



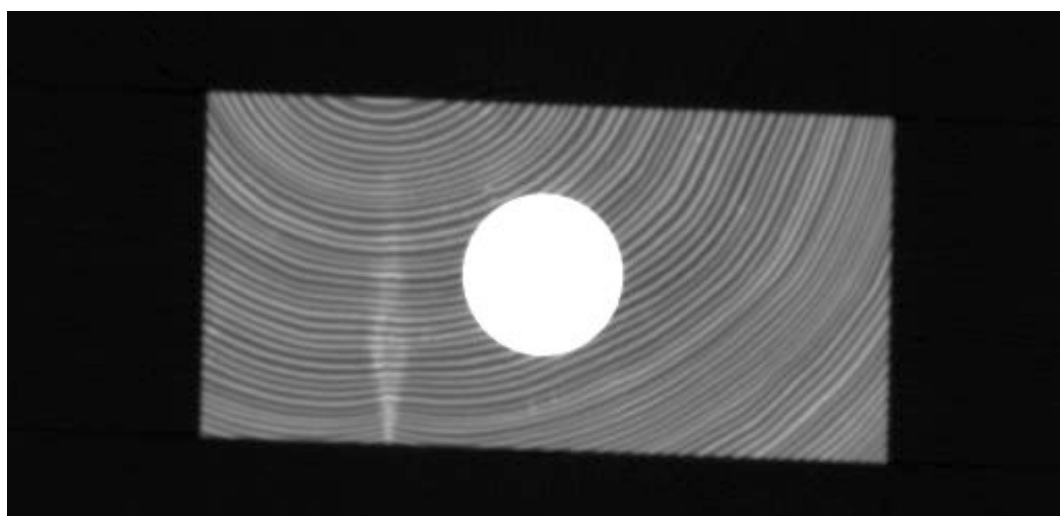
Utvärdering av datortomografi för byggkomponenter

Slutrapport

Karin Sandberg
Anders Gustafsson
Owe Lindgren

Utvärdering av datortomografi för byggkomponenter

Karin Sandberg, Anders Gustafsson, Owe Lindgren



Utvärdering av datortomografi för byggkomponenter

Karin Sandberg, Anders Gustafsson, Owe Lindgren

Abstract

The goal of the project was to evaluate whether CT-scanning is a method for future investigations of wood products to improve strength and durability.

The specific aims were to establish measurement basics to CT-scan wood products to be able to study them under changing different prerequisites like moisture and temperature non-destructively in three dimensions.

Influence on measurement accuracy by object size, object shape and object edges using different reconstruction algorithms have been studied. Furthermore, CT-scanning of different prototypes including aluminum inserts have also been studied. Aluminum was chosen as inclusion material as metals like copper and iron and other materials showing higher densities and higher atomic numbers can not be studied due to used X-ray energies in medical CT-scanning.

The results show that the CT-scanner used, a Siemens Emotion Duo, can be used in a reliable way to study wood components regardless of shape, edges and holes in objects up to a diameter of 700mm (the diameter in the CT-scanner gantry).

Measurement accuracy in the individual pixel is $\pm 2 \text{ kg/m}^3$ using the Shepp reconstruction algorithm that corresponds to $\pm 1 \%$ moisture content in wood. Hence, an accuracy of $\pm 2 \text{ kg/m}^3$ can be expected in a $1 \times 1 \times 5 \text{ mm}$ volume at 95% significance level.

It is also possible to CT-scan wood products containing sheets of aluminum, tubes of aluminum and aluminum cylinders up to a diameter of 40mm with acceptable accuracies.

The practical application of the result is that CT-scanning combined with image processing can be used for non-destructive, non-contact and 3-D studies of outdoor wood constructions during water sorption and desorption inducing swelling and shrinking, delaminations, crack development etc of the wood-/aluminumproduct.

Key words:

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Rapport 2009:39
ISBN 978-91-86319-27-4
ISSN 0284-5172
Skellefteå

Innehållsförteckning

Förord	3
Sammanfattning	6
1. Inledning	7
1.1 Bakgrund	7
1.2 Datortomografi	7
1.3 Målsättning och inriktning	8
2. Metodutveckling	9
2.1 Mätnoggrannhet inuti trämaterialiet	9
2.2 Kantrekonstruktion	9
2.3 Inverkan av provkroppens storlek på CT-talet	10
2.4 Inverkan av provkroppens form på CT-talet	11
2.5 Inverkan av håligheter i provkroppens centrum på CT-talet	12
2.6 Inverkan av metall	13
3. Resultat och diskussion	15
3.1 Mätnoggrannhet inuti trämaterialiet	15
3.2 Kantrekonstruktion	15
3.3 Inverkan av provkroppens storlek på CT-talet	16
3.4 Inverkan av provkroppens form på CT-talet	17
3.5 Inverkan av håligheter i provkroppens centrum på CT-talet	17
3.6 Inverkan av metall	18
4. Slutsats	21
5. Referenser	22

Förord

Luleå tekniska universitets institution och SP Trätek i Skellefteå är kända över hela världen för användningen av datortomografi. Ett område som dock inte berörts ännu är metodens användning för byggkomponenter. Detta beror på att det inte är självklart vad som händer när trämaterial utformade till komponenter ska datortomograferas. Grundtillämpningen för en datortomografi förutsätter att det är en människa som undersöks. För att undersöka möjligheterna att använda tomografi för vidareutveckling av byggprodukter initierades en förstudie; ”Samverkan mellan trä och metall i utomhuskonstruktioner”. Tillsammans med träindustrin har SP Trätek och Luleå tekniska universitet (LTU) i Skellefteå utvärderat användning av datortomografering för sammansatta komponenter. Projektet finansierades av TräCentrum Norr (TCN) som är en centrumbildning vid Luleå tekniska universitet i Skellefteå.

Ett stort tack till alla som har deltagit och bidragit till att projektet kunde genomföras. Ett speciellt tack till de personer som aktivt har bidragit till i projektet Owe Lindgren (LTU), Anders Gustafsson (SP Trätek), Göran Forsberg (SP Trätek), Bengt Abellsson, (Martinsons Byggsystem), Eric Borgström (Setra Trävaror/Långshytte Limträ), Rune Karlsson (Setra Trävaror/Långshytte Limträ) och Lennart Wilhemsson, (SCA).

Skellefteå september 2009

Karin Sandberg, (SP Trätek), projektledare

Sammanfattning

Målet med projektet var att undersöka om datortomografi är en metod för framtida utvärdering av sammansatta produkter till gagn för ökad hållfasthet och beständighet.

Inriktningen på projektet var att fastställa de mättekniska grunderna för att tomografera sammansatta träprodukter och därigenom ges möjlighet att studera träkonstruktioner under olika påfrestningar som vatten och temperaturförändringar i tre dimensioner.

Storlek och kanteffekter på prototyper har studerats samt mätnoggrannheten och olika konstruktionsalgoritmer har jämförts. Dessutom har tomografering av prototyper med aluminium istället för stål utförts eftersom metaller som koppar och järn med hög densitet inte kan tomograferas då densiteten och atomnumren är för höga.

Resultatet av försöken är att tomografen, en Simens Emotion Duo, kan användas på ett tillförlitligt sätt för att studera komponenter av trä oavsett form, kanteffekter och håligheter i prototypen för föremål upp 700 mm i diameter, vilket motsvarar öppningen i datortomografen. Mätnoggrannheten i den individuella bildpunkten är $\pm 2 \text{ kg/m}^3$, när man använder Shepps rekonstruktionsalgoritm, vilket motsvarar en fuktkvotsprocent. Vi kan därför förvänta oss en mätnoggrannhet av $\pm 2 \text{ kg/m}^3$ i en volym av $1 \times 1 \times 5 \text{ mm}^3$ med 95% signifikansnivå vid mätningar inuti en provkropp av trä. Det är även möjligt att tomografera trä med inslitsade dymlingar av aluminium och aluminiumrör med en diameter 40 mm med gott resultat.

Den praktiska tillämpningen av resultatet är att det med tomografering och bildbehandling är möjligt att oförstörande och i tre dimensioner studera utomhuskonstruktioner av trä. Därigenom är det möjligt att studera påfrestningar på konstruktionsdetaljer och förband under vattenupptagning, fuktförändringar som förorsakar rörelser (krympning/svällning), delaminering etc.

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Sedan mitten 1980-talet har forskning pågått vid SP Trätek och Luleå tekniska universitet (LTU) i Skellefteå där tomografer har använts för studier av trä och andra polymerer. Forskningen har resulterat i industriella tillämpningar med förbättrad kvalitetssortering på sågverk. Arbetet har hittills varit inriktat på trämaterial och enskilda produkter. Områden där tomografering och bildbehandling har använts är för detektering av egenskaper hos trä som bestämning av densitet, kvist detektering, tjurved, torkning, vattenupptagning (Lindgren 1985, Lindgren 1991, Hagman & Grundberg 1995, Oja 1998, Nyström & Öhman 2002, Danvind & Synnergren 2001, Wiberg 1995, Sandberg 2006, Johanson et al 2006). Även träpaneler under olika behandlingar har undersökts med datortomografi (Svensson & Nussbaum 1989, Gustafsson 1991, Ekstedt 1992). Däremot saknas erfarenhet av forskning på sammansatta material dvs trä tillsammans med andra material som metall och glas etc. Problemet är att röntgenstrålningen i datortomografer inte kan penetrera stål och beräkningsalgoritmerna är framtagna för röntgen av kroppar som har mjuka former och inte raka linjer och därför krävs en metodutveckling. För att kunna utnyttja datatomografi för byggprodukter krävs att adekvat information kan hämtas från tomografibilderna även för sammansatta produkter.

Genom att använda tomograf för att studera byggdelar kan en bättre förståelse för förbandens funktion, beständighet över tid, utformning etc uppnås. Detta gäller för både lastupptagande delar såväl som för detaljer i byggnadens väderskärm. 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 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 försämrad vidhäftning, korrosion och sprickbildning.

Möjligheten att tomografera konstruktionsdelar kan leda till bättre möjligheter att förutsäga trämaterialens bärförmåga och beständighet i utomhuskonstruktioner. Inslitsade plåtar, utformning av tätningar, dymlingar, inlimmade stänger är några exempel där klimatpåverkan har stor betydelse (Bengtsson & Johansson 2002, Riberholt 1986, Eurocod 2004). Genom att bättre kunna förutsäga långtidspåverkan för yttre miljö kan säkra och effektiva förband utformas och ge ökade möjligheter till högre utnyttjandegrad för konstruktioner under en längre tid.

1.1 Datortomografi

Datortomografi (CT skanning) är en oförstörande provningsmetod som gör det möjligt att studera insidan av trä visuellt i bilder. 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 röntgenstrålningskoefficienter 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 μ_{water} och absorptionskoefficienten för det testade materialet μ_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 (pixels) som representerar en volym med en viss bredd på röntgenstrålen. Genom att sammanställa flera bilder längs med provbiten kan tredimensionella bilder byggas upp.

Med nuvarande befintliga algoritmer anpassade för tomografering är det möjligt att exempelvis studera tumörer och blödningar i hjärnan. Även kroppens minsta föremål – benen i örat – kan studeras.

1.2 Målsättning och inriktning

Målet med projektet var att undersöka om datortomografi är en metod för framtida utvärdering av sammansatta produkter till gagn för ökad hållfasthet och beständighet.

Inriktningen på projektet var att fastställa de metodiska grunderna för att tomografera sammansatta träprodukter med olika algoritmer för att fastställa inverkan av dimension, tillåtna tvärsnitt, kantreduktion och håligheter i prototyperna på röntgenbilderna. Samt undersöka om det går att utvärdera prototyper innehållande dymlingar, plåtar av aluminium eftersom det inte går att tomografera metaller med hög densitet.

2. Metodutveckling

Vid försöken användes en tomograf av märket Siemens Emotion Duo placerad vid Luleå tekniska universitet campus Skellefteå, se figur 1. Röntgenstrålningen kommer från frigörandet av röntgenkvanta från ett röntgenrör med Wolframanod med accelerationsspänningen 110 kV.



Figur 1. Bild av tomograf Siemens Somatom Emotion Duo. I mitten av öppningen ligger provkroppen.

Röntgenkvanta som passerar provet räknas av 720 stycken dioder, detektorer som omvandlas till en intensitetsprofil proportionellt mot provets densitet och medelatomnummer. Vid försöken har en strålbredd av 5 mm används på röntgenstrålen.

För att kartlägga vilka eventuella anpassningar av rekonstruktionsalgoritm som behövs för bra tomografibilder undersöktes följande, mätnoggrannhet inuti trämaterial, kanteffekter, inverkan av provkroppens storlek, form och håligheter i prototypen på CT-talen samt inverkan av aluminium.

2.1 Mätnoggrannhet inuti trämaterial

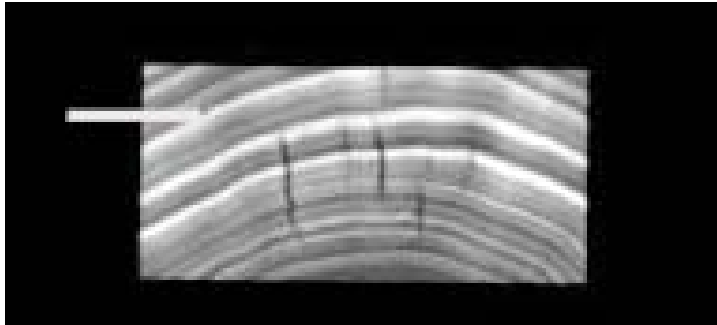
Först gjordes en undersökning för att få en uppfattning om vilken mätnoggrannhet man får vid mätningarna inuti materialet och vilken rekonstruktionsalgoritm som ska användas. För att få en uppfattning om mätnoggrannheten är tillvägagångssättet att man tomograferar ett tvärsnitt av en provkropp. Därefter gör man om proceduren så att man får två identiskt samplade bilder. Sedan subtraherar man de två bilderna från varandra för att få fram mätbruset dvs det fel som tomografen ger i bildpunkternas s.k. CT-tal. Till försöket användes en provkropp av furu 50 x 100 mm och sju olika algoritmer undersöktes. För att kontrollera repositioneringen av provbitarna borrades referenspunkter i provbitarna se figur 3 och 4.

2.2 Kantrekonstruktion

Som andra del i projektet undersöktes hur bra provobjektets kant, det vill säga hoppet i densitet mellan omkringliggande luft och de första bildpunkterna inuti trämaterial vid kanten, kan rekonstrueras. Det är nämligen matematiskt omöjligt för tomografen att exakt kunna rekonstruera detta skarpa hopp i

densiteten. För att ta reda på hur “bra” respektive algoritm är på att hantera övergångarna och fastställa vilken rekonstruktionsalgoritm som är lämpligast att använda gjordes mätningar på provbit enligt figur 2.

Här gjordes så att ett enda tvärsnitt tomograferades. De rådata som då insamlades användes för att rekonstruera bilden med olika rekonstruktionsalgoritmer. I dessa bilder uppmättes densitetsprofilen mellan luft och trä.



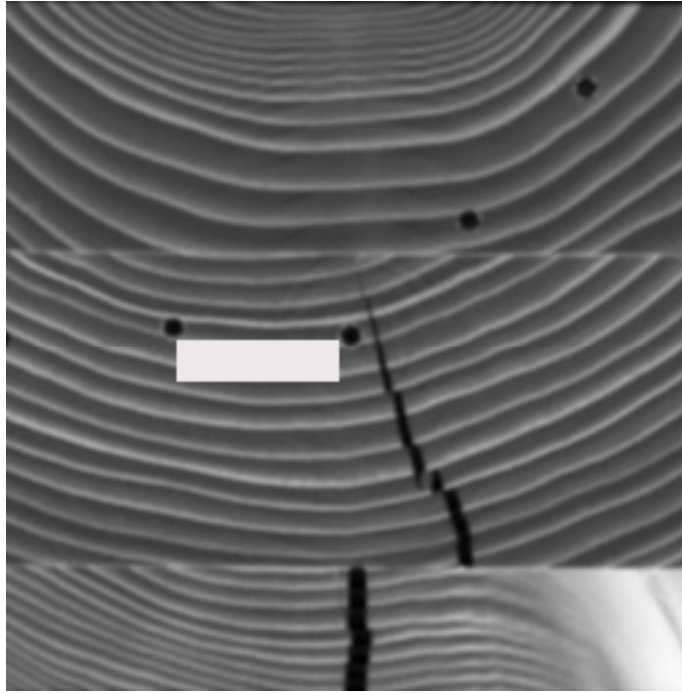
Figur 2. Provkropp av trä där det vita strecket vid övre vänstra hörnet visar var densiteten vid kanten uppmättes.

2.3 Inverkan av provkroppens storlek på CT-talet

I det tredje försöket undersöktes vilken inverkan provobjektets storlek har på CT-talet inuti trämaterial. Rent röntgenfysikaliskt måste mätvärdena visa att trämaterialens densitet är högre i mitten av provföremålet på grund av s.k. strålningshärdning. Frågan är hur stor den inverkan är och om den måste ingå i beräkningarna vid exempelvis svällning eller torkning av trämaterial.

Röntgenstrålningen i datortomografen kommer från ett röntgenrör av Wolfram. På grund av att man använder ett röntgenrör får man inte så väldefinierad strålning som från röntgenistotoper som Iridium. Däremot får man väldigt många röntgenkvanta som snabbar upp mätningstiden till 1 sekund istället för timtal. Detta innebär att om röntgenstrålningen från ett röntgenrör passerar ett tjockare föremål så kommer proportionerligt sett fler lågenergetiska röntgenkvanta absorberas i materialet än om det är ett tunnare föremål. Detta kommer att avläsas så att ett tjockare föremål kommer att få en högre densitet än ett tunnare föremål. Frågan är hur stor den här effekten som kallas för strålningshärdning är vid mätningar med datortomografi på sammansatta träprodukter.

Till försöket tillverkades en provkropp bestående av lameller så att den liknar en limträbalk av dimensionerna $200 \times 200 \times 500 \text{ mm}^3$ med referenspunkter. Därefter hyvlades tvärsnittet ner till $100 \times 100 \text{ mm}^2$ i steg om 20 mm per vardera sida varvid en tomografibild rekonstruerades i samma position med samma upplösning vid samtliga mättillfällen. I området mellan den mittersta referenspunkten fram till den första referenspunkten till vänster uppmättes medelvärden av CT-talen i ett $22 \times 10 \text{ mm}^2$ mätområde i samtliga bilder. I Figur 3 visas en tomografibild av lameller så att den liknar en limträbalk med referenspunkter ca 10 mm in från ena änden.

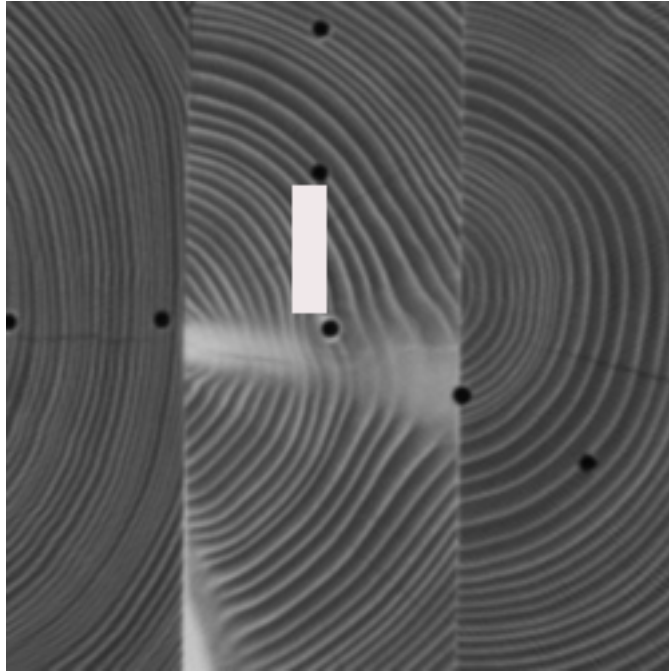


Figur 3. Tomografibild av limmade lameller av gran med borrhade referenspunkter som syns som svarta hål. I de nedre lamellerna syns sprickor och nere i högra hörnet syns en kvist med hög densitet som ett ljusare område. Mellan den mittersta referenspunkten fram till den första referenspunkten till vänster uppmättes medelvärdet av CT-talen i ett $22 \times 10 \text{ mm}^2$ mätområde i samtliga bilder.

I äldre tomografer har man varit tvungna att lösa detta problem genom att montera provkropparna i centrum av någon form av hållare med cirkulärt tvärsnitt (Lindberg et al 1990). Då får man lika lång gångväg för röntgenstrålningen i alla riktningar.

2.4 Inverkan av provkroppens form på CT-talet

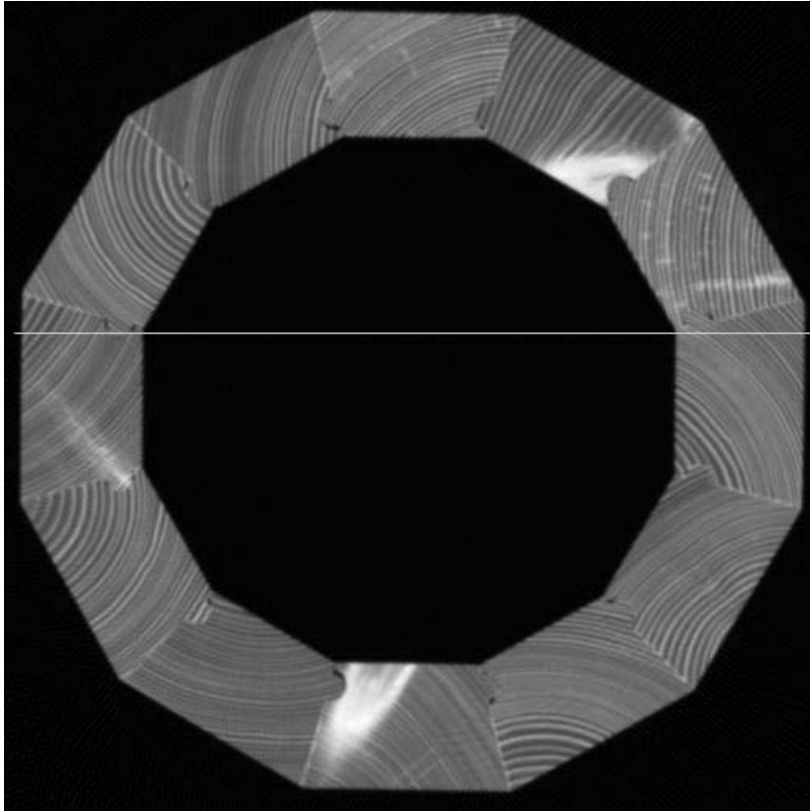
I det fjärde försöket undersöktes provobjektets form och hur det påverkar CT-talet på grund av precis samma anledning som under punkt 2.3. Därför tillverkades en ny provkropp som liknar en limträbalk med referenspunkter enligt ovan. Ursprungsdimensionen var $380 \times 190 \text{ mm}$. 10 mm in från ena änden togs en bild som senare digitalt förstörades till $110 \times 110 \text{ mm}$. Därefter hyvlades balkens rektangulära tvärsnitt ned till $190 \times 190 \text{ mm}$ i steg om 40 mm i vardera riktningen. Mätningarna genomfördes i ett $22 \times 10 \text{ mm}^2$ mätområde mellan den mittersta referenspunkten och första övre referenspunkten vilket visas i figur 4.



Figur 4. Exempel på tomografi-bild med referenspunkter som framträder som svarta hål. Mätningarna genomfördes i ett $22 \times 10 \text{ mm}^2$ mätområde markerat som vitt i figuren.

2.5 Inverkan av håligheter i provkroppens centrum på CT-talet

Ett problem som tidigare uppträtt vid mätningar på trämaterial är att om man hade hålighet i centrum av provobjektet så blev profilerna som uppmättes i det utanförliggande trämaterialiet inte horisontella utan hade konstanta lutningar. Därför tomograferades en ComWoodstolpe som var ca 500 mm lång med och utan påfyllt material i mitten av objektet. I bilden drogs en linje från luft till luft i den parallelltrapetsformade delen. Bilden och linjen där densitetsprofilen mätts framgår av figur 5.



Figur 5: Tomografibild av en ComWoodstolpe som tomograferades ca 40 mm in från ena änden. Det vita strecket visar var mätningarna i bilden utfördes.

2.6 Inverkan av metall

Ett problem vid tomografering av byggprodukter är de ofta innehåller ett annat material förutom trä. Här uppträder problemet att det går utmärkt att tomografera trä men metaller som koppar och järn med hög densitet inte kan tomograferas. Datortomografernas materialgräns brukar sägas vara aluminium och det har tidigare visats att man med vissa begränsningar kan tomografera inte alltför stora tvärsnitt av aluminium i en medicinsk datortomograf. Därför valdes aluminium till prototyperna.

Inverkan av dimensionen på aluminium

För att undersöka vilka dimensioner som är möjliga att använda tillverkades aluminiumstänger med olika diametrar 3, 5, 10, 15, 20, 25 och 40 mm som sedan monterades i centrum av en provkropp. Stängerna monterades i samma position medan stångens diameter ökade.

Tomografering av aluminiumplåt och dymlingar

För att undersöka om aluminiumplåt och dymlingar är möjliga att tomografera tillverkades en provkropp (115x315x400 mm³) med inslitsad aluminiumskiva med tjockleken 5 mm och dymlingar med diametern 10 mm och 100 mm lång. Placering av aluminiumskivan och dymlingar framgår av figur 6. Längd och utformning av dymlingarna ändrades för att påvisa eventuella effekter.



Figur 6. Foto av provkropp med aluminiumplåt och dymlingar.

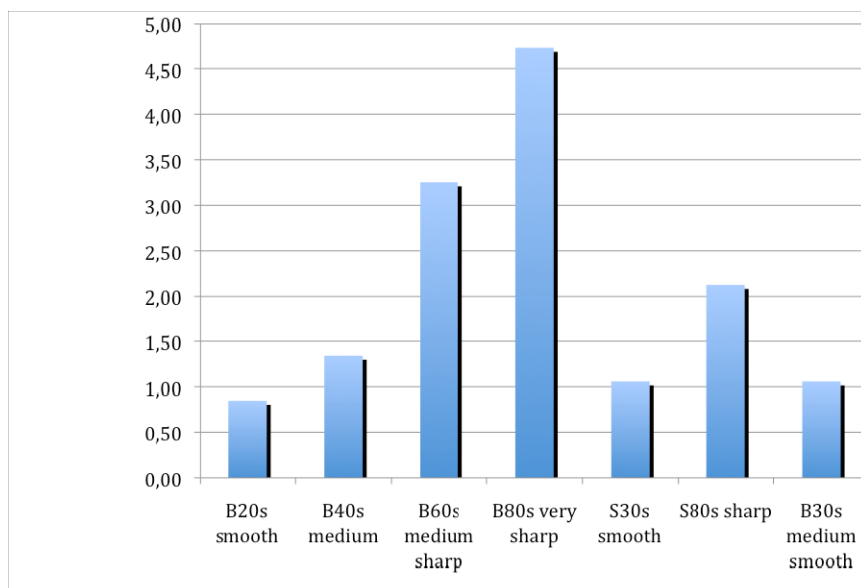
Klimatets inverkan av sprickor runt aluminium

För att studera sprickbildning och delaminering under utomhusexponering placerades en av prototyperna utomhus, se figur 6 och en placerades i konditionering. Före utplacering tomograferades provkroppen för att göra det möjligt att jämföra före och efter utomhusexponering.

3. Resultat och diskussion

3.1 Mätnoggrannhet inuti trämaterial

I figur 7 visar bruset för olika rekonstruktionsalgoritmer vid tomografering av gran med provkroppar 50 x 100 mm². Tomografen har många rekonstruktionsalgoritmer, förutom de egna även en standard-algoritm kallad Shepps rekonstruktions algoritm s (Bartlett & Swindell 1981). Algoritmen anges som ett S i början (t ex S80s) i inställningarna.



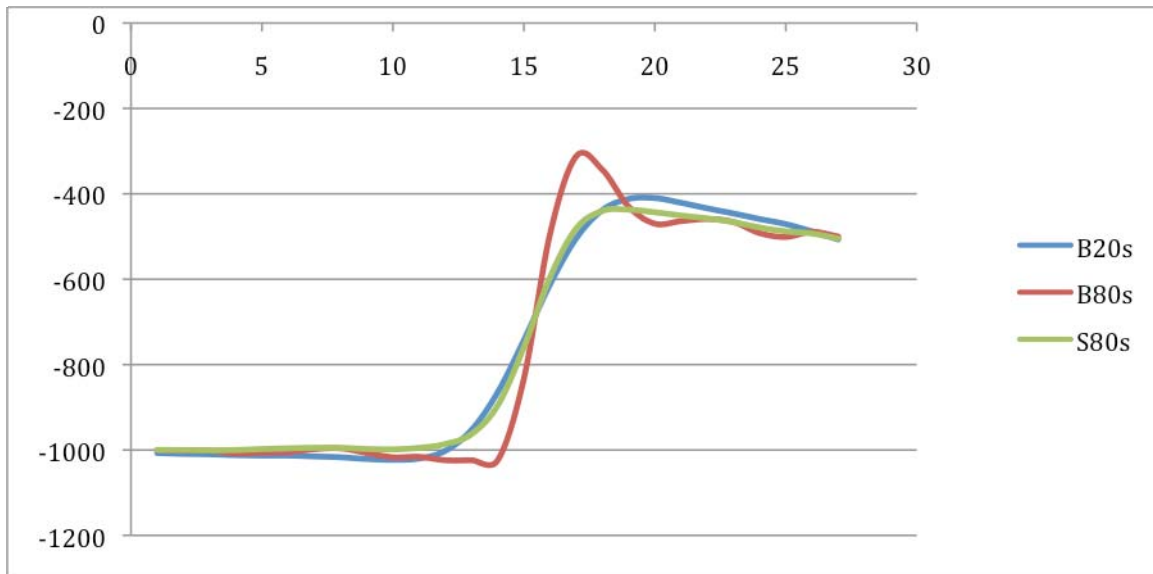
Figur 7. Olika rekonstruktionsalgoritmernas brus.

Resultatet visar att bruset är mycket lågt för alla s.k. smooth-algoritmer dvs B20s smooth, S30s smooth och B30s medium smooth. Skillnaden mellan S30s och S80s är att S80s har högre spatiell upplösning dvs den är bättre på att urskilja små föremål i bilden. Brusvärdet är dock väldigt lågt (± 2 CT-tal) och vi kan därför förvänta oss en mätnoggrannhet av ± 2 kg/m³ i en volym av 1 x 1 x 5 mm³ vid mätningar inuti en provkropp av trä, vilket motsvarar $\pm 1\%$ fuktkvotsprocent.

3.2 Kantrekonstruktion

Figur 2 användes för att utvärdera hur de olika algoritmerna rekonstruerar kanten mellan luft och trämaterial. Förhoppningen var att språnget från luft (-1000 CT-tal) till träet (-500 CT-tal) är inom några få pixelbredder.

Densitetsgradienten i kanten mellan luft och trä redovisas för tre olika algoritmer i Figur 8.



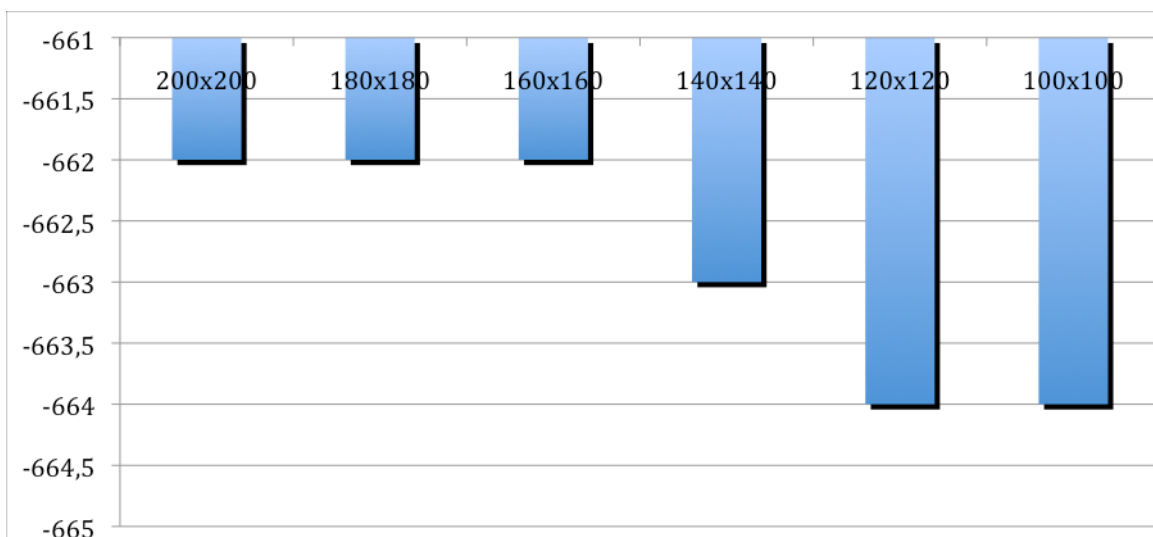
Figur 8. Tre olika rekonstruktionsalgoritmernas rekonstruktion av kanten luft-trä.

I figur 8 ser vi att Siemens algoritm B80s hoppar från luft till trä inom fyra pixelbredder. Den till och med överstyr mätningen så att den visar ett för högt densitetsvärde som första mätvärde inuti trämaterialiet. Siemens andra algoritm B20s behöver 8 pixelbredder för att hoppa från luft till trä. Algoritmen S80s som är Shepps algoritm hoppar från luft till trä inom sex pixelbredder.

Detta innebär att Siemens algoritm B80s är den bästa att använda i framtida försök.

3.3 Inverkan av provkroppens storlek på CT-talet

Figur 9 visar hur medelvärdet av CT-talet ökar med ökande storlek på provkroppen.



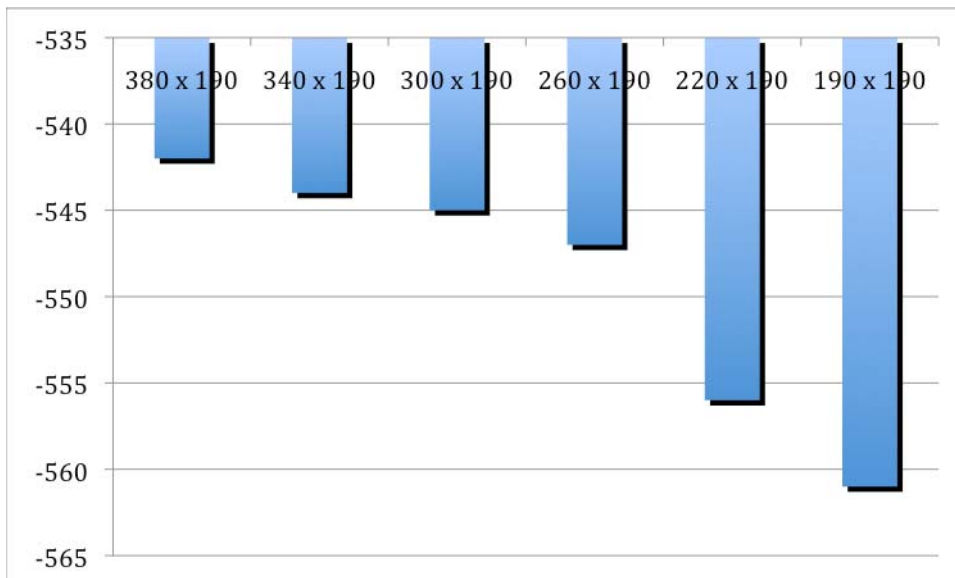
Figur 9. Ökning av CT-talets medelvärde beroende av provkroppens storlek.

I figur 9 ser man att medelvärdet av CT-talen ökar från -664 till -662 från minsta till största provkroppensstorlek. Detta är mycket låga värden och man kan med tillförsikt bortse från effekten.

Mätvärdena kommer knappt att påverkas när man mäter på samma provkropp som utsätts för långtidstidsförsök eftersom trämateriallets svällnings- eller krympningsrörelse är mycket mindre än de skillnader som användes i försöken.

3.4 Inverkan av provkroppens form på CT-talet

På grund av strålningshärdning ska CT-talet öka om ett objekt har längre bredd än höjd. Resultatet av provkroppens inverkan på CT-talet visas i figur 10.

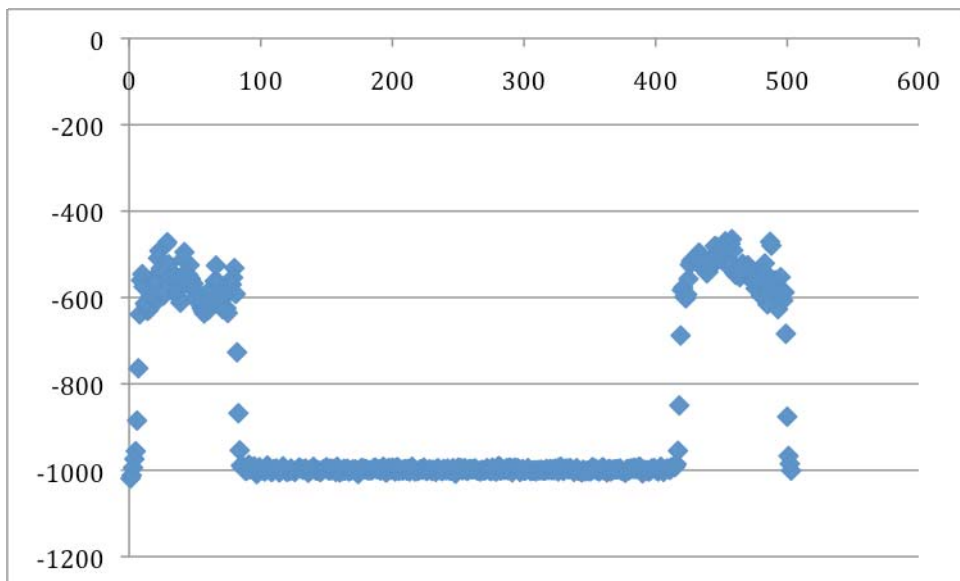


Figur 10. CT-talets ökning av medelvärdet på grund av ändrad form.

I figuren 10 framgår som väntat att medelvärdet ökar med ökad "rektangularitet". Förändringen är dock måttlig varför vi med trygghet kan genomföra mätningar även utan att använda någon form av hållare med cirkulärt tvärsnitt. Vid exaktare mätningar bör dock detta beaktas.

3.5 Inverkan av håligheter i provkroppens centrum på CT-talet

Densitetsvariationen längs en linje i en ComWood-stolpe framgår av figur 11.



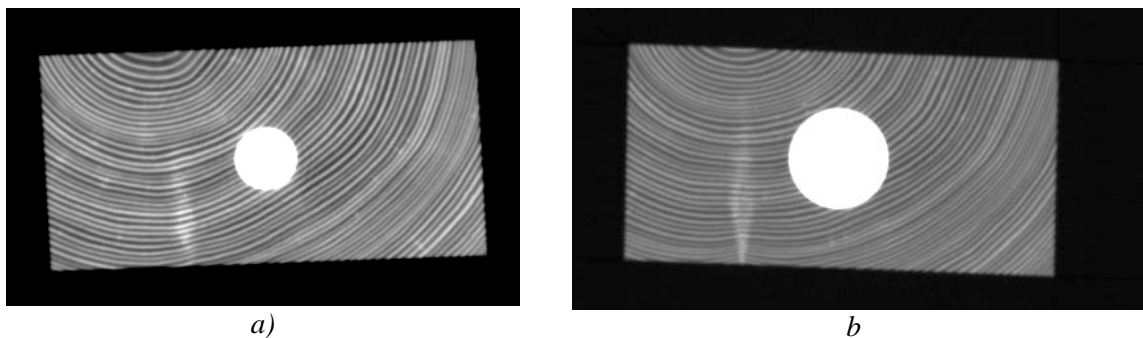
Figur 11. Densitetsprofil uppmätt från vänster till höger i figur 5.

I figur 11 ser man att densiteten inte avtar längs linjen utan ligger runt -600 CT-tal vilket innebär att det inte är nödvändigt att fylla upp centrum i en ihålig provkropp av trä. Vid användning av tidigare datortomografer har ett problem alltid uppstått när luft befinner sig i centrum av provobjektet och hela kurvan skulle ha lutat kraftigt ner åt höger.

3.6 Inverkan av metall

Inverkan av dimensionen på aluminium

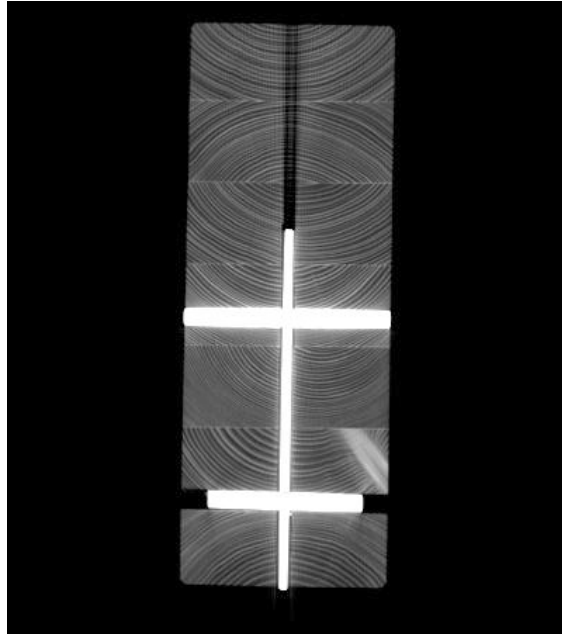
Tomografering av trä och aluminiumstänger med diametrar 3, 5, 10, 15, 20, 25 och 40 mm gav tydliga och skarpa bilder. I figur 12 visas resulterande tomografibilder av aluminiumstänger med olika diametrar monterade i en provkropp 55x110 mm.



Figur 12. Provkropp av furu med aluminium i mitten som framträder som en vit cirkel a) 15 mm, b) 40 mm.

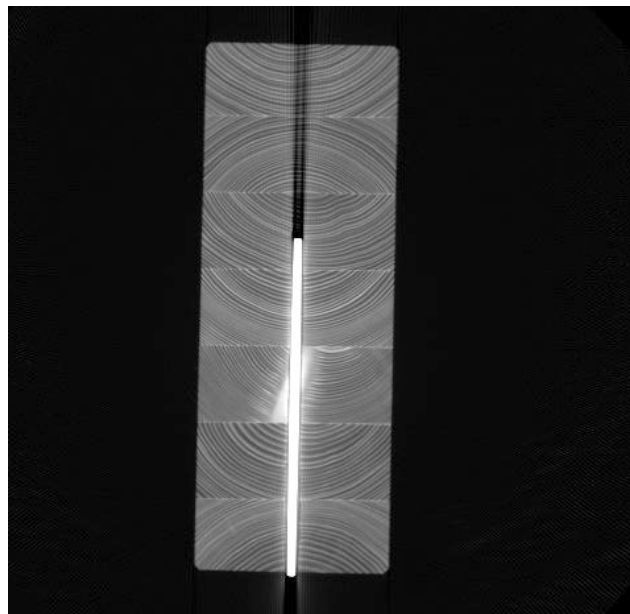
Tomografering av aluminiumplåt och dymlingar

Provkroppen tomograferades där dymlingar, aluminiumplåt, tätade dymlingar och otätade dymlingar fanns. I figur 13 är den översta dymlingen i liv med trämaterialen och den undre dymlingen börjar 10 mm in i materialet. Det är tydligt att detta inte påverkar mätvärdena.



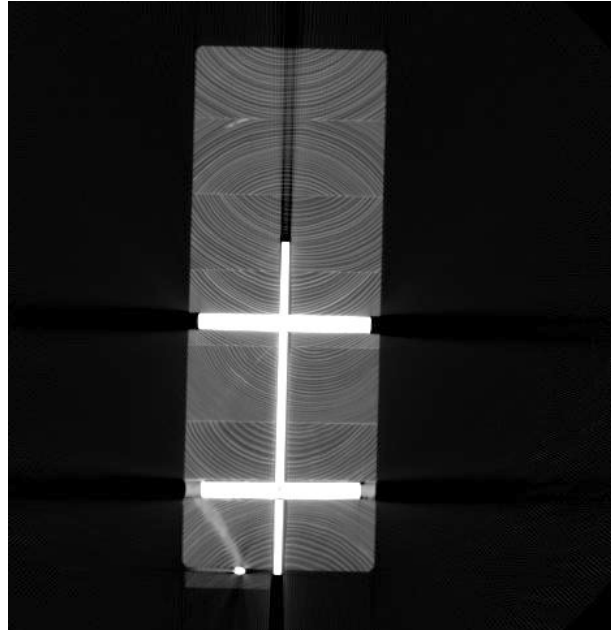
Figur 13: Limträ av gran med dymlingar av aluminium. I bilden framträder aluminiumet som vita streck. Övre dymlingen i liv med trämaterialen medan den nedre dymlingen börjar ca 10 mm in i trämaterialen.

Figur 14 visar tomografibilden där endast aluminiumplåt finns. Även här påverkas inte mätvärdena inne i trämaterialen av plåten. Däremot blir det problem i plåtens förlängning i luftspalten vilket man kan förvänta sig eftersom ytterst få kvanta kan tränga genom plåten.



Figur 14. Aluminiumplåt inslitsat i limträ.

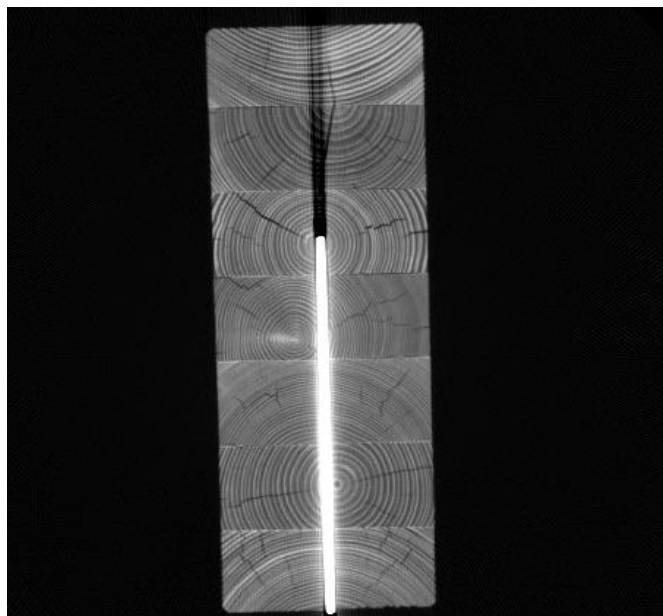
Figur 15 visar en försänkt övre dymling och en nedre dymling som tätats med fogmassa. Längst ner till vänster ses en liten vit prick. Det är kopian i en tumstocks ände som använts för att balansera provkroppen i datortomografen. Alldeles närmast ser man ett litet område där röntgenabsorptionen blivit hög beroende på kopparens närvaro.



Figur 15. Övre nedsänkt dymling och nedre nedsänkt dymling tätad med fogmassa.

Klimatets inverkan av sprickor runt aluminium

Efter utomhusexponering under tre månader från juli till september uppstod mindre sprickor i ändträet detta kan ses i tomografibilden i Figur 16.



Figur 16. Tomografibild av efter 3 månaders utomhusexponering ca 5 mm från änden. Sprickor i träet framträder tydligt.

I figuren kan man även se att en spricka har uppstått lodrätt till höger om luftspalten trots att detta är den maximalt ogynnsammaste mätriktningen för tomografen.

I figur 16 kan man även se att plåten har släppt högst upp och längst ner så att den har tappat kontakten med trä. I mittenområdet där kontakt finns mellan aluminium och trä verkar vatten ha ansamlats och inte hunnit torka ut helt och hållet.

4. Slutsats

Det går således utmärkt att tomografera aluminium utan att mätvärdena i trämaterial påverkas nämnvärt. Det innebär att om man vill studera byggprodukter och deras förändring med tiden så går det utmärkt under förutsättning att materialet i spikar, skruvar, bultar etc ersätts med material av aluminium.

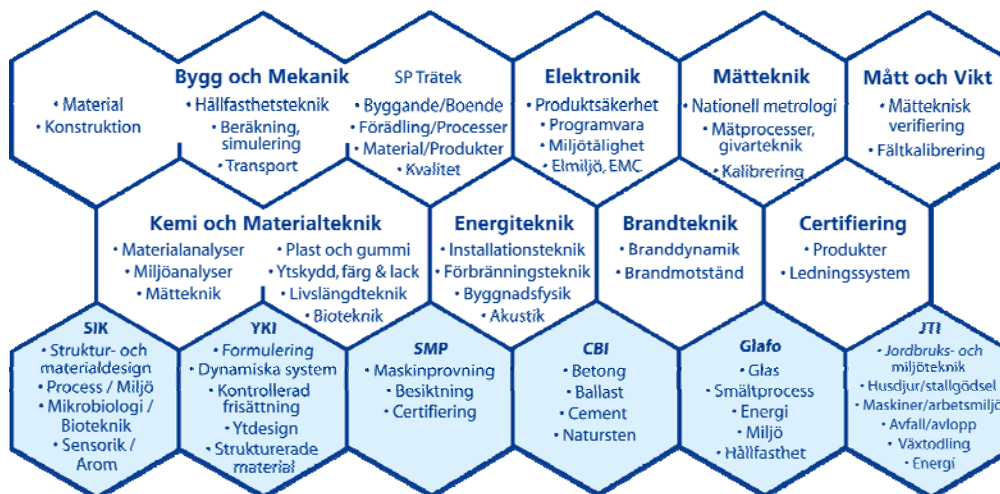
De försök som genomförts för att finna begränsningar i att använda datortomografi i olika byggapplikationer har alla gett positiva besked. Problem som följer på grund av geometrisk form, hålligheter, kantrokonstruktion, val av rekonstruktionsalgoritm i framtida försök, dymlingar etc kan övervinnas. De enda begränsningar som återstår är de förväntade som att provkroppen inte får vara större än att den går in i tomografen eller bestå av tyngre ämnen än aluminium.

Den praktiska tillämpningen av resultatet är att det med tomografering och bildbehandling är möjligt att oförstörande och i tre dimensioner studera utomhuskonstruktioner av trä. Därför är det möjligt att studera påfrestningar på konstruktionsdetaljer och förband under vattenupptagning, klimatförändringar som förorsakar rörelser (krympning/svällning), delaminering etc och dessa förändringar i tiden.

5. Referenser

- Bartlett H., Swindell W. (1981). Radiological Imaging: The theory of Image Formation, Detection and Processing. Academic Press 1981. Part II p 419
- Bengtsson C., Johansson C.J. (2002). GIROO-Glued in Rods for Timber structures. SP Rapport 2002:26, Borås.
- Danvind J. and Synnergren P. (2001). Method for measuring Shrinkage Behaviour of Drying wood using Digital Speckle Photography and X-ray Computerized Tomography. In: Proceedings of 7th International IRO Wood-drying Conference. July 9–13, 2001, Tsukuba, Japan pp. 276–281.
- Ekstedt, Jan (1992). Fuktfördelning i ytbehandlad utomhuspanel. Studier av fuktdynamik med hjälp av datortomografi, Träteknik Rapport I 9204027
- Hagman O., Grundberg S. (1995). Classification of Scots pine (*Pinus silvestris*) knots in density images from CT scanned logs. Holz als Roh –und Werkstoff 53: 75-81.
- Eurocod 5 (2004). 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.
- Gustafsson M. 1991. Upptagning av vatten i paneländrar, Träteknik Rapport I 9102005, Stockholm.
- Johansson D., Sehlstedt-Persson M., Morén T. (2006) Effect of heat treatment on capillary water absorption of heat treated pine, spruce and birch. Proceedings 5th IUFRO Symposium Wood Structure and Properties '06', September 3–6, Sliaň- Sielnica, Slovakia.
- Lindberg H., Lindberg L., Lindgren O., Grundberg S. (1990). Mätning av trädensitet och fukttinnehåll i trä - kalibrering av datortomograf, TräteknikCentrum, Rapport I 9012069.
- Lindgren O. (1985). Preliminary observations on the relationship between density/moisture content in wood and X-ray attenuation in computerized axial tomography. In: Proceedings of the 5th NDT of Wood Symposium, Pullman, Washington, USA.
- Lindgren O. (1991). Användning av datortomografi och bildbehandling för studium av fuktsorption i trämaterial. Träteknik Rapport I-9109063.
- Nyström J., Öhman M. (2002). Measurement of green plank shape for prediction and eliminations of compression wood. Scandinavian Journal of Forestry 17(4):377-384.
- Riberholt H. (1986). Glued Bolts in Gluelam Report No 210, Department of Structural Engineering, Technical University of Denmark, Ljungby, ISBN 87-87336-1.
- Sandberg K. (2006). Modelling water sorption gradients in spruce using CT scanned data. New Zealand Journal of Forestry Science 36(2/3):347–364.
- Svensson G., Nussbaum R. 1989, Vattenavvisande temporärt yttskydd av konstruktionsvirke, Träteknik Rapport I 8908031
- Oja J. (1998). Evaluation of knot parameters measured atomically in CT-images of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst). Holz als Roh und Werkstoff
- Wiberg P. (1995). Moisture distribution changes during drying. Holz Roh Werkst. 53(6):402

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut utvecklar och förmedlar teknik för näringslivets utveckling och konkurrenskraft och för säkerhet, hållbar tillväxt och god miljö i samhället. Vi har Sveriges bredaste och mest kvalificerade resurser för teknisk utvärdering, mätteknik, forskning och utveckling. Vår forskning sker i nära samverkan med högskola, universitet och internationella kolleger. Vi är ca 870 medarbetare som bygger våra tjänster på kompetens, effektivitet, opartiskhet och internationell acceptans.



SP är organiserat i åtta tekniska enheter och sex dotterbolag varav CBI, Glafo och JTI ägs till 60 % av SP och 40 % av industrin.



SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Box 857, 501 15 BORÅS

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

E-post: info@sp.se, Internet: www.sp.se

www.sp.se

SP Träteknik

SP Rapport 2009:39

ISBN 978-91-86319-27-4

ISSN 0284-5172

Om TräCentrum Norr

TräCentrum Norr finansieras av de deltagande parterna tillsammans med medel från Europeiska Utvecklingsfonden (Mål 2) och Länsstyrelserna i Västerbottens och Norrbottens län.

Deltagande parter i TräCentrum Norr är: Holmen Skog, Lindbäcks Bygg AB, Luleå tekniska universitet, Martinsons Group AB, Norra Skogsägarna, Finndomo AB, SCA Forest Products AB, Setra Group AB, Skellefteå kommun, Sveaskog AB, SÅGAB, Sågverken Mellansverige och SP Trätek.

Mer information om TräCentrum Norr finns på:
www.ltu.se/ske/tcn

En investering för framtiden



EUROPEISKA
UNIONEN
Europeiska
regionala
utvecklingsfonden