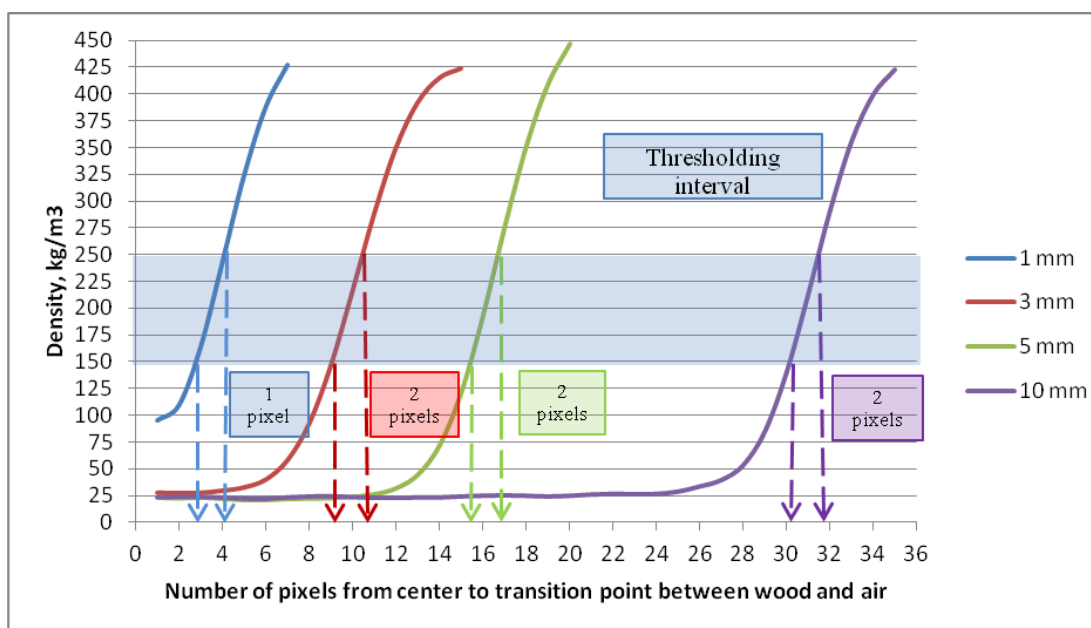
## 4.2 Mätning av sprickbredd

Tröskling innebär att man över ett visst densitetsvärde (tröskelvärde) gör samtliga bildpunkter vita och under ett visst värde till svarta bildpunkter. Genom tröskling i hela densitetsintervallet 150-250 kg/m<sup>3</sup> får man ett korrekt mätvärde för sprickornas bredd vid tomografens högsta möjliga upplösning dvs. vid litet provobjekt och val av rekonstruktionsalgoritm S90S. Figur 11 visar att detta densitetsintervall ger ett mycket noggrant mätvärde för sprickans bredd.



Figur 11. Densitetsintervall där sprickans bredd (5 mm bredd) uppmäts korrekt.

I figur 12 framgår att hoppet mellan luft och trämaterial är oberoende av sprickans bredd (1, 3, 5 och 10 mm) och är 1-2 pixelbredder. Detta resulterar i att sprickor kan mätas med en noggrannhet av 0.1-0.2 mm.



Figur 12. 1-2 bildpunkter långa hopp mellan luft och trä före tröskling (Ryadickov 2012).

### 4.3 Sprickor i 3D-modeller

I projektet ingick även att försöka ta fram tredimensionella bildmodeller så att man kan samtidigt se samtliga sprickor i t.ex. en limträbalk. Dessutom skulle man kunna rotera bilden godtyckligt och kunna se sprickornas utbredning i balken.

### 4.4 Dubblering av datotomografens upplösning genom “stitching”

Ett problem är att om man tomograferar en 400 mm diameters provkropp kommer den enskilda bildpunkten bli mycket större än bildpunkten som man erhåller vid en diameter 100 mm. I projektet utvecklades en metod för att dela upp stora tvärsnitt i mindre tvärsnitt och genom s.k. stitching. Då ”syr man ihop” tomografibilder som består av 512x512 bildpunkter i original till bilder med 1025x1024, 2048 x 2048 etc. bildpunkter. Detta gör att man nu kan tomografera stora objekt med hög spatial upplösning.

## 5 Fuktmätning

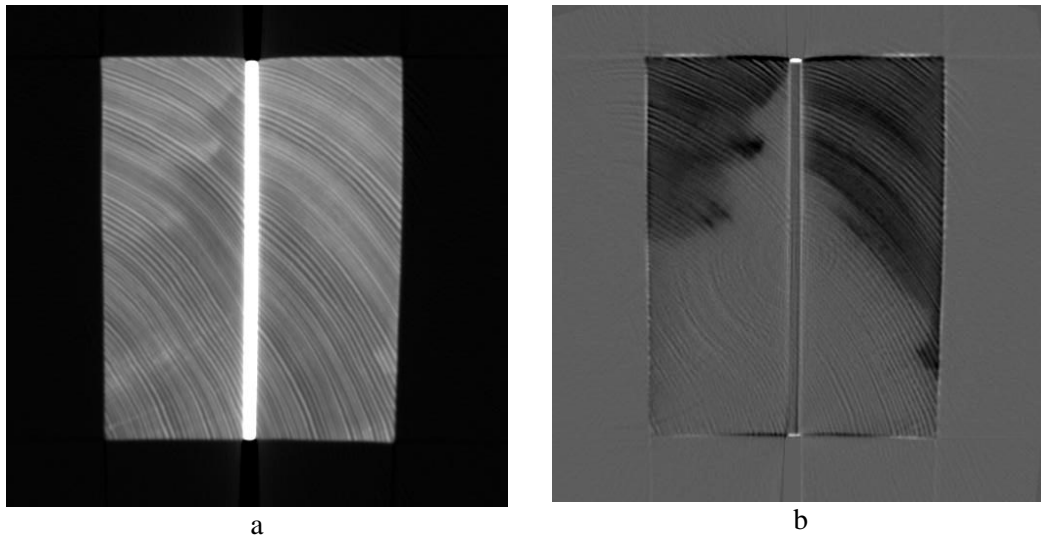
### 5.1 Fuktkvotsmätning – utveckling av programvara ImageJ

Under projektets andra del har programvara för mätning av fuktkvot i trämaterial utvecklats. Idag finns ett särskilt utvecklat s.k. Macro i ImageJ där man efter mycket kort introduktion själv kan utföra fuktmätningarna. Eftersom detta program är eftertraktat finns det med i Appendix I i denna rapport, färdig att markera-kopiera-och klistra in i ImageJ.

En tidig version av detta Macro i kombination av MatLab har använts både under punkt 3.6 och 3.7 nedan.

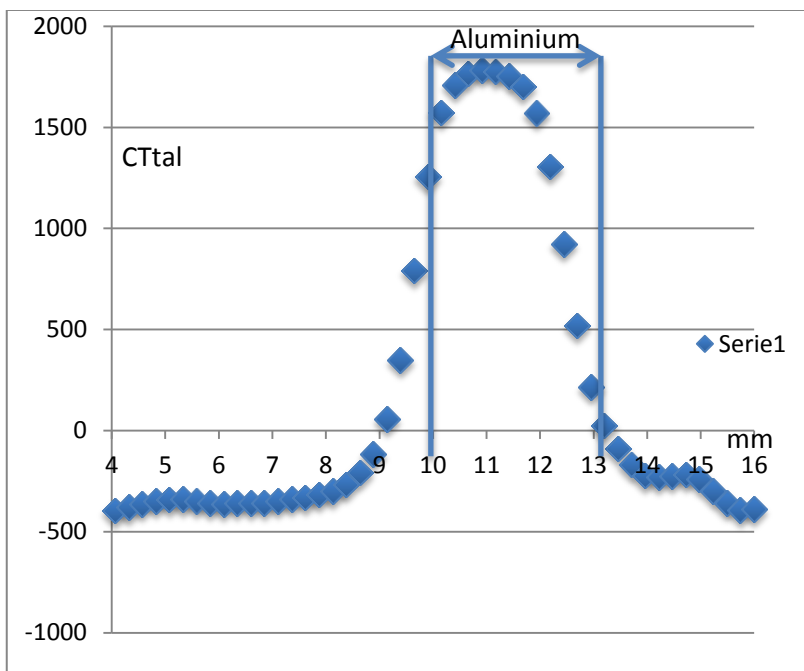
### 5.2 Fuktkvotsmätning nära aluminiumytor

Vi ville undersöka och se hur bra transformering och fuktkvotsbestämning är när aluminium och trä blandades. En 3 mm aluminiumplåt limmades mellan två träklossar. Först tomograferades provkroppen vid konditionerad fuktkvot. Därefter lades klossen under vatten i 24 timmar varefter den tomograferades igen figur 13 a. Genom att använda Macro ovan fick vi figur 13 b nedan som visar fuktfördelningen efter uppfuktningen. Mörka områden innehåller vatten överstigande jämviktsfuktkvoten medan ljusare områden innehåller lägre fuktkvot eftersom det är kärnved.



Figur 13. Fuktfordelning i två träklossar med en limmad aluminiumskiva emellan

För att undersöka när man kan börja lita på att fuktkvotsmätningarna i trämaterialen blir korrekt gjordes en profil enligt figur 14 nedan. Här är aluminiumskivans 3 mm bredd markerad. Det krävs ca 4-5 bildpunkter för att nå maximum absorption i aluminium. Om vi sedan går ytterligare 4-5 bildpunkter in i trämaterialen så kommer vi till en punkt där fuktkvotsmätningarna blir pålitliga. I detta fall var upplösningen i ursprungsbilderna 0.25 mm/bildpunkt så man kan sannolikt tryggt säga att fuktkvotsmätningarna blir säkra ca 1,0-1,5 mm från kanten av trämaterialen.



Figur 14. Profil för att bestämma när fuktkvot kommer att gå att mäta när aluminium är i direkt kontakt med trämaterial.

## 6 Tillämpning

### 6.1 Bestämning av sprickdjup och sprickutbredning med två metoder

I en studie studerades sprickor i två limträbalkar från en träbro som använts i 19 år i utomhusklimat (Cherepanova 2011). Sprickorna analyserades med två olika metoder, manuell mätning av sprickdimensionerna och med CT-mätning, figur 15. Balkarna undersöktes med avseende på eventuella samband mellan bredd- och djup på sprickan. Balkarna skannades var 10 mm, dvs 85 bilder av tvärsnittet analyserades.

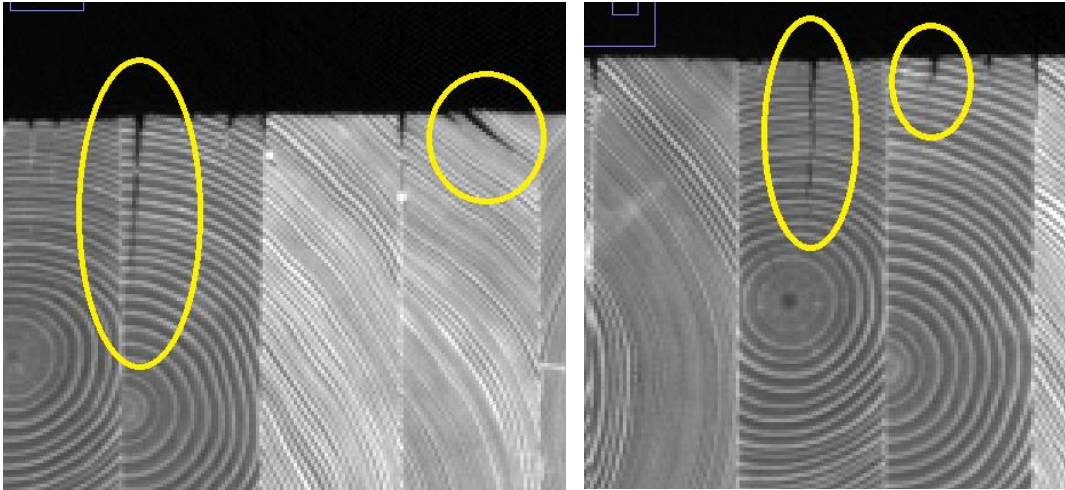


Figur 15. Bestämning av sprickans djup med två metoder a) Manuellmätmetod b) CT scanning och bildbehandling

Det var ingen korrelation mellan sprickbredd och -djup. Bilderna från CT scanningen visar att sprickbildning i limträbalkar är relaterad till årsringsriktningen i lamellen se figur 16.

I jämförelsen mellan manuell mätning och mätningar i CT-bilder visade sig att de manuella mätningarna tenderade att underskatta djupet på sprickorna. Skillnaderna beror på att sprickorna ofta fortsätter med en kurvatur som beror på träets anisotropa struktur.

Teoretiskt förväntas att en bredare spricka bör vara djupare jämfört med en smalare spricka. Men resultaten av denna studie har visat att detta inte nödvändigtvis är fallet med en bredd och djup av uppmätta sprickor som är korrelerade med varandra. Såsom kan ses från figur 16, många olika sprick- morfologier (typer) förekom, och varierade mellan balkarna.

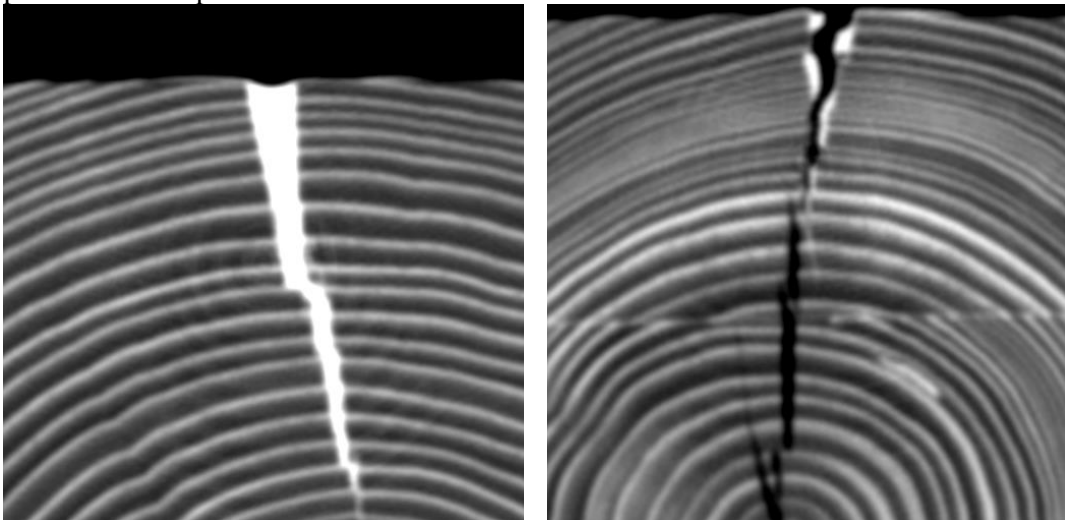


Figur 16 CT bild som visar variationen av spricktyper i en limträbalk som har varit utomhusexponerad i 20 år.

## 6.2 Lagning av sprickor i trä

I projektet ingick att undersöka hur datortomografi bör användas för att utvärdera spricklagning i trä. Ett antal provkroppar tillverkades med befintliga sprickor. De tomograferades varefter sprickor lagades. Figur 17 visar en sådan lagning som det koniska vita området i bilden. Det är således ingen svårighet att avbilda spricklagningsmaterial vilket inte förväntades eftersom dess densitet ligger avsevärt högre än trämaterialens densitet. Med bildbehandling är det möjligt att beräkna fyllnadsgrad i sprickan men också se om lagning av sprickan misslyckas.

Materialet utsattes för ett uppfuktning- och uttorkningsförlopp i delamineringstest varvid trä sväller och krymper. Delamineringstesten kan betraktas som ett tufft prov. Figur 17 visar en lagad spricka efter svällning och krympning. Lagningsmassan har delaminerat, vilket pekar på att limmet inte var termot stabilt. Bilden visar även att massan inte penetrerat hela sprickan utan bara dess översta del.



Figur 17. Spricka i trä lagad med lagningsmassa bestående av polyuretan (vänster)

En spricka med lagningsmassa efter svällning och krympning efter delamineringstest.

### 6.3 Tomografering av balkar från Lejonströmsbron

Vid renovering av en äldre bro, Lejonströmsbron i Skellefteå, gjordes bedömningen att ett antal balkar måste bytas ut på grund av röta och stora sprickor. För att konstatera balkarnas kondition och sprickornas utbredning togs beslutet att balkarna skulle tomograferas och böjprovas.

Balkarnas ålder är okänd, troligen härstammar balkarna från en brorenovering som gjordes under 1960-talet, dvs. de hade suttit i brokonstruktionen cirka 50 år, eller äldre. Två brobalkar ingick i försöket. Balktvärsnitten var cirka  $0,3 \times 0,3 \text{ m}^2$ , med stor andel kärnved. Balkarna hade ofta en större spricka på ena sidan och då ofta mitt på, se figur 18. Sprickan gick ibland längs hela balken. Balkar valdes där det fanns en tydlig spricka på ena sidan. Demontering av balkarna gjordes under sommaren/hösten och låg sedan upplagda utomhus. Under lagringstiden hade en del av ytsprickorna svällt igen.



Balk 1 (1-3, 1-2)



Balk 1 (1-1, 1-4)



Balk (2-1, 2-4)



Balk (2-2, 2-3)

Figur 18 Balkar från Lejonströmsbron.

Balkarna fick torka i några dagar, planhyvlades och därefter tomograferades balkarna, se **Fel! Hittar inte referenskälla.**19. Sedan delades de för skjuvprovningar.

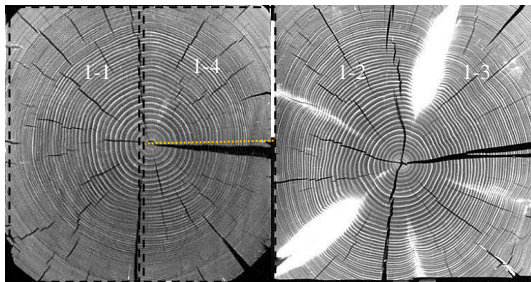


Bild 355-356

Bild 1-356

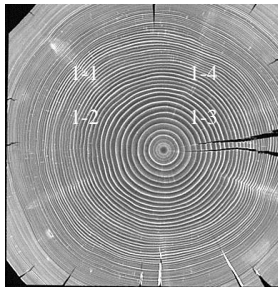


Bild 180-356

Figur 19 Balk 1.



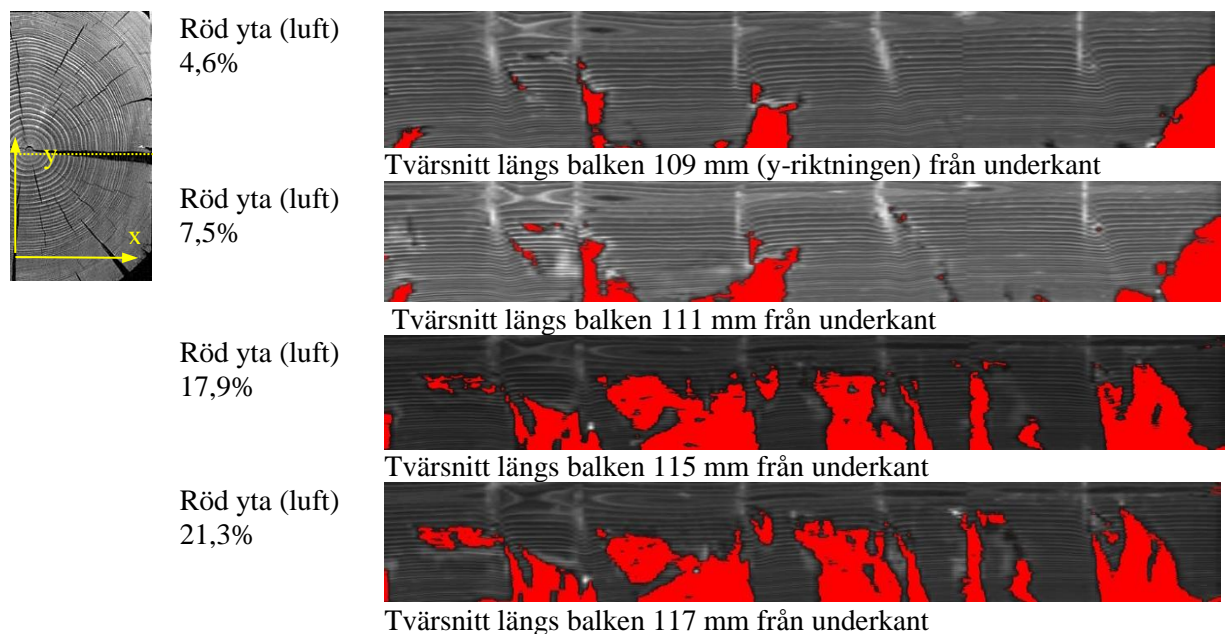
Balk 1 delades längs balken och kapades i två delar till följande balkar.

Balk 1-1,  $120 \times 250 \text{ mm}^2$ ,  $l=1760 \text{ mm}$   
 Balk 1-4,  $120 \times 250 \text{ mm}^2$ ,  $l=1760 \text{ mm}$   
 Balk 1-2,  $120 \times 250 \text{ mm}^2$ ,  $l=1670 \text{ mm}$   
 Balk 1-3,  $120 \times 250 \text{ mm}^2$ ,  $l=1670 \text{ mm}$

### 6.3.1 Resultat från tomografering

Tomografering av en balk ger möjligheten att uppskatta andel ”sprickor” i ett tvärsnitt. Genom att ställa samman bilder tvärs tvärsnittet samt beräkna största sprickandelen per tvärsnitt fås längstvärsnittet där skjuvhållfastheten kan förväntas vara lägst.

I figur 20 nedan har tomograferingsbilder för balkdel 1-4 ställts samman och andelen sprickor (rödfärgade) beräknats.



Figur 20 Beräkning av andel sprickor längs balk 1-4.

Beräkningen visar att största andelen sprickor finns i mitten av balken, ca 20 %, och de sträcker sig nästan genom hela balken.

### 6.3.2 Resultat från hållfasthetsprovning

Provbekastning gjordes av balkarna med förskjuten punktlast. Balkarnas kvalitet antas motsvara hållfasthetsklass C30. De ursprungliga balkarna var cirka 3,5 meter och efter delning erhöles två balkar med en längd av 1560 mm mellan upplagspunkterna. Tvärsnittsarean var  $120 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}^2$ .

Om skjuvhållfastheten antas till 3 MPa så erhålls en provningslast, P, för använd uppställning av;

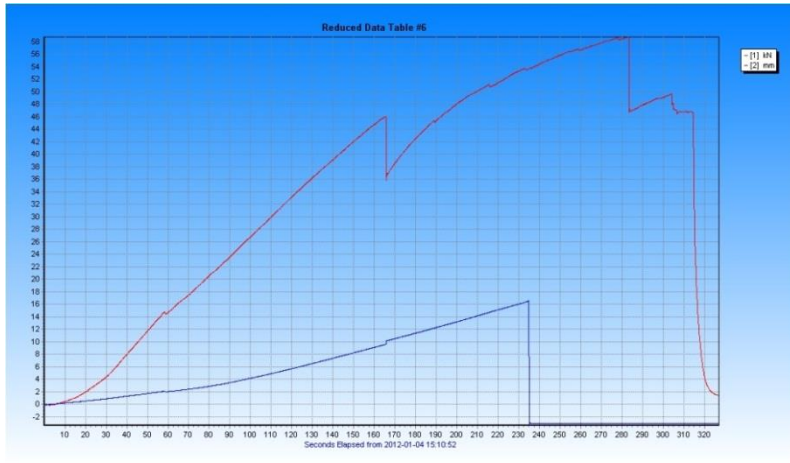
$$V = \frac{f_{vk}A}{1,5} = 60 \text{ kN} \text{ och } P = \frac{Vl}{b} = 90 \text{ kN}$$

Om böjhållfastheten antas till  $f_{mk}=30 \text{ MPa}$  så erhålls

$$M = W \cdot f_{mk} = 37,5 \text{ kNm} \text{ och } P = \frac{M \cdot l}{a \cdot b} = 108 \text{ kN} > 90 \text{ kN}$$

Det finns därmed en liten risk för böjbrott i stället för skjuvbrott, om inte sprickan minskar balkens skjuvhållfasthet.

Skjuvbrott erhöles vid ca 60 kN, se Figur 21.



Figur 21. Last-deformationsdiagram för balk 1-4

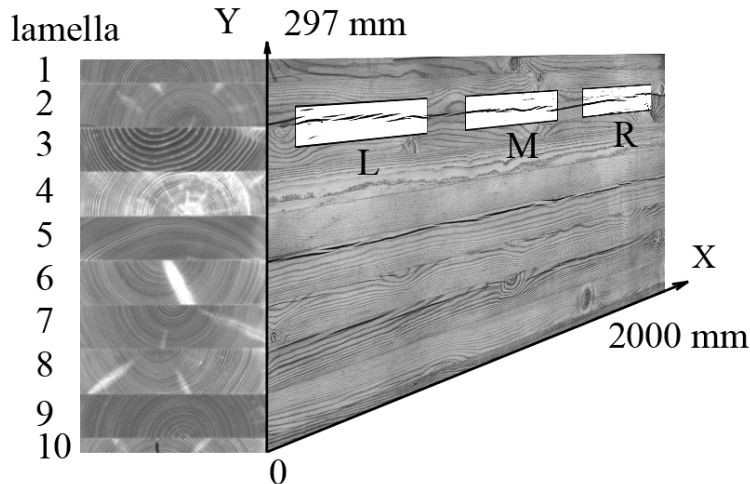
#### Slutsatser

- Tomograferingsbilder visar att sprickorna andel av längd tvärsnittet uppgår till cirka 20%.
- Böjprovet visar att skjuvbrotthållfastheten minskade från beräknat värde av 108 kN till 58 kN (46 %).
- Metoden kan användas för en uppskattning av bärförmågan av spruckna balkar.
- För att uppnå bättre överensstämmelse krävs troligen en tredimensionell analys av sprickornas utbredning.

## 6.4 Årsringsorienteringens inverkan på sprickor i limträbalkar

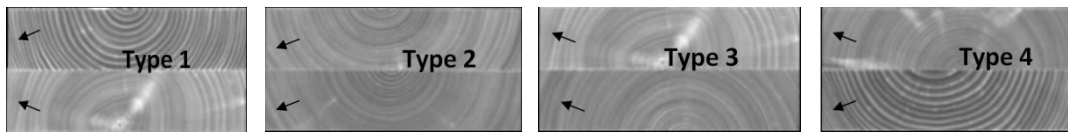
Sprickor i limträbalkar kan minska deras styrka, beroende på sprickans djup, spricklängd och sprickans plats men kan också vara en kanal för uppsamling av vatten och smuts. Därför har årsringsriktningen inverkan på sprickbildning undersökts (Sandberg et al. 2013). Skillnaden mellan sprickor (område av sprickor  $\text{mm}^2$ ) och årsringsorienteringen i lamellerna i limträbalkar av gran (*Picea abies*) och tall (*Pinus sylvestris*) med olika dimensioner och ytbehandlingar undersöktes med hjälp av RGB-bilder av ytan och tomografbilder av tvärsnittet se figur 22.





Figur 22. En CT-bild av ett tvärsnitt i kombination med en RGB-bild av ytan på limträbalken. Uppmätt område markerat med rektanglar vänster (L), mitten (M) och höger (R). L- och R fönster mättes 50 mm från vänster och höger slutar respektive. M fönstret mättes vid 1000 mm precis i mitten av ytan på balken.

Bildbehandling användes för att mäta egenskaper som är synliga på balken yta såsom sprickor i området och lamellens position i balken. Kombinationen av årsringsriktning i upplägget mättes från CT-bilder. Fyra typer av kombinationer definierades, typ 1 (märgsidan vänd utåt), typ 2 och 3 (märgsidan är vänd åt samma håll) och typ 4 (märgsida möter märgsida), se figur 23.



Figur 23 Antalet kombinationer av årsringsriktning

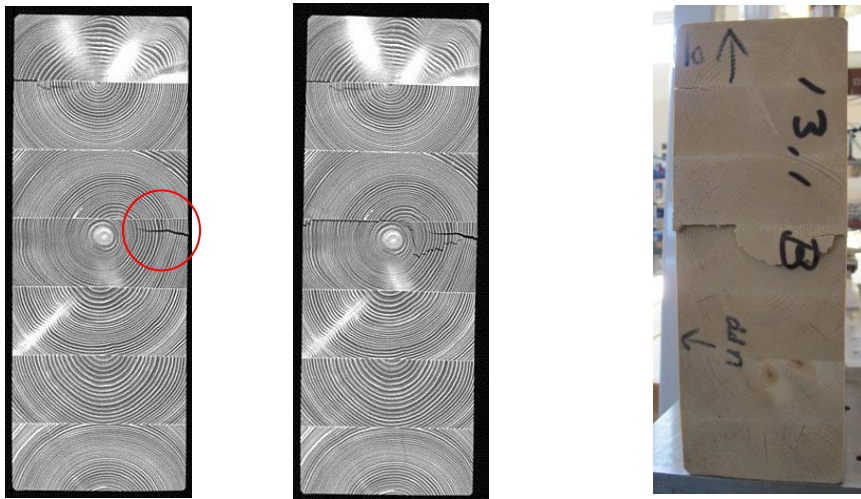
Det visade sig att det område som gränsar till limfogen i lamellerna i kombination typ 4 är den mest utsatta för sprickbildning, medan kombinationer av typ 1 uppvisar det högsta beständighet mot sprickbildning. Typ 4 är inte den mest frekventa typen av kombination, men när den inträffar, är det hög risk att sprickor kommer att uppstå och omfattande. Dessutom blir sprickan i zonen stor. Detta innebär att typ 4 inte bör användas i limträbalkar. Sprickorna i typ 4 blir långa och grova och följer limfogen, vilket kan ses i figur 22. Det var mer sprickor på den södra sidan jämfört med den norra sidan av balken.

## 6.5 Sprickors inverkan på skjuvhållfastheten

Tomografering av balkarna utfördes för att dokumentera framtvingade ”naturliga” sprickor i limträbalkar innan balkarna skjuvbelastades (Pousette, 2012). Några balkar tomograferades även efter skjuvbelastningen för att dokumentera brottet.

I Eurokod 5 för dimensionering av limträ infördes en reduktionsfaktor för skjuvhållfastheten på grund av inverkan av eventuella sprickor (kcr-faktor). Det innebar en sänkning av hållfastheten jämfört med tidigare, men faktorns värde får bestämmas av nationella myndigheterna. Det fanns därför behov av att undersöka om skjuvhållfastheten påverkas av sprickor i limträbalkar och i så fall hur mycket. Skjuvprovningar utfördes med 3-punkts böjtester. Först testades några balkar utan sprickor, några med sågade spår och några som behandlats för att framtvinga ”naturliga” sprickor i träet med omväxlande uppfuktning och torkning. En fortsatt studie omfattade fler balkar som alla behandlades med uppfuktning och torkning eller med bara torkning. Tomografering av balkarna

utfördes för att dokumentera de ”naturliga” sprickornas utbredning inuti balkarna. Hållfastheten i den fortsatta studien innebär en kcr-faktor på 0,77 för dessa spruckna balkar, vilket kan jämföras med värdet 0,67 i Eurokod 5. Då ska man beakta att alla balkar i försöken inte fick skjuvbrott utan en del fick böjbrott (dvs. skjuvhållfastheten var högre) och att de testade balkarna hade varit utsatta för extrem klimatpåverkan (vattenbegjutning i ca två veckor och torkning vid 85°C – i hög grad ett värsta scenario) och erhållit betydande mängd sprickor, varför en kcr-faktor för normal användning av limträ bör vara högre.

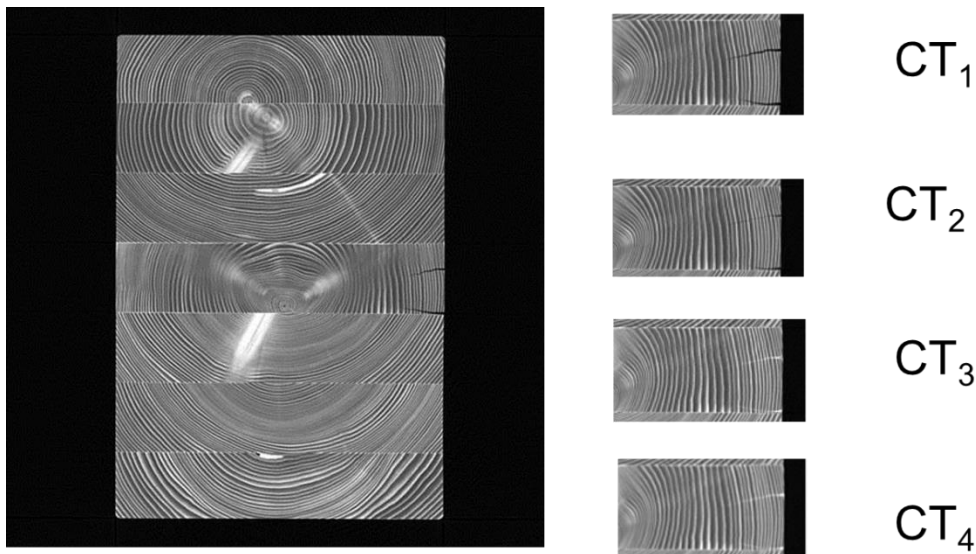


Sprickor 60 mm från ände      Brottspicka 60 mm från ände      Balkände efter skjuvbrott

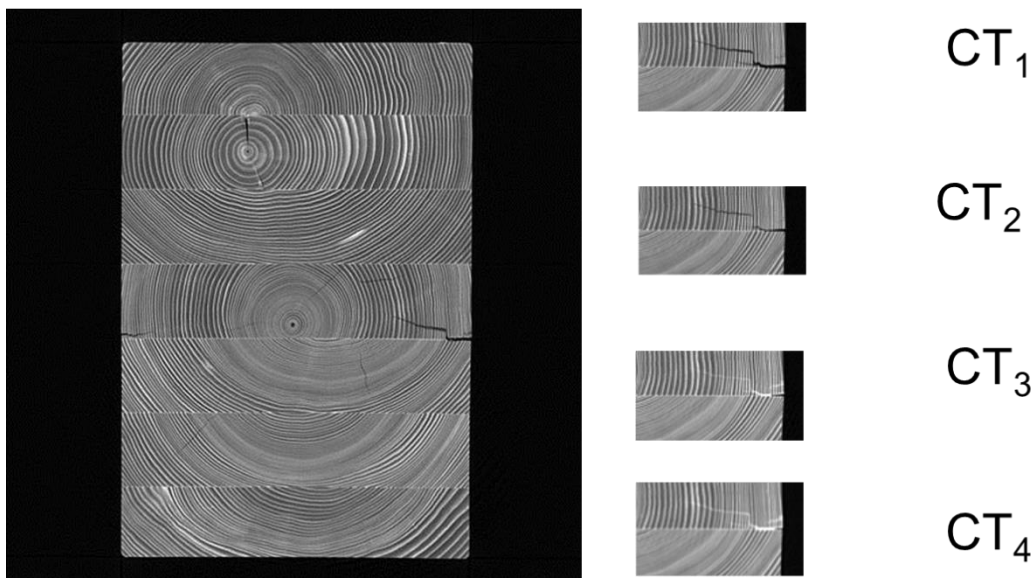
Figur 24. Tvärsnitt av en limträbalk med sprickor

## 6.6 Vattenupptagning i sprickor i limträbalkar

För att inventera och generera ny och bättre kunskap om orsakerna till biologiska angrepp i limträbalkar har två 2 m långa balkar tomograferats (CT scanning) och bildbehandlats för undersökning av vatteninträning och fördelning i sprickorna efter regn (Sandberg 2013). Balkarna togs in från försöksfältet efter nederbörd fyra gånger under ett års tid. Balkarna tomograferades var 10 mm vilket innebär 200 bilder per balk och tillfälle. I figur 25 och 26 visas tvärsnitt av sprickor vid fem olika tillfällen.



Figur 25. Tvärsnitt av en limträbalk med två sprickor på södra sidan av balken (höger sida). Närbilder av sprickorna efter tomografering vid fyra tillfällen T1, T2, T3 och T4 under ett år. Vatteninträngningen syns som ett vitt streck.



Figur 26. Tvärsnitt av en limträbalk med en spricka på södra sidan av balken (höger sida). Närbilder av sprickorna efter tomografering vid fyra tillfällen T1, T2, T3 och T4 under ett år. Vatteninträngningen syns som ett vitt streck.

Undersökningen visade att och om hur vatten tränger ner i sprickor efter regn beror på sprickans storlek, placering, ytbehandling, samt på regn- och vindbelastningen. Sprickbredden varierar med klimatet, sprickor stänger och öppnar sig mellan olika dagar och även under en och samma dag. Kontinuerlig filmning av en balk visar hur sprickor med bredd ca 3-4 mm sluter sig vid regn på ytan och blir nästan osynliga för att sedan öppnas igen när balkens yta torkar. Sprickornas storlek och lägen beror på lamellernas typ och orientering vad gäller märke och årsringar.

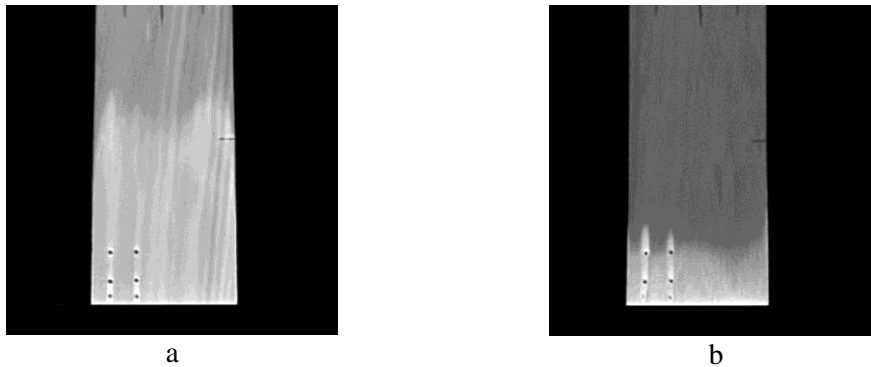
Frågan är om man kan ge anvisningar för vilken typ av sprickor, placering eller storlek som man bör observera och dokumentera, och vilka sprickor som kan leda in vatten så att det finns risk för att det utvecklas röta.

## 6.7 Håltagningar i trä och vattenupptagning

Det är vanligt att man gör håltagningar i träkonstruktioner t ex med spikar och skruvar. Eftersom det är ett område där det är stor risk för skada är det intressant att studera och förstå hur det kan påverka beständigheten och den slutliga livslängden.

Provbitar av gran och furu tomograferades efter 72 och 120 timmars vattenupptagning i ändträ. Hål borrades 15 mm djupa, 15 mm och 32 mm från ändträ. I hålen placerades spikar med krympslang på som används vid fuktkvotsmätning.

Försöket visar att vattenupptagning och fördelning skiljer mellan de båda träslagen. Stighöjden dvs hur högt vatten stiger i veden, är betydligt högre i furu splintved än i gransplintved se figur 27.



Figur 27. Provbitar efter 72 timmars vattenabsorption i ändträ a) furu b) gran. Referenspunkt, svart streck till höger i bild är 100 mm från bottenytan. Vita områden visar höjd densitet dvs högre fuktkvot.

Fuktkvoten i furu splinten är generellt sett lägre än i granens splintved. Det visade sig att vatten fördelar sig olika runt hålen. I gran fördelar sig vatten ovanför hålet som en "tomteluva" medan det i furu mer generellt fördelats runt hålen. Försöket visar att det bildas områden med förhöjd fuktkvot runt håltagningen även fast de inte har varit i direkt kontakt med vatten och det har suttit en spik med krympslang i håltagningen.

## 6.8 Detektering av röta i telefonstolpar.

Under de senaste 5 åren har stora kvalitetsbrister upptäckts under ordinarie inspektioner på kreosotstolpar för luftledning i Sverige (Johansson et al 2013). En ny typ av fenomen hade uppstått och som har betecknats som "mjuka fläckar". 18 stolpar bland tusentals inspekterade stolpar (2009-2011) valdes ut för en närmare granskning, d.v.s. datortomografi (Johansson et al 2013). Både högtemperaturtorkat och lufttorkade stolpar studerades men torkmetoden hade ingen betydelse.

Frågorna man ställt var. Vad orsakar mjuka fläckar? Vad kännetecknar en mjuk fläck? Inverkan på styrka och styvhet? Finns det en skillnad på stolpar som torkats i fria luften och de som högtemperaturtorkats med avseende på förekomsten av mjuka fläckar? Vilka instruktioner bör ges till inspektörer?

CT-scanning visar sig ge en mycket god bild av stolparnas inre status och graden av impregnering och röta kan lätt upptäckas. Mjuka fläckar orsakades i de flesta fall av extremt dålig kreosot behandling.



Figur 28. Röta i stolpe till vänster och tomograferingstvärsnitt till höger. Inträngningen av skruvmejseln kan ses i bilden.

## 7 Begränsningar och möjligheter

Datortomografi är en kraftfull metod att utvärdera vad som händer i trämaterial och träprodukter. Detta beror på att metoden är oförstörande, kontaktfri och kan genomföras i tre dimensioner. Tyvärr är den inte portabel så man kan inte genomföra mätningarna i fältförsök.

En grundläggande begränsning är att provobjekt med diameter över 50 cm inte kan undersökas i utrustningen.

Mätnoggrannheten är väldigt hög och kan förenklat sägas ligga inom  $\pm 2$  kg/m i en  $3 \times 3 \times 3$  mm<sup>3</sup> mätvolym. Detta motsvarar  $\pm 1\%$  fuktkvot. Som ovan nämnts kan jämförelsen med tvärsnittet hos en tändsticka var som helst inuti en trästock göras.

Mätningar av fuktkvot kan genomföras. Eftersom röntgenstrålning påverkar blir mätningen indirekt och man måste göra en jämförelse mellan en bild "före" och en bild "efter". För att göra analysen använder man bildbehandlingsprogram. Trä sväller och krymper mellan mättillfällena och detta har i projektet lösts genom ett s.k. Macro i ett bildbehandlingsprogrammet ImageJ.

Eftersom röntgenstrålning är inblandad inträffar som ovan nämnts strålningshärdning som man måste beakta i samtliga försök.

Ett problem är att strålningen i en medicinsk datortomograf relativt svag eftersom den är avsedd för människor. Det medför att strålningen inte passera stål, koppar etc. som ingår i byggprodukter. Under förutsättning att ingående metaller byts ut mot aluminium kan realistiska försök utföras.

Sprickor i trämaterial är problematiska att mäta. Genom en i projektet utvecklad trösklingsmetod kan man säga att sprickors utsträckning kan mätas med en noggrannhet av 0.1-0.2 mm.

## 8 Referenser

Bengtsson C. Johansson C.J., (2002). GIROO-Glued in Rods for Timber structures. SP Rapport 2002:26, Borås.

Cherepanova Ekaterina, 2011. Crack size in glulam beams, elevrapport , Luleå Tekniska Universitet, Institutionen för LTU Skellefteå, Träteknik, 2011-01-14

Danvind J., (2001). Measuring strain and moisture content in a cross section of drying wood using Digital Speckle Photography and X-ray Computerized Tomography. In: Proceedings of 13<sup>th</sup> International Symposium on Non-destructive Testing of Wood, 19-21 August 2002, Berkley, California, USA.

Eurokod 5 (2004). SS-EN 1995-1-1:2004 Eurocod 5, Design of timber structure. Part 1-1 General – Common rules and rules for buildings.

Herman G.T., (1980). Image reconstruction from projections: the fundamentals of computerized tomography. New York: Academic Press.

ImageJ 2010 (<http://rsbweb.nih.gov/ij/download.html>)

Johansson C-J, Clang A, Johansson I, Berggren G 2013. CT scanning of decay in creosoted poles for overhead lines Proceedings IRG Annual meeting (ISSN 2000-8953) Stockholm Sweden 17-20 June, IRG/13-30634.

Lindberg H. Lindberg L. Lindgren O. Grundberg S., (1990). Mätning av trädensitet och fukttinhåll i trä - kalibrering av datortomograf, TräteknikCentrum, Rapport I 9012069.

Lindgren O., (1992). Medical CT-Scanner for Non-Destructive Wood Density and Moisture Content Measurements, Doctorial Thesis, Luleå University of Technology, Department of Wood Technology, Skellefteå Campus, 1992:111D, ISSN 0348-8373.

Pousette, Anna (2012), Skjuvhållfasthet för limträbalkar – balkar utsatta för extrema fuktvariationer, SP Trä, SP Rapport 2012:68

Riberholt H., (1986). Glued Bolts in Gluelam, Report No 210, Department of Structural Engineering, Technical University of Denmark, Ljungby, ISBN 87-87336-1.

Ryadchikov Alexey 2012. CT-scanning of cracks in glulam beams – measurability and possibilities, Master program in Wood Technology, Luleå University of Technology campus Skellefteå.

Sandberg K. Gustafsson A. Lindgren O., (2009). Utvärdering av datortomografi för byggkomponenter. SP Träteknik SP, Rapport 2009:39.

Sandberg K. Gustafsson A Lindgren O. (2010). Tomografering av byggkomponenter, Utveckling av metod för fuktkvots- och sprickmätning med datortomografi och bildbehandling, Bygg och Mekanik, SP Rapport 2010:74.

Sandberg K., (2006). Modelling water sorption gradients in spruce using CT scanned data, New Zealand Journal of Forestry Science 36 (2/3):347–364.

Sandberg K, Mostolygin K, Hagman O, 2013. Effect of lamellas annual-ring orientation on cracking of glulam beams investigated with computer tomography and image

processing Wood Material Science and Engineering, 2013, DOI: 10.1080/17480272.2013.789551.

Sandberg K 2013. Moisture distribution in glulam beams with natural cracks observed with CT scanning before and after rain. Proceedings IRG Annual meeting (ISSN 2000-8953) Stockholm Sweden 17-20 June, IRG/13-20534.

Sandberg K, Mostolygin K, Hagman O, 2013. Effect of lamellas annual-ring orientation on cracking of glulam beams investigated with computer tomography and image processing Wood Material Science and Engineering, 2013, DOI: 10.1080/17480272.2013.789551..

## Appendix I

**Macro för fuktkvotsmätning i datortomografibilder**

För att installera macro:

- markera txt nedan
- kopiera
- öppna ImageJ
- öppna Plugin – Macros-install/edit
- klistra in den kopierade texten
- spara under ImageJ - Macros

Sedan är det bara att köra!

```
// MC from CT single macro version 0.9.0.0
// Instruction: Place this file in [ImageJ installation folder]\plugins\Macros
print("");
print('ImageJ macro written by');
print('Simon Dahlquist');
print('SP Tr% - SkellefteÅ');
print('simon.dahlquist@sp.se');
print("");
print('Open source image - CT with searched MC');
open();
sourceName = getTitle();
sourceFile = File.name();
SourceDir = File.directory();

print('Open target image - CT with reference MC');
open();
targetName = getTitle();
targetFile = File.name();
targetDir = File.directory();
print("Unwarping image...");
run("bUnwarpJ", "source_image=[" + sourceName + "] target_image=[" + targetName +
"] registration=Fast image_subsample_factor=0 initial_deformation=[Very Coarse]
final_deformation=[Very Coarse] divergence_weight=0 curl_weight=0
landmark_weight=0 image_weight=1 consistency_weight=10 stop_threshold=0.01");
print("Unwrapping done");
print("Gets images from stack");
run("Stack to Images");
print("Subtracting image");
imageCalculator("Subtract create", "Target Image", "Registered Target Image");
print("Wrapping and subtraction done");
selectWindow("Result of Target Image");
var width = getWidth();
//print("Width: " + width);
var height = getHeight();
//print("Height: " + height);
for (var x=0; x<width; x++)
{
    for (var y=0; y<height; y++)
    {
        var pixel = getPixel(x,y);
        if (pixel<66)
```

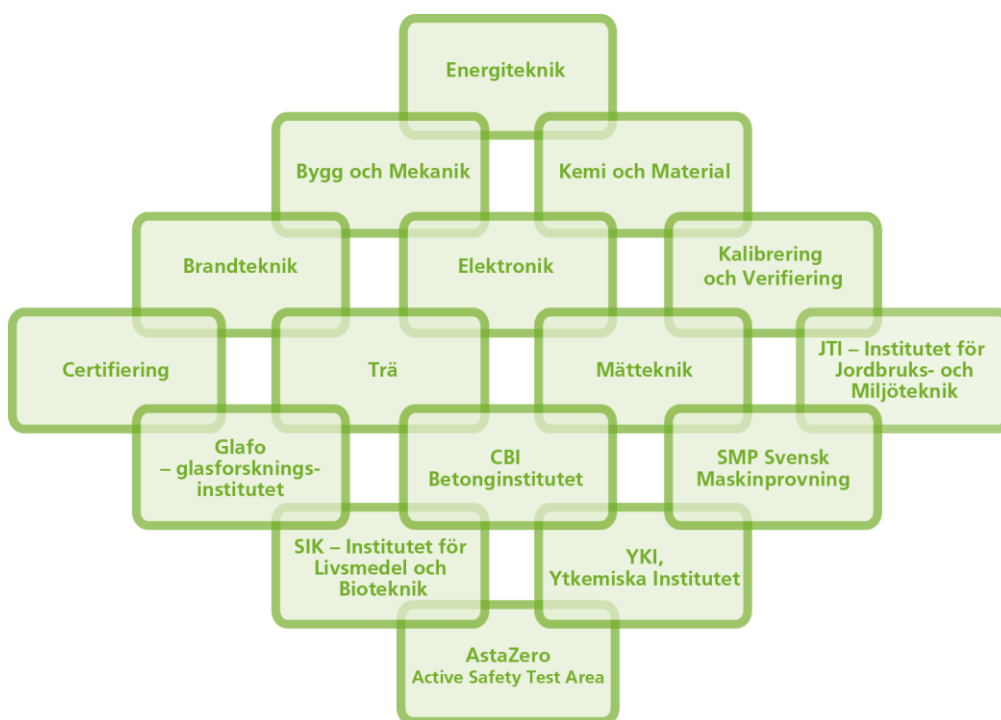


```
        {
            pixel=pixel/2.2;
        }
        else
        {
            pixel=(pixel-66)/4.4 + 30;
        }
        setPixel(x,y);
    }
}
```

```
//Auto contrast the result
run("Enhance Contrast", "saturated=0.35");
saveAs("Tiff");
resultPath = File.directory() + File.name();
print("Result image saved as " + resultPath);
run("Close All");
open(sourceDir + sourceFile);
open(targetDir + targetFile);
open(resultPath);
selectWindow("Log");
print('Macro finished');
```

### SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Vi arbetar med innovation och värdeskapande teknikutveckling. Genom att vi har Sveriges bredaste och mest kvalificerade resurser för teknisk utvärdering, mätteknik, forskning och utveckling har vi stor betydelse för näringslivets konkurrenskraft och hållbara utveckling. Vår forskning sker i nära samarbete med universitet och högskolor och bland våra cirka 10000 kunder finns allt från nytänkande småföretag till internationella koncerner.



### SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Box 857, 501 15 BORÅS

Telefon: 010-516 50 00, Telefax: 033-13 55 02

E-post: [info@sp.se](mailto:info@sp.se), Internet: [www.sp.se](http://www.sp.se)

[www.sp.se](http://www.sp.se)

Mer information om SP:s publikationer: [www.sp.se/publ](http://www.sp.se/publ)

SP Trä

SP Rapport :2013:63

ISSN 0284-5172

### **Om TräCentrum Norr**

TräCentrum Norr finansieras av de deltagande parterna tillsammans med medel från Europeiska Regionala Utvecklingsfonden (Mål 2), Länsstyrelsen i Norrbottens län samt Region Västerbotten.

Deltagande parter i TräCentrum Norr är: Lindbäcks Bygg, Martinsons Trä, SCA Forest Products, Norra Skogsägarna, Sågverken Mellansverige, SÅGAB, Sveaskog, Plusshus Luleå tekniska universitet, Skellefteå kommun och Piteå kommun.



*En investering för framtiden*

