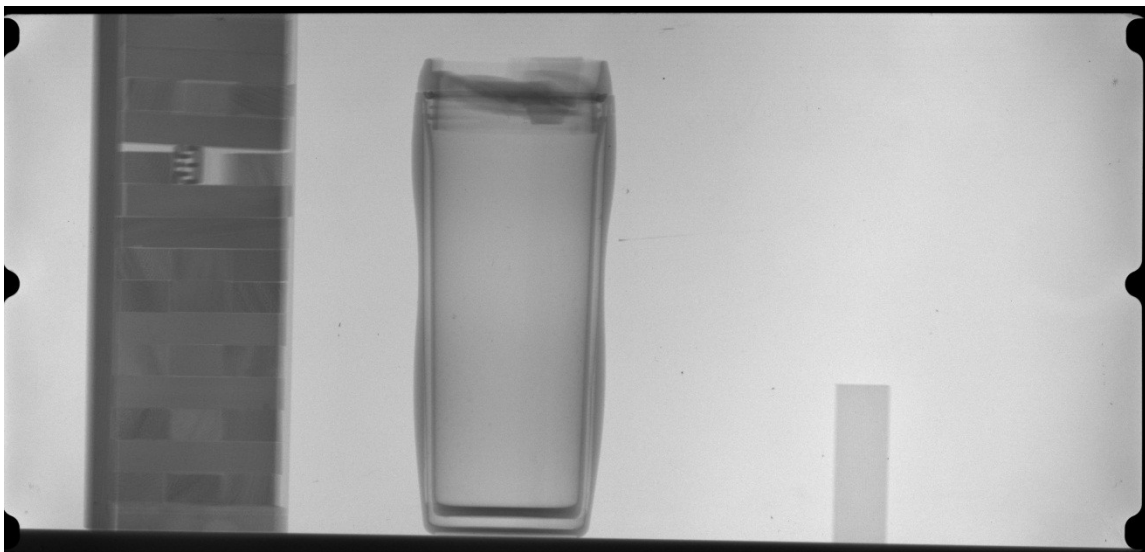


CHALMERS



Bestämning av materialegenskaper för trä

Röntgen, en oförstörande metod

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

MARTIN SABEL, STEFAN PROCHAZKA

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för Konstruktionsteknik
Stål- och träbyggnad
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2011
Examensarbete 2011: 106

EXAMENSARBETE 2011: 106

Bestämning av materialegenskaper för trä

Röntgen, en oförstörande metod

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

MARTIN SABEL, STEFAN PROCHAZKA

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för Konstruktionsteknik
Stål- och träbyggnad

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2011

Bestämning av materialegenskaper för trä

Röntgen, en oförstörande metod

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

MARTIN SABEL, STEFAN PROCHAZKA

© MARTIN SABEL, STEFAN PROCHAZKA, 2011

Examensarbete/Institutionen för bygg- och miljöteknik,
Chalmers tekniska högskola 2011: 106

Institutionen för bygg och miljöteknik

Avdelningen för Konstruktionsteknik

Stål- och träbyggnad

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslagsbild:

Testbild av ett Jenga spel och en termosmugg.

Chalmers reproservice/ Institutionen för bygg- och miljöteknik
Göteborg 2011

Bestämning av materialegenskaper för trä

Röntgen, en oförstörande metod

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

MARTIN SABEL, STEFAN PROCHAZKA

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för Konstruktionsteknik

Stål- och träbyggnad

Chalmers Tekniska Högskola

SAMMANFATTNING

Trä som byggmaterial är bland de äldsta byggmaterial människan använt. Det är starkt, flexibelt och vackert. Men nackdelen är materialet inte är så beständigt som exempelvis betong utan är både känsligt mot röta och skadeinsekter. Därför finns det idag många metoder för att undersöka materialet, både under produktion och i de färdiga byggnaderna. Tyvärr påverkar de flesta metoderna materialet negativt och lämnar spår. Därför börjar metoder som inte har denna nackdel slå igenom allt mer, så som akustiska och röntgen undersökningar.

Syftet med följande arbete är att avgöra om repeterbarhet kan påvisas hos den valda röntgenundersökningsmetoden av trä samt att undersöka vilka faktorer som kan komma att påverka resultatet.

Metoden går ut på att konditionera sju stycken provkroppar av Gran, Abachi, Al, Lind, Furu, Ek, Bok så de får en jämn fukthalt på 12 % som sedan röntgas med hjälp av en portabel röntgenutrustning. Även sex stycken provkroppar av Necuron röntgas. Därefter används datorprogrammet Photoshop för att få fram gråskalevärden på respektive provkropp. Dessa värden exporteras sedan till Excel där exempelvis standardavvikelse och konfidensintervall beräknas.

Det är viktigt att vara medveten om de felkällor som påverkar slutresultatet för att kunna förebygga dessa och minimera variationen hos gråskalevärdena. Exempelvis är det viktigt att fukthalteten på provkropparna är konstant under hela arbetet.

Under analysen av resultatet kom det fram att värdena från trä provkropparna inte stödde påståendet om repeterbarhet utan visade stora standardavvikelse. Men resultatet från de homogena referenspropparna visade däremot en viss repeterbarhet och även ett samband med respektive densitet. Resultaten kan tillskrivas de felkällor som upptäcktes och ytterligare studier bör göras för att klargöra exakt vilken effekt dessa har på slutresultatet.

Nyckelord:

Trä, röntgen, hållfasthet, Excel, Photoshop, statistik, oförstörande, gråskala repeterbarhet, standardavvikelse, densitet.

X-Ray testing of wood properties

Nondestructive determination of wood density

Diploma Thesis in the Engineering Program

Building and Civil Engineering

MARTIN SABEL, STEFAN PROCHAZKA

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of Structural Engineering

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Wood as a building material is among the oldest building materials humankind has used. It is strong, flexible and beautiful. But the downside is the material is not as resistant as, for example concrete, but are sensitive to both decay and insect pests. Therefore, there are currently many methods to examine the material, both during production and in the finished buildings. Unfortunately, most methods affect material negative and leave traces. Therefore methods that do not have this disadvantage, such as acoustic and X-ray examinations, are becoming more common.

The purpose of the following work is to determine if the repeatability can be demonstrated in the selected X-ray method of wood and to explore the factors that may have an effect on the results.

The approach is to condition the seven specimens of wood, Spruce, Abachi, Al, Lind, Pine, Oak, and Beech, so they get even moisture content of 12%. They are then imaged using portable x-ray equipment. Six specimens of Necuron are X-rayed and work as a reference. Then use the computer program Photoshop to get the gray values of each test specimen. These values are then exported to Excel where such as standard deviation and confidence intervals are calculated.

It is important to be aware of the confounding factors that affect the final result in order to prevent them and minimize variation in grayscale. For example, it is important that the moisture of the specimens is constant throughout the work.

During the analysis of the results it showed that the values of wood specimens did not support the allegation of repeatability, they showed large standard deviations. But the results from the homogeneous Necuron specimens, however, showed repeatability and also a connection with the respective density. The results can be attributed to the errors that were discovered and further studies should be done to clarify exactly what effect these have on the end result.

Key words:

Wood, X-rays, strength, Excel, Photoshop, statistics, non-destructive, grayscale, repeatability, standard deviation, density.

Innehåll

1. INLEDNING	1
1.1 BAKGRUND	1
1.2 SYFTE.....	1
1.3 GENOMFÖRANDE	2
1.4 AVGRÄNSNINGAR	2
2. TEORI	3
2.1 TRÄ	3
2.1.1 <i>Materialet</i>	4
2.1.2 <i>Hållfastheten</i>	5
2.2 SEMI- OCH OFÖRSTÖRANDE METODER.....	6
2.3 RÖNTGEN	7
2.3.1 <i>Teori</i>	8
2.4 GRÅSKALA	10
2.5 REPETERBARHET	10
3. METOD	11
3.1 LABORATIONER.....	12
3.1.1 <i>Konditionering</i>	13
3.1.2 <i>Referens kroppar</i>	13
3.1.3 <i>Röntgenbilderna</i>	14
3.2 FILHANTERING	15
3.3 BILDANALYS	15
3.4 STATISTIK.....	16
4. FELKÄLLOR	17
4.1 VÅGIG PLÅT.....	17
4.2 FEL FUKTNIVÅ.....	17
4.3 STRÅLNINGS VINKEL	18
4.4 BATTERIURLADNING.....	19
4.5 LJUSINSLÄPP.....	19
4.6 MÄTFEL	20
5. RESULTAT	21
5.1 SAMMANFATTNING	21
5.2 GRÅSKALA TRÄPROVKROPPAR.....	22
5.3 GRÅSKALA NECURONPROVKROPPAR	26
5.4 MEDELVÄRDE TRÄPROVKROPPAR.....	29
6. DISKUSSION	31
6.1 SERIE 1	31
6.2 SERIE 2	32
6.3 SAMMANFATTNING	34
7. SLUTSATS	35
8. FIGUR & TABELLFÖRTECKNING	36
9. REFERENSER	38
10. BILAGOR	39
10.1 BILAGA 1, BILDFÖRTECKNING.....	40
10.2 BILAGA 2, GRÅSKALA TRÄBITAR SERIE 1	44
10.3 BILAGA 3, FUKTBALANSERING	46
10.4 BILAGA 4, PRODUKTBLAD XR200.....	48

Förord

Tillsammans med avdelningen Bygg och Miljöteknik på Chalmers har vi genomfört ett examensarbete som har syftat till att visa på repeterbarhet hos röntgenundersökningar av trä. Tillsammans med denna avdelning har vi gjort en del i ett större arbete som handlar om röntgenundersökningar av trä samt densitetsbestämning av detsamma.

Under våra avslutande månader på Chalmers har vi fått en inblick i hur forskning bedrivs på institutionen.

Vi är väldigt tacksamma för all den önskade och välbehövliga hjälp vi har fått under arbetet.

Vi vill tacka Aila Särkkä, Patrik Johansson, Hendrik Schlune, och Rasmus Rempling.

Ett väldigt stort tack till doktorand Thomas Kruglowa som hela tiden har haft sin dörr öppen för oss och våra frågor.

Martin Sabel och Stefan Prochazka

Chalmers tekniska högskola.

Göteborg juni 2011

Beteckningar

M	[kg]	Massa
V	[m ³]	Volym
d	[mm]	Materialets tjocklek
ρ	[kg/m ³]	Densitet
I_0	[W/m ²]	Initial intensitet
I_x	[W/m ²]	Intensiteten efter passage av objektet
μ	[W*mm/m ²]	Linjär absorptions koefficient per mm tjocklek (materialkonstant som beror på densitet)
γ		Gamma, används för att beteckna gammastrålning
\bar{X}_n		Aritmetiska medelvärdet
X_1		Ett stickprov
n		Antalet prover
S^2		Stickprovs varians
S_m		Uppskattad standardavvikelse
$X_{\bar{0}}$		Övre gränsvärde
X_U		Undre gränsvärde

1. Inledning

I detta kapitel ges en kort bakgrund till arbetet tillsammans med syftet, genomförandet och de avgränsningar som gjorts för att detta ska vara hanterbart.

1.1 Bakgrund

Trä är bland de äldsta byggmaterial som människan har använt. Det är ett flexibelt och starkt byggmaterial samtidigt som det har höga estetiska egenskaper. Materialet utgör fortfarande en stor del av dagens konstruktioner men har höga krav på sig, som t.ex. krav på beständighet och bärförmåga, då det konkurrerar med stål och betong. I denna konkurrens har trä baserade material som limträ och plywood skapats vilka utnyttjar de bästa egenskaperna hos trä.

I de många besiktningar och restaureringar som sker idag så är det viktigt att kunna bedöma träs egenskaper. Bedömningar är dock svåra att göra utan att ta prover som testas i kontrollerade omgivningar. Detta leder till att man måste såga och borra i träet vilket kan påverka styrkan hos materialet. För att undvika detta har röntgen börjat användas för *in-situ* tester där materialet inte behöver påverkas och konstruktionen behåller sin bärförmåga.

1.2 Syfte

Syftet med följande arbete är att avgöra om repeterbarhet kan påvisas hos den valda röntgenundersökningsmetoden av trä, samt att undersöka vilka faktorer som kan komma att påverka resultatet. Effekten av olika avstånd och pulser kommer att användas för att se om det går att finna ett samband mellan dessa och gråskalan¹. Det ska även undersökas om det finns något samband mellan gråskalan på röntgenbitarna och densiteten på respektive provkropp.

Det skulle vara ett första steg mot att vara med och utveckla en icke förstörande testmetod av trä för tillståndsbedömning på plats. I framtiden skulle metoden kunna användas på befintliga konstruktioner för att avgöra deras densitet och på så sätt få en uppfattning om dess bärförmåga.

¹ ”Gråskala, sammanställning av en serie olika nyanser i grått, ordnade från vitt till svart. En gråskala kan vara antingen kontinuerlig eller i steg, dvs. varje nyans bildar efter varandra liggande små kvadratiska fält som är lika stora, och där tillväxten i mörkhetsgrad mellan två fält är procentuellt lika stor.” (Nationalencyklopedin 2011)

1.3 Genomförande

Den kunskap som krävs för arbetet kommer inhämtas genom litteraturstudier, laborationer och kontakt med handledare. Resultaten ska nås genom laborationer i form av röntgen av en serie provkroppar av trä samt en serie provkroppar av necuron². Detta ska upprepas två gånger med olika uppställningar av provkropparna.

Den första serien ska bestå av 5 stycken bilder på sju olika provkroppar. Tillvägagångssättet för denna serie ska sedan upprepas för avstånden 2, 2.5, 3 och 5 meter mellan strålningskälla och provkropp. Även antalet pulser som strålningskällan avger ska ändras.

Den andra serien ska bestå av 30 stycken bilder på de sju träprovkropparna samt 30 bilder på sex stycken necuronprovkroppar. De första 15 bilderna för trä resp. necuron ska användas för att beräkna ett 95 % konfidensintervall för det uppmätta gråskalevärdet. De därpå följande bilderna ska användas för att beräkna ett medelvärde för både trä och necuron. Därefter ska medelvärdet och konfidensintervallet³ jämföras.

1.4 Avgränsningar

Litteraturstudien kommer att begränsa sig till att omfatta sambandet mellan densitet och tryckhållfasthet hos trä. Även områden som röntgen och statistik kommer att beröras. Laboratieförsöken kommer att omfatta sju olika sorters trä (Gran, Abachi, Al, Lind, Furu, Ek och Bok) samt en referensserie av necuron. Röntgenbilder av de olika träprovkropparna kommer att tas vid en fuktkvot av 12 %. För necuron provkropparna kommer ingen hänsyn tas till fuktkvoten då de inte antas påverkas av den omgivande fukten på samma sätt som trä. Måtten på träprovkropparna kommer att vara 45 x 70 x 30 mm och på necuronprovkropparna 90 x 60 x 30 mm. Det maximala antalet bilder per provkropp kommer att begränsas till 15 stycken per omgång men minst 5 stycken bilder kommer att tas.

² ”Necuron är en syntetisk polymer som framställs genom att hydroxyl-kombinationer blandas med isocyanater. Resultatet blir en mycket homogen kemisk förening som ofta används inom olika former av modellbyggande.” (Nationalencyklopedin 2011)

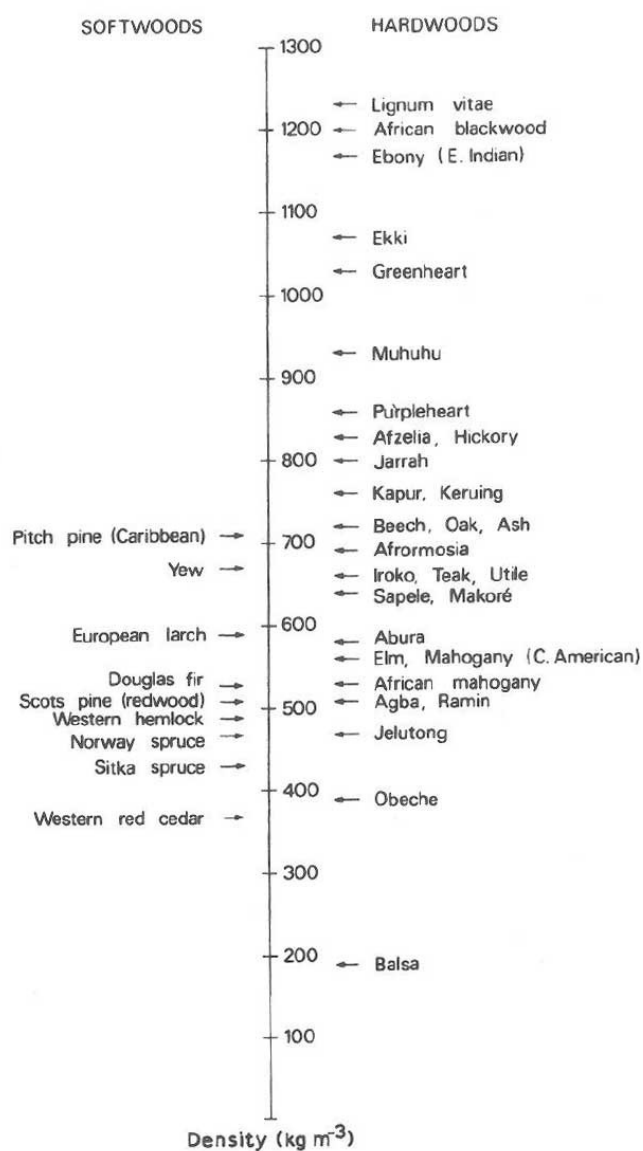
³ ”Konfidensintervall, statistisk term, den vanligaste formen av osäkerhetsintervall. Om i ett försök eller en undersökning svaret inte kan bestämmas exakt kan man i stället ge två gränser, som innesluter rätt värde med en i förväg bestämd sannolikhet, konfidensgraden.” (Nationalencyklopedin 2011)

2. Teori

Teorikapitlet är uppdelat i fem delar, trä, semi- och oförstörande metoder, gråskala och repeterbarhet. Dessa tar upp och förklarar den teori som ligger som grund för arbetet.

2.1 Trä

Trä är ett mycket varierande material med avseende på bland annat densitet och hållfasthet. Detta beror till stor del på att det är ett av naturen tillverkat material. Det finns ca 30 000 olika arter som alla har olika egenskaper. Densiteten för de olika arterna varierar från 120 kg/m³ till 1200 kg/m³, se Figur 2.1. Även inom en och samma art kan densiteten skilja sig med en faktor sex och inom en och samma årsring med en faktor tre. De varierande egenskaperna inom en och samma art beror vanligtvis på tillväxtförhållanden och genetiskt arv (Bodig 1982).



Figur 2.1 Densitetsfördelning hos olika träslag (Dinwoodie 2001).

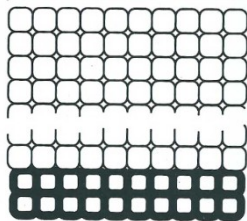
I Sverige används årligen ca 2,5 miljoner m³ trä till byggande. Det kan vara i allt från möbler till broar. I norra delen av landet tar det över 150 år från slutavverkning till slutavverkning medan det i söder tar ca 60 år. Trots detta skiljer sig inte hållfastheten nämnvärt mellan virke från söder och från norr. Detta beror på att växtsäsongen är kortare i norr än i söder, vilket gör att årsringsbredden är lägre för ett träd från norr (Skogsindustrierna 2011).

Skälen till att just välja trä som konstruktionsmaterial är både tekniska och ekonomiska. De tekniska är framför allt bärförmågan i förhållande till egenvikt samt lättheten i materialets bearbetning. Nackdelar är att stomsystemet blir ganska utrymmeskrävande. Även nya normer (Euro code) för träkonstruktioner har gjort det möjligt att använda trä i konstruktioner där det tidigare inte var tillåtet.

2.1.1 Materialet

Trä är, som tidigare nämnts ett naturligt material, som främst består av tre beståndsdelar, cellulosa, hemicellulosa och lignin. Cellulosan är samlad i trådar som är omgivna av hemicellulosa och lignin. Det är de här trådarna som bildar träcellen. Träcellerna, som ser ut som små rör, sitter ihop i ett ordnat mönster, se Figur 2.2, och hålls ihop av lignin. Träcellerna för olika träslag liksom inom samma art varierar i diameter och rören har olika vägg tjocklek beroende på om det är vår- eller sommar ved.

Däremot är rörväggens materialegenskaper väldigt likartad för de flesta träslagen. Framförallt densiteten, den ligger på ungefär 1500 kg/m³. Det här medför att de olika materialegenskaperna har en stark koppling till rörens vägg tjocklek som i sin tur är kopplad till tillväxtförhållande och genetik.

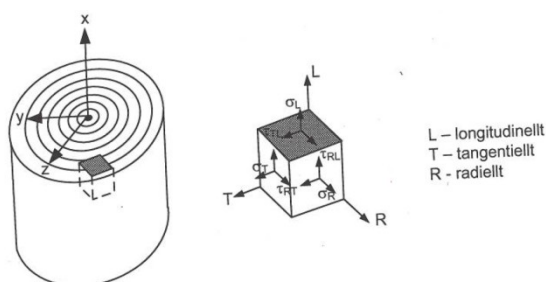


Figur 2.2 Cellstrukturen hos sommar- och vårved med ett brott (Al-Emrani et. al. 2010).

2.1.2 Hållfastheten

Hållfastheten som beror av densiteten varierar på så vis också väldigt mycket mellan olika träslag, men även inom samma träslag och samma träbit. Det beror på att trä är ett anisotropt material, dvs. att trädets egenskaper varierar beroende på vilken riktning man studerar (se Figur 2.3).

- Tangentiell: parallellt med årsringarna.
- Radiell: vinkelrätt med årsringarna.
- Fiberriktningen (longitudinell): i stammens längdriktning.



Figur 2.3 De olika riktningarna i trä (Al-Emrani et. al. 2010).

Den högsta hållfastheten uppnås i fiberriktningen och då är draghållfastheten större än tryckhållfastheten. Felfritt virke kallas de delar av trädets som innehar den högsta hållfastheten men alltför ofta finns det fel och störningar i virket som lokalt sänker hållfastheten. Exempel på några sådana fel är kvistar och sprickor.

Fuktkvoten har även stor betydelse för hållfastheten. Med ökad fuktkvot minskar hållfastheten och omvänt. Fuktkvoten definieras som förhållandet mellan det förångningsbara vattnets vikt och materialets volym. Vid tester av trämaterial används oftast materialets volym vid 12 % fukthalt, då ett trästycke vid denna fukthalt kan behålla sin geometriska form.

Betydande för hållfasthet och elasticitetsmodul är även densiteten. Med densitet i trä menas oftast verklig densitet, dvs. förhållandet mellan verklig massa och volymen vid en given fuktkvot (Burström 2001). Detta kan beräknas enligt Ekvation 2.1.

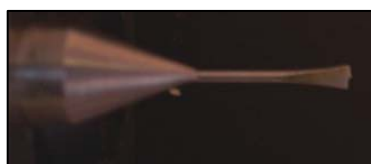
$$\rho = \frac{\text{Vikt [kg]}}{\text{Volym vid } x \% \text{ fuktkvot [m}^3\text{]}} \quad (2.1)$$

2.2 Semi- och oförstörande metoder

Då kunskap om trämaterialens egenskaper är viktiga har det utvecklats flera olika metoder för undersökning av densitet och andra parametrar. Det intressanta för detta arbete är de semi- och oförstörande. Nedan beskrivs ett urval av dessa.

Kärnbörning fungerar som namnet antyder. En kärna av materialet borrar ut med en diameter på cirka 5 millimeter och en längd på minst 20 millimeter. Hålet som blir är som minst 10 millimeter beroende av borrhets diameter. Kärnan från materialet testas sedan i laboratorium under kontrollerande förhållanden där många olika parametrar tas fram. Denna metod lämnar hål som är mindre än de flesta kvistar. Hålet pluggas efteråt för att undvika fuktskador, insektsangrepp och bevara det estetiska värdet (Lear, G 2005).

Motståndsborring är en semiförstörande metod som mäter kraften som krävs för att borra in ett special borrar i materialet, se Figur 2.4. Borret har en diameter mellan 1,5 och 3 millimeter och borrar in i materialet antingen för hand eller med hjälp av en elektrisk motor. Det viktiga är att momentet hålls konstant. Fördelen med denna metod är att den är enkel och visar precis på vilket djup som skadorna ligger på (Lear, G 2005).



Figur 2.4 Borr som används inom motståndsborring (Lear, G. 2005).

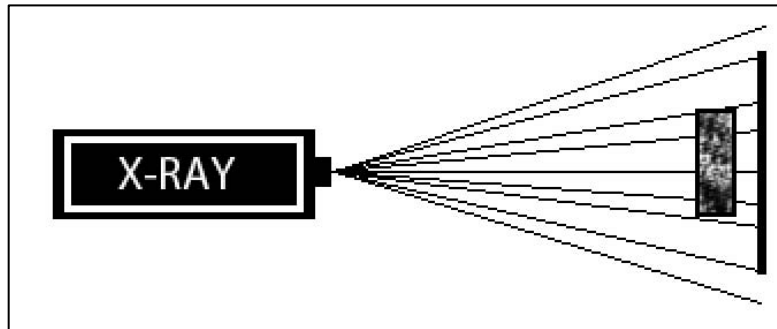
Akustisk undersökning använder sig utav grundprincipen att ljud fortplantar sig genom ett material med en hastighet som är relaterad till materialets egenskaper. Det finns två typer av mät principer, transit-time eller resonansbaserad. Transit-time principen är baserad på att hastigheten som ljudet har inne i materialet mäts och analyseras. Denna metod mäter de lokala förhållandena mellan två mätpunkter. Resonans principen använder materialets egenfrekvens istället. En hammare slår på ena änden av materialet och genererar en energiimpuls som delas upp i frekvenser beroende på materialegenskaper. Egenfrekvensen refererar till den tid som det tar för impulsen att färdas genom hela materialet och tillbaka. Därför blir de värden som genereras representativa för hela materialet. Metoden är snabb, portabel och billig vilket gör den vanligt förekommande, se Figur 2.5 (Kliger 2003, Edlund 2004).



Figur 2.5 Akustisk fältundersökning av timmer (Edlund, J. 2004).

2.3 Röntgen

Röntgen används för att analysera och visualisera olika materials inre egenskaper. Metoden fungerar så att en strålningskälla placeras framför objektet av intresse och en strålningskänslig film placeras bakom objektet, se Figur 2.6.



Figur 2.6 Principskiss på röntgen metoden.

När sedan strålningskällan aktiveras så avbildas objektet. Informationen längs med djupet på objektet komprimeras och en tvådimensionell bild skapas. Det är densiteten tillsammans med tjockleken hos objektet som påverkar absorptionen av strålningen och därmed är de det som egentligen avbildas på filmen. Strålningen absorberas enligt Ekvation 2.2.

$$I_x = I_0 * e^{-\mu*d} \quad (2.2)$$

I_x = Intensiteten efter passage av objektet

I_0 = initial intensitet

d = materialets djup

μ = linjär absorptions koefficient per mm tjocklek (materialkonstant som beror på densitet)

Idag finns det många olika små, portabla och användarvänliga system. De kan drivas med en strömadapter eller ett batteri, bildhanteringen sker på plats med hjälp av en bärbar dator med tillhörande utrustning. Utvecklingen går snabbt framåt då det finns stor efterfrågan inom både säkerhet och tillverkningsindustrin. Inom säkerhet används det till exempel för bombundersökningar och tullverksamheten, i industrin är det inom kvalitetssäkring som röntgen används (Lear, G 2005).

2.3.1 Teori

Den strålning som vanligast används inom röntgentekniken är elektron-, neutron-, gamma- och röntgenstrålning. Gamma- och röntgenstrålning särskiljs endast på de sätt som de genereras så deras gemensamma egenskaper kommer endast att behandlas under gammastrålningen.

Elektronstrålning

Elektronstrålningen har en låg penetrationsförmåga vilket begränsar användningen till objekt med låg densitet och små tjocklekar. Den genereras antingen genom radioaktivt sönderfall eller genom att strålning med hög energi kolliderar med en metall yta.

Neutronstrålning

Neutronstrålning har den speciella egenskapen som gör den väldigt användbar ibland, den absorberas nämligen mer av organiska material än andra tyngre. Men då framställningen av strålningen sker vid fission i till exempelvis en kärnreaktor som inte är så portabel så sker denna metod på en specialanläggning och är inte speciellt användbar i fält. Den är dessutom dyr (Lang, J. och Middleton, A. 1997).

Gamma- (γ) strålning

Gammastrålningen är elektromagnetisk strålning med kort våglängd och genereras vid radioaktivt sönderfall av radioaktiva isotoper. Strålningen färdas med ljusets hastighet i rätta linjer. Den är även opåverkad av elektriska och magnetiska fält.

Den våglängd och intensitet som genereras beror på vilken isotop som sönderfaller. Oavsett isotop minskar intensiteten med tiden proportionellt mot isotopens halveringstid. Gammastrålningens styrka men samtidigt dess svaghet är, till skillnad mot röntgenstrålning, att den inte kräver någon strömkälla eller kylning. Den radioaktiva isotopen sänder ut strålning tills den har sönderfallit totalt vilket gör metoden väldigt enkel och portabel. Nackdelen med detta är dock att det inte går att kontrollera strålningen på annat sätt än med valet av isotop (Lang, J. och Middleton, A. 1997).

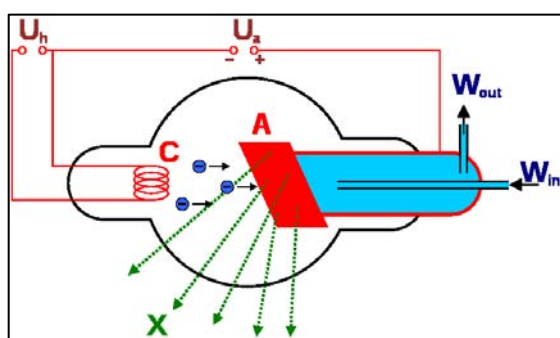
Strålningskällan måste kapslas in i ett avskärmande material som exempelvis bly, det skyddar mot den skadliga effekt strålningen har på organisk vävnad. Vid ett avlägsnande av materialet måste detta ske med hjälp av en fjärrkontrollerad mekanism. En annan egenskap som gammastrålning innehar är att den har en mycket högre intensitet än vad som produceras av röntgenstrålnings generatorer (Lang, J. och Middleton, A. 1997).

Röntgenstrålning

Röntgenstrålning genereras genom att en elektronstråle kolliderar med ett material. Vid kollisionen skapas elektromagnetisk strålning och värme (99 %). Strålningen som skapas består av två stycken spektra, ett karakteristiskt spektra som beror på materialet och ett generellt spektra. De karakteristiska beror på vad för material som elektronstrålen kolliderar mot.

Det generella spektret skapas då elektroner i höga hastigheter accelererar genom att passera elektronmolnet runt atomkärnan och det är det som används inom röntgen. För att hantera värme som skapas vid kollisionen skickas elektronerna mot ett material med hög smältpunkt som även kyls av med hjälp av ett kylsystem. Det är detta som gör röntgenstrålningsgeneratoren (jämfört med gammastrålningsgeneratoren) dyr och osmidig. Som strömkälla kan ett vanligt 14,4 volts batteri med hög kapacitet användas eller en strömadapter.

Röntgenröret som används för att skapa röntgenstrålningen fungerar så att det innehåller en katod och anod. Katoden värms och avger då en elektronstråle mot anoden, (se Figur 2.7). Vid kollisionen genereras röntgenstrålar som reflekteras ut mot objektet av intresse. (Optical Society of America 2000)



Figur 2.7 Röntgenrör med vattenkylning.

2.4 Gråskala

Gråskala är en kontinuerlig skala av nyanser av grått som varierar mellan absolut svart och vitt. Skalan kan beskrivas med en procentsats som refererar till mängden ljus, således är 100 % absolut vitt. Men ofta används andra skalor istället. I detta arbete har en 8-bitars skala använts som varierar mellan 0 och 255.

Detta för att den använder det binära talsystemet för att lagra värdet, ett 4-bitars binärt tal kan representera tal upp till 15. Andra skalor som ger fler nivåer är till exempelvis 32-bitars varierar mellan 0 och 65 535.

Men vilken skala som bör användas beror mycket på sensorn. De modernaste digitalkamerorna använder filformatet TIFF vilket kan hantera 16-bitars gråskala, men dessa bilder tar även mycket större plats.

2.5 Repeterbarhet

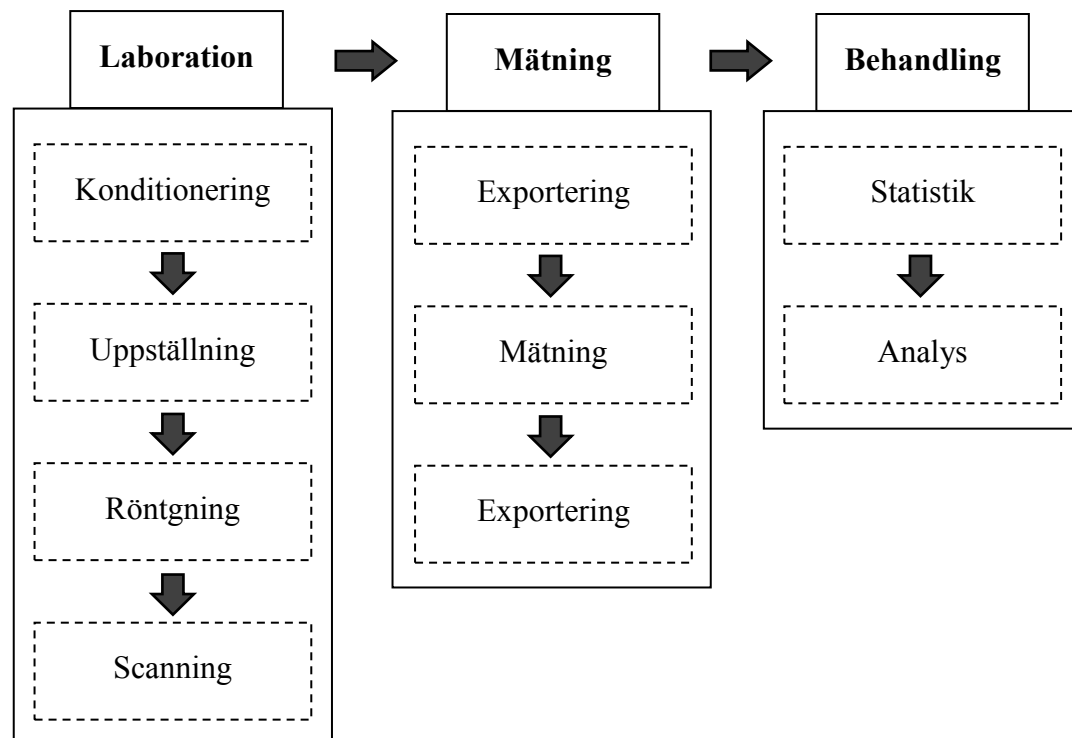
Med uttrycket repeterbarhet menas i detta arbete samma som definitionen från Nationalencyklopedin 2011:

”Repeterbarhet, inom statistiken beskrivning av den inbördes överensstämmelsen mellan resultat vid upprepade mätningar av samma storhetsvärde utförda av samma operatör med samma instrument.”

Vi har använt begreppet tillsammans med Student's t-fördelning, som är ett statistisk sätt att beräkna och visualisera hur ett mätvärde varierar hos ett stickprov. Detta för att visa hur mycket våra mätvärden varierar. En låg variation påvisar en hög repeterbarhet.

3. Metod

Metoden som arbetet bygger på och analyserar består av nio stycken moment som är uppdelade i tre stycken grupper, laboration, mätning och analys. Den första gruppen innehåller de moment som skapar själva röntgenbilden. Momenten i den andra omvandlar informationen som bilderna innehåller till något som lättare går att bearbeta, gråskala. I den sista gruppen finns de moment som analyserar gråskalan och leder till ett resultat (se Figur 3.1).



Figur 3.1 Process diagram över metoden som användes i arbetet.

3.1 Laborationer

Den här studien syftar till att undersöka sambandet mellan densitet och gråskala för provkroppar av olika träslag samt necuron (se Tabell 3.1 och 3.2). För att möjliggöra detta behöver röntgenbilder av de utvalda provkropparna tas. Röntgenbilderna ska sedan analyseras med hjälp av ett bildbehandlingsprogram och deras gråskala noteras.

Tabell 3.1 Träslag på provkroppar.

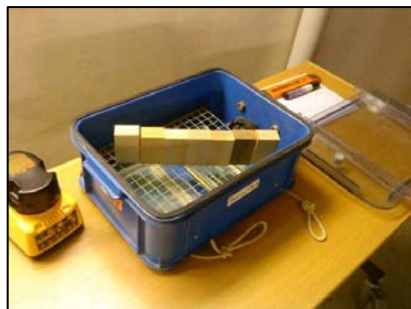
	Svenskt namn	Latinskt namn	Densitet [kg/m ³]
1	Gran	<i>Picea abies</i>	461
2	Abachi	<i>Triplochiton scleroxylon</i>	389
3	Al	<i>Alnus glutinosa</i>	544
4	Lind	<i>Tilia (cordata)</i>	602
5	Tall/Furu	<i>Pinus sylvestris</i>	513
6	Ek	<i>Quercus (alba/ robur)</i>	727
7	Bok	<i>Fagus sylvatica</i>	691

Tabell 3.2 Referensproppar.

	Beteckning	Densitet [kg/m ³]
1	Necuron 301	302
2	Necuron 480	476
3	Necuron 540	522
4	Necuron 600	627
5	Necuron 651	665
6	Necuron 770	751

3.1.1 Konditionering

Då provkropparna, sju träbitar av träslagen i Tabell 3.1, erhållits torkades de till 12 % fuktighet. Detta gjordes genom att placera kropparna i en lufttät låda på ett galler ovanför en lösning innehållande natriumnitrit (NaNO_2) och vatten, se Figur 3.1. Lådan var även utrustad med en cirkulationsfläkt.



Figur 3.2 Klimatlåda för konditionering av träprovkroppar.

Natriumnitrit lösningen i kombination med klimatet i rummet, som var 20°C med den relativa fukthalten 50 %, gjorde att 12 % luftfuktighet uppnåddes i provkropparna (Nevander 1994). För att säkerställa att konstant fukthalt på 12 % rådde i provkropparna, mättes samt vägdes de och densiteten beräknades (se Tabell 3.3).

Vid samtliga mätningar, det vill säga under hela laboratorieundersökningen, får viktändringen inte vara mer än $\pm 0,5$ % under en period av minst 12 timmar eller $\pm 0,1$ % under en period av sex timmar. Då dessa villkor är uppfyllda har provkropparna en konstant fukthalt (Kučera 1992).

Tabell 3.3 Fukthalt hos träprovkroppar.

No.	Initial Date/Time 2011-03-29		Date & Time Tot. Hours	ρ [kg/m ³]	Weight [g]		Weight [g]
	Species Name [SWE - ENG]	Botanical Name [latin]			2011-04-05 10:25 97,9	Specimens weightloss [%] 0,04%	
1	Gran - Norway spruce	<i>Picea abies</i>		461,21	44,981	0,04%	44,965
2	Abachi - African whitewood	<i>Triplochiton scleroxylon</i>		389,60	36,755	0,09%	36,787
3	Al - alder	<i>Alnus glutinosa</i>		544,04	52,535	0,02%	52,545
4	Lind - linden	<i>Tilia (cordata)</i>		602,46	59,425	0,04%	59,402
5	Tall/Furu - pine	<i>Pinus sylvestris</i>		513,91	48,618	0,05%	48,642
6	Ek - oak-tree	<i>Quercus (alba/ robur)</i>		727,74	69,337	0,05%	69,370
7	Bok- Beech	<i>Fagus sylvatica</i>		691,58	66,771	0,00%	66,772

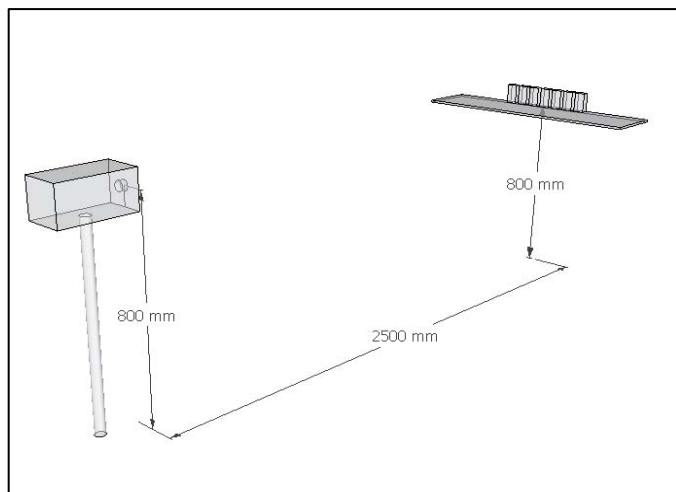
3.1.2 Referensproppar

För att få referensuppgifter till de provkroppar av trä användes bilder som tagits på provkroppar av necuron. Detta gjordes också för att se om metoden fungerar på ett mer homogent material än trä.

Uppställningen för necuron var den samma som för trä, dock användes bara sex bitar med olika densitet (se Tabell 3.2).

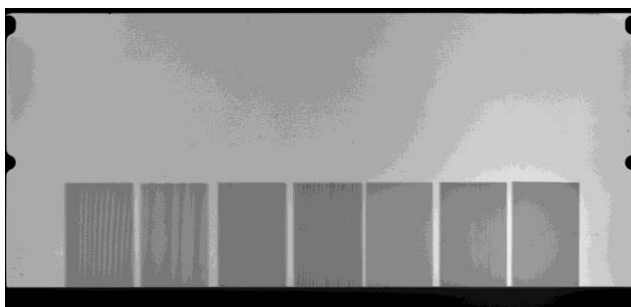
3.1.3 Röntgenbilderna

När en konstant fukthalt på 12 % säkerställts placerades trä kropparna mellan röntgenstrålningskällan och plåten. Objekten lades dikt an mot röntgenplåten för att undvika att ett avstånd uppstår mellan dessa (se felkällan 4.1.4 Vågig plåt). Röntgenstrålningskällan placerades på 800 mm över golvnivån då detta var samma höjd som provkropparna var placerade på (se Figur 3.2).



Figur 3.3 Placering av strålningskälla i förhållande till provkropparna.

I den första serien togs fem bilder på avstånden 2, 2.5, 3 och 5 meter. Denna procedur upprepades 2 gånger. Första gången med 49 pulser på samtliga avstånd och därefter med 99 pulser. Uppställningen av provkropparna för denna serie var som kan ses Figur 3.4, dvs. de placerades bredvid varandra på ett sådant att nästan hela röntgenplåten togs i anspråk.



Figur 3.4 Provkroppars placering.

Den andra serien bestod av sammanlagt 60 stycken bilder. 30 stycken av necuronprovkropparna och 30 stycken av träprovkropparna. Avståndet för samtliga bilder var 2,5 m och antalet pulser var 99. Uppställningen på provkropparna för denna serie var enligt Figur 3.4. Denna serie delades i två delar där 15 stycken bilder för resp. material användes för att göra en sannolikhetsberäkning. De resterande 15 bilderna användes för att beräkna ett medelvärde.

3.2 Filhantering

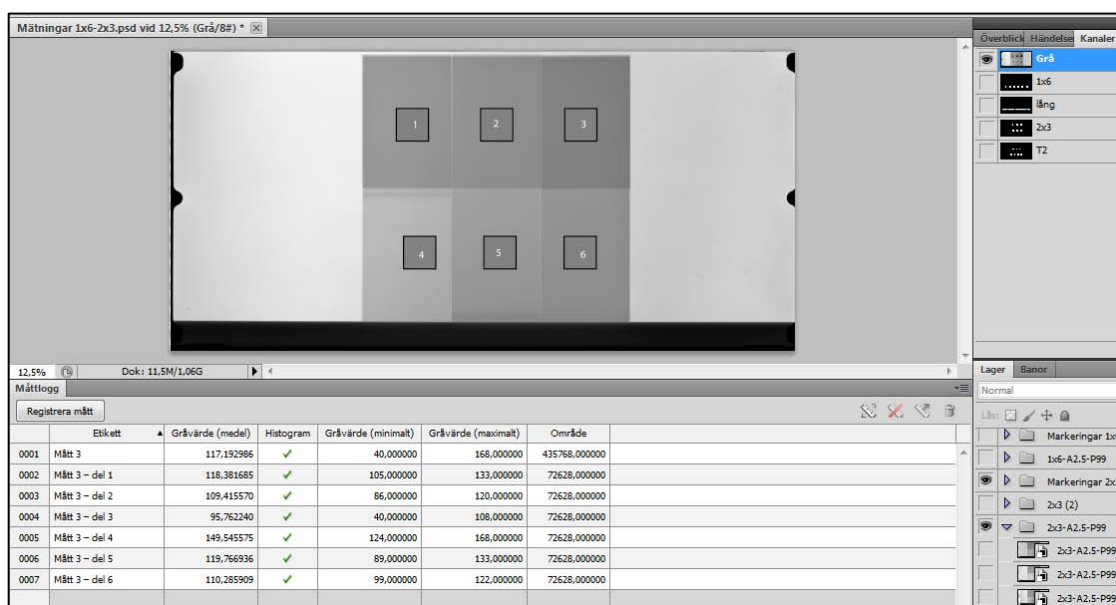
Varje bild togs under bestämda och kontrollerade förhållanden, exempelvis temperatur och luftfuktighet, men om inte dessa dokumenterades tillsammans med bilden så var bilden inte användbar. För att hantera alla bilder som togs skapades ett system för att namnge och dokumentera filerna, se Bilaga 1. Filnamnen visade avstånd, antalet röntgenpulser och vinkeln som strålningskällan var uppställd på.

Ex. A3-P49-V45-01 där A3 visar att det är 3 meter mellan strålningskällan och provkroppen. P49 refererar till att bilden togs med 49 stycken pulser, V45 refererar till att strålningskällan stod på en vinkel på 45° och 01 är ett löpnummer då flera bilder togs under samma förhållanden.

I bildförteckningen dokumenterades även bildernas datum, löpnummer (vilket producerades vid scanningen) och kommentarer.

3.3 Bildanalys

Vid bildanalysen användes bildbehandlings programmet Adobe Photoshop CS5 Extended (förkortat PS). Den utökade versionen av PS har en analys funktion som tar fram bland annat max-, min- och medelgråskalan på bilden. Även histogram kunde genereras. En markering skapades och användes för att registrera mätvärden för ett begränsat område av provkroppen. Det fanns även möjligheter att skapa flera osammanhängande markeringar och då få fram individuella mätvärden för varje markering samtidigt, se Figur 3.3.



Figur 3.5 Skärmbild från Photoshop CS5 som visar analysfunktionen.

PS nummerade värdena stigande från det övre vänstra hörnet mot det nedre högra hörnet. Då det blev en viss skugga på röntgenbilderna på grund av tjockleken så utfördes mätningarna en bit in på provkropparna. För att få samma storlek på mätområdena och ungefär samma position så skapades kanaler som sparade markeringarna. När alla provkropparnas mätvärden hade registrerats exporterades värdena till en textfil för att sedan importeras till Excel för vidare behandling där de behandlades statistiskt.

3.4 Statistik

Då urvalet, för beräkningen av konfidensintervallet, var mindre än 30 användes t-fördelningen vid beräkningen. Till skillnad från normalfördelningen kan t-fördelningen användas för att beräkna ett konfidensintervall av ett urval då inte väntevärdet är känt. Istället används en uppskattad standardavvikelse S_m , se Ekvation 3.3.

När urvalsstorleken närmar sig 100 eller däröver närmar sig t-fördelningen en normalfördelning. Vid mindre urval, som i denna rapport, får kurvan som beräkningen ger upphov till längre "svansar". Detta medför att fler värden kommer att rymmas innanför konfidensintervallet (Lane 2011).

Den andra serien med bilder av trä och neuron användes för att, med hjälp av den uppmätta gråskalan, beräkna en t-fördelning med ett 95 % konfidensintervall enligt följande beräkninggång:

1. Beräkning av det aritmetiska medelvärdet \bar{X}_n .

$$\bar{X}_n = (X_1 + \dots + X_n)/n \quad (3.1)$$

Där X är värdet för det aktuella provet och n antalet prover.

2. Beräkning av variansen S^2 .

$$S^2 = \frac{\sum(x-\bar{X}_n)^2}{n-1} \quad (3.2)$$

3. Beräkning av uppskattad standardavvikelse S_m .

$$S_m = \frac{\sqrt{S^2}}{\sqrt{n}} \quad (3.3)$$

4. Beräkning av övre, $X_{\bar{O}}$ och undre gränsvärde X_U .

$$X = \bar{X} \pm t \cdot \frac{S_m}{\sqrt{n}} \quad (3.4)$$

Där t är en konstant specifik för t-fördelningen.

Av sambandet erhöles ett övre och undre gränsvärde för varje provkropp. Efterföljande serier användes för att se om medelvärdet för varje provkropp hamnade innanför det beräknade intervallet.

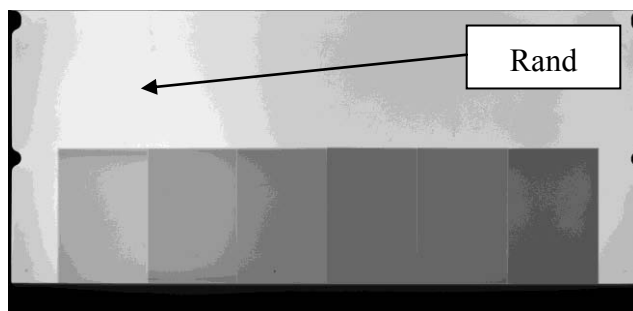
4. Felkällor

I kapitlet nedan listas några utav de olika felkällor som kan påverka slutresultatet på gråskalan. Även sätt att förebygga felkällorna föreslås.

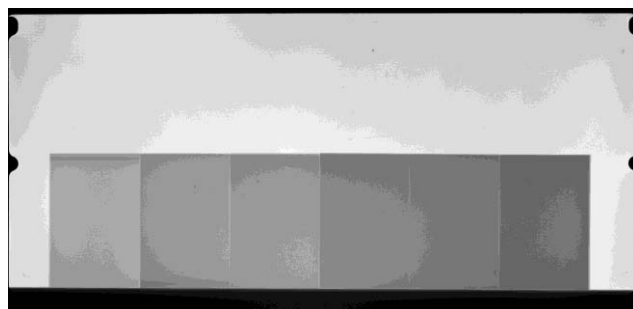
4.1 Vågig plåt

Bilderna visade att om inte den strålningskänsliga plåten är helt plan när den placeras bakom provkroppen så kan bilden ha ljusa ränder då avståndet mellan plåten och provkroppen varierar (se Figur 4.1 och 4.2).

För att motverka detta bör provkropparna alltid pressas mot plåtarna för att på så sätt minimera avståndet. Men effekten kan ändå framträda som en tendens till ljusa ränder. Detta bör beaktas när gråvärdena analyseras.



Figur 4.1 Ljusrand på bilden (1x6-A2.5-P99-06).



Figur 4.2 Bild utan rand (1x6-A2.5-P99-05).

4.2 Fel fuktnivå

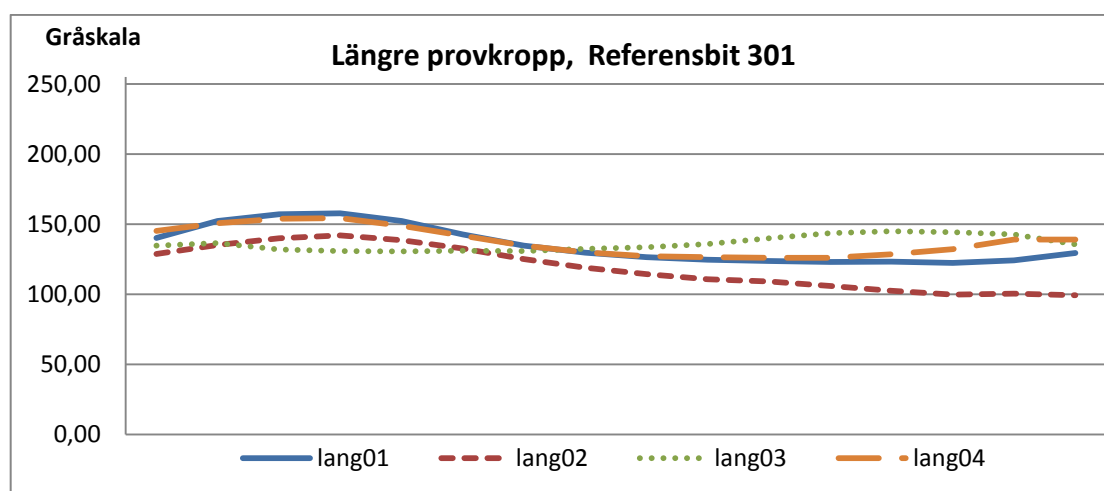
Om fuktnivån på provkropparna inte noga kontrolleras och följs upp löpande kan det direkt påverka provkroppens densitet genom den ökade eller minskade fukthalten vilket leder till en mörkare respektive ljusare bild.

För att kontrollera fukthalten vägdes provkropparna varje morgon innan bilderna togs. Vikten dokumenterades och jämfördes med föregående. Se Kapitel 3.1 Laborationer och Bilaga 3.

4.3 Strålnings vinkel

Då röntgenstrålningskällan avger strålning med en spridning på 40° blir det en viss koncentration av strålning i bildens horisontella centrum vilket gör bilden ljusare där. Denna avvikelse är svår att upptäcka med en visuell granskning utan upptäckts först när mätverktyg används.

Denna effekt var även svår att verifiera då en bildtagning av en längre homogen provkropp som täckte hela röntgenplåten inte visade förväntat resultat. Det var istället en viss förskjutning till antingen höger eller vänster av en ljusare rand. Och denna kan inte i detta fall ha berott på en vågig plåt (se kap. 4.1.2) då provkroppen pressades mot hela plåtens bredd. Nedan visas Figur 4.3 som visar gråskalans fördelning över hela provkroppens bredd och tillhörande bilder på respektive provkropp (Figur 4.4, 4.5, 4.6 och 4.7).



Figur 4.3 Gråskalans vertikala fördelning.



Figur 4.4 Bild på necuronprovkropp över hela röntgenplåtens bredd (lang01).



Figur 4.5 Bild på necuronprovkropp över hela röntgenplåtens bredd (lang02).



Figur 4.6 Bild på necuronprovkropp över hela röntgenplåtens bredd (lang03).



Figur 4.7 Bild på necuronprovkropp över hela röntgenplåtens bredd (lang04).

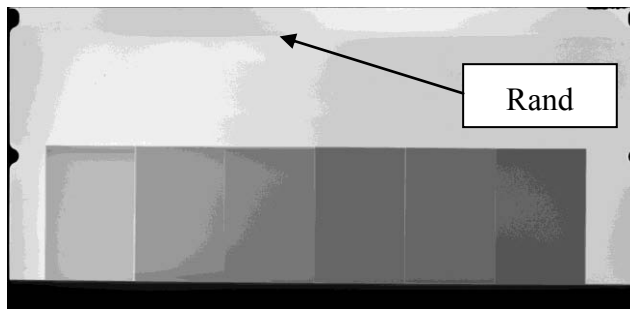
4.4 Batteriurladdning

En felkälla som inte kunde bekräftas men som ändå beaktades är batteriets urladdning under användningen och dess påverkan på röntgenstrålningens intensitet. Detta undersöktes inte men för att motverka effekten byttes batterierna ofta så att det bara togs mellan två och sex bilder på varje batteri. Det andra satt då i laddaren och så fort det var fulladdat byttes batteriet.

4.5 Ljusinsläpp

Då plastfickor utan förslutning användes kunde bilderna bli ljusförorenade när de bars mellan provplatsen och scannern. Det visade sig som en ljus rand överst på bilden (se Figur 4.8).

För att motverka detta var det släckt i rummet. Det var dock tvunget att vara tänt en liten stund för att hitta fram till provplåten. Pga. detta hände det att bilderna ibland fick en ljusrand. För att säkerhetsställa att inga bilder blev ljusförorenade så kunde förslutningsbara plastfickorna ha använts, men då de är omständligare att arbeta med togs beslutet att istället vara noga med att släcka ljuset.

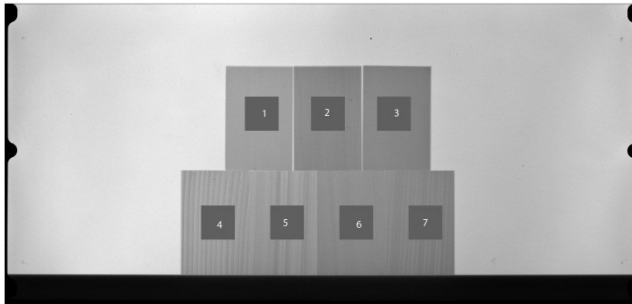


Figur 4.8 Bild med ljusrand (1x6-A2.5-P99-07).

4.6 Mätfel

Vid bildanalysen med bildbehandlings programmet Adobe Photoshop CS5 (PS) användes analysfunktionen för att samtidigt mäta medelgråskalan på alla provkroppar på en bild. Informationen exporterades sedan in till Excel.

Det rådde osäkerhet om hur PS numrerade mätområdena. För att kompensera detta gjordes flera kontrollmätningar där varje provkropp mättes individuellt och värdena jämfördes med de värden som skapades med hjälp av den större markeringen. Även en logisk utvärdering gjordes. En kontroll som visuellt jämförde gråskalan med den uppskattade mörkheten på provbitarna. För att dokumentera hur mätningarna genomfördes, skapades bilder likt Figur 4.9.



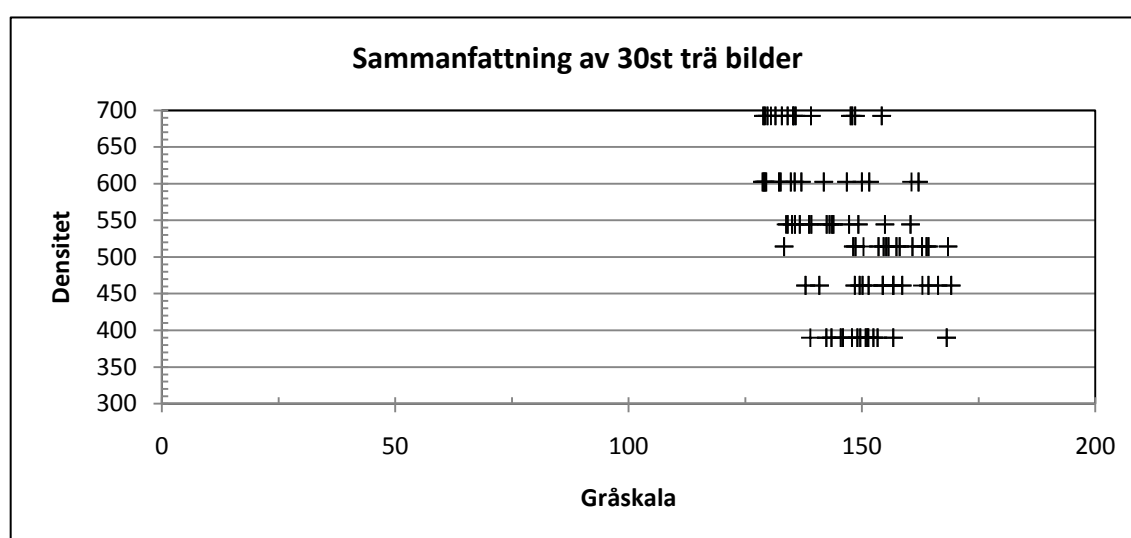
Figur 4.9 Exempel på mät områden och deras numrering (T2-A2.5-P99-V00-01).

5. Resultat

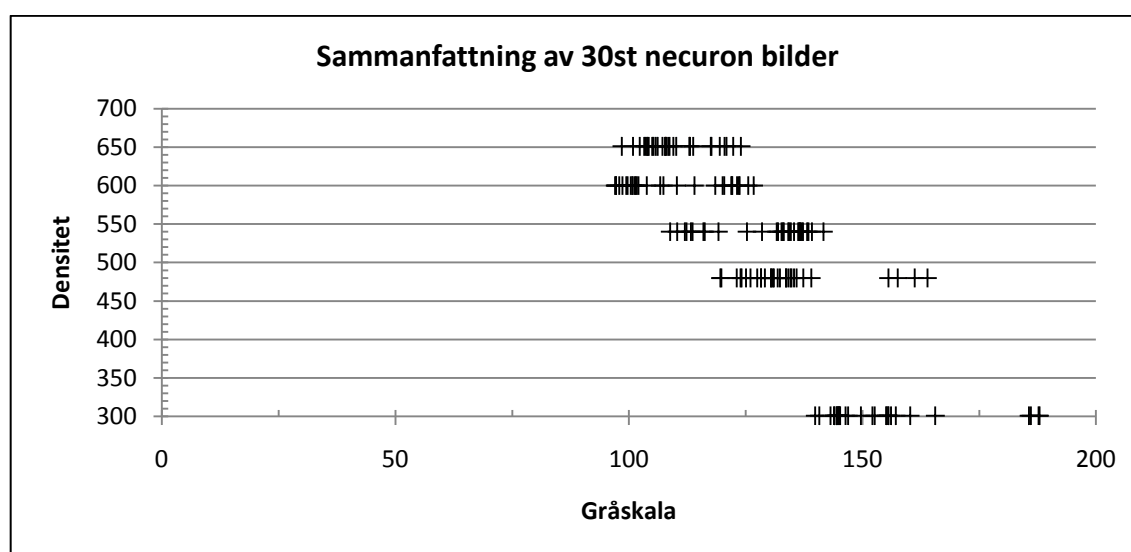
Arbetets resultat redovisas i flertalet figurer och tabeller. Dessa är uppdelade i fyra stycken underkapitel. Det första, sammanfattning, innehåller figurer som översiktligt visar gråskalan på alla bilderna ur serie två. Andra och tredje underkapitlet visar detaljerat de värden som har tagits fram under arbetet. Det sista underkapitlet, medelvärde träprovkroppar, innehåller ett antal medelvärden från träprovkroppar.

5.1 Sammanfattning

Här visas två sammanfattningar av de bilder som tagits, en för träprovkropparna och en för necuronprovkropparna, se Tabell 5.1 och 5.2. Det går lätt att utläsa variationen för de olika provkropparna men det går även att se en viss trend, framförallt på necuronbilderna.



Figur 5.1 Sammanfattning av trä bilder.



Figur 5.2 Sammanfattning av Necuron bilder.

5.2 Gråskala träprovkroppar

Här redovisas gråskalevärden, medelvärden, standardavvikelser och övre resp. undre gränsvärde för varje träprovkropp i en t - fördelning. Den andra seriens första 15 bilder redovisas nedan i Tabell 5.1 till 5.7.

Tabell 5.1 Gråskalevärden för Gran samt övre och undre gränsvärde.

Gran			
Bild	Gråskalevärde		
1	169,09		
2	149,51		
3	154,46	\bar{X} Provmedel	154,79
4	148,48	S_m Prov std avv	8,83
5	140,88	n Antal	15,00
6	137,94		
7	158,60	Konfidensintervall	95%
8	166,27	Signifikans	5%
9	156,71		
10	154,53	t t-värde	2,14
11	164,26		
12	151,42	X_u Undre gränsvärde	149,90
13	150,12	$X_ö$ Övre gränsvärde	159,69
14	156,68		
15	162,95		

Tabell 5.2 Gråskalevärden för Abachi samt övre och undre gränsvärde.

Abachi			
Bild	Gråskalevärde		
1	156,73		
2	151,16		
3	147,87	\bar{X} Provmedel	149,78
4	150,77	S_m Prov std avv	6,86
5	149,61	n Antal	15,00
6	145,48		
7	153,36	Konfidensintervall	95%
8	151,35	Signifikans	5%
9	149,02		
10	168,13	t t-värde	2,14
11	152,47		
12	143,47	X_u Undre gränsvärde	145,98
13	142,40	$X_ö$ Övre gränsvärde	153,58
14	145,94		
15	138,94		

Tabell 5.3 Gråskalevärden för AI samt övre och undre gränsvärde.

AI			
Bild	Gråskalevärde		
1	142,41		
2	149,24		
3	136,66	\bar{X} Provmedel	142,52
4	147,25	S_m Prov std avv	7,83
5	154,94	n Antal	15,00
6	143,62		
7	143,90	Konfidensintervall	95%
8	138,66	Signifikans	5%
9	139,17		
10	160,41	t t-värde	2,14
11	143,08		
12	135,02	X_u Undre gränsvärde	138,18
13	134,04	$X_ö$ Övre gränsvärde	146,85
14	135,62		
15	133,73		

Tabell 5.4 Gråskalevärden för Lind samt övre och undre gränsvärde.

Lind			
Bild	Gråskalevärde		
1	132,56		
2	149,96		
3	129,02	\bar{X} Provmedel	140,09
4	146,73	S_m Prov std avv	11,48
5	162,13	n Antal	15,00
6	141,82		
7	136,99	Konfidensintervall	95%
8	132,18	Signifikans	5%
9	134,78		
10	151,58	t t-värde	2,14
11	135,58		
12	129,45	X_u Undre gränsvärde	133,73
13	129,19	$X_ö$ Övre gränsvärde	146,44
14	128,68		
15	160,62		

Tabell 5.5 Gråskalevärden för Furu/Tall samt övre och undre gränsvärde.

Furu/Tall			
Bild	Gråskalevärde		
1	168,41		
2	153,53		
3	154,63	\bar{X} Provmedel	155,67
4	155,66	S_m Prov std avv	8,58
5	133,30	n Antal	15,00
6	148,63		
7	160,79	Konfidensintervall	95%
8	163,80	Signifikans	5%
9	158,08		
10	162,89	t t-värde	2,14
11	164,23		
12	148,13	X_u Undre gränsvärde	150,91
13	155,18	$X_ö$ Övre gränsvärde	160,42
14	157,42		
15	150,31		

Tabell 5.6 Gråskalevärden för Ek samt övre och undre gränsvärde.

Ek			
Bild	Gråskalevärde		
1	145,33		
2	144,23		
3	134,59	\bar{X} Provmedel	139,81
4	147,13	S_m Prov std avv	7,64
5	126,97	n Antal	15,00
6	147,13		
7	140,89	Konfidensintervall	95%
8	139,96	Signifikans	5%
9	135,71		
10	157,13	t t-värde	2,14
11	141,03		
12	130,99	X_u Undre gränsvärde	135,58
13	133,00	$X_ö$ Övre gränsvärde	144,05
14	135,11		
15	137,99		

Tabell 5.7 Gråskalevärden för Bok samt övre och undre gränsvärde.

Bok			
Bild	Gråskalevärde		
1	135,81		
2	147,55		
3	128,83	\bar{X} Provmedel	137,36
4	147,90	S_m Prov std avv	8,23
5	139,10	n Antal	15,00
6	148,56		
7	135,39	Konfidensintervall	95%
8	134,06	Signifikans	5%
9	132,84		
10	154,23	t t-värde	2,14
11	135,23		
12	129,23	X_u Undre gränsvärde	132,80
13	129,72	$X_ö$ Övre gränsvärde	141,92
14	131,47		
15	130,48		

5.3 Gråskala necuronprovkroppar

Här redovisas gråskalevärden, medelvärden, standardavvikelser och övre resp. undre gränsvärde för varje necuronprovkropp i en t – fördelning. Den andra seriens första 15 bilder redovisas nedan i Tabell 5.8 till 5.13.

Tabell 5.8 Gråskalevärden för Necuron 301 samt övre och undre gränsvärde.

Necuron 301			
Bild	Gråskalevärde		
1	140,76		
2	186,04		
3	155,57	\bar{X} Provmedel	154,67
4	157,17	S_m Prov std avv	10,88
5	160,18	n Antal	15,00
6	145,18		
7	165,59	Konfidensintervall	95%
8	155,11	Signifikans	5%
9	155,05		
10	155,47	t t-värde	2,14
11	143,15		
12	146,95	X_u Undre gränsvärde	148,65
13	152,10	$X_ö$ Övre gränsvärde	160,70
14	152,10		
15	149,67		

Tabell 5.9 Gråskalevärden för Necuron 480 samt övre och undre gränsvärde.

Necuron 480			
Bild	Gråskalevärde		
1	128,27		
2	161,16		
3	124,10	\bar{X} Provmedel	129,29
4	128,28	S_m Prov std avv	10,38
5	135,35	n Antal	15,00
6	134,13		
7	131,85	Konfidensintervall	95%
8	123,04	Signifikans	5%
9	123,89		
10	125,03	t t-värde	2,14
11	130,80		
12	134,59	X_u Undre gränsvärde	123,54
13	119,56	$X_ö$ Övre gränsvärde	135,04
14	119,56		
15	119,78		

Tabell 5.10 Gråskalevärden för Necuron 540 samt övre och undre gränsvärde.

Necuron 540			
Bild	Gråskalevärde		
1	131,90		
2	136,41		
3	111,96	\bar{X} Provmedel	121,14
4	115,92	S_m Prov std avv	11,38
5	125,28	n Antal	15,00
6	137,00		
7	119,16	Konfidensintervall	95%
8	112,33	Signifikans	5%
9	113,24		
10	113,58	t t-värde	2,14
11	134,31		
12	138,12	X_u Undre gränsvärde	114,84
13	108,82	$X_{\bar{o}}$ Övre gränsvärde	127,44
14	108,82		
15	110,29		

Tabell 5.11 Gråskalevärden för Necuron 600 samt övre och undre gränsvärde.

Necuron 600			
Bild	Gråskalevärde		
1	97,21		
2	122,07		
3	122,12	\bar{X} Provmedel	114,61
4	123,13	S_m Prov std avv	10,52
5	106,69	n Antal	15,00
6	97,93		
7	126,68	Konfidensintervall	95%
8	123,55	Signifikans	5%
9	123,66		
10	114,00	t t-värde	2,14
11	99,71		
12	103,78	X_u Undre gränsvärde	108,78
13	120,08	$X_{\bar{o}}$ Övre gränsvärde	120,44
14	120,08		
15	118,47		

Tabell 5.12 Gråskalevärden för Necuron 651 samt övre och undre gränsvärde.

Necuron 651			
Bild	Gråskalevärde		
1	98,48		
2	119,47		
3	110,11	\bar{X} Provmedel	110,35
4	113,09	S_m Prov std avv	6,43
5	107,71	n Antal	15,00
6	103,58		
7	117,52	Konfidensintervall	95%
8	112,93	Signifikans	5%
9	113,76		
10	122,31	t t-värde	2,14
11	102,28		
12	107,16	X_u Undre gränsvärde	106,79
13	108,71	$X_ö$ Övre gränsvärde	113,91
14	108,71		
15	109,47		

Tabell 5.13 Gråskalevärden för Necuron 770 samt övre och undre gränsvärde.

Necuron 770			
Bild	Gråskalevärde		
1	97,29		
2	103,21		
3	93,47	\bar{X} Provmedel	99,20
4	99,00	S_m Prov std avv	4,49
5	98,62	n Antal	15,00
6	102,15		
7	101,27	Konfidensintervall	95%
8	98,08	Signifikans	5%
9	97,48		
10	110,28	t t-värde	2,14
11	99,89		
12	103,74	X_u Undre gränsvärde	96,71
13	93,87	$X_ö$ Övre gränsvärde	101,69
14	93,87		
15	95,81		

5.4 Medelvärde träprovkroppar

Nedan redovisas medelvärden av gråskalan för den andra seriens sista omgång bestående av 15 bilder tagna på träprovkroppar och 15 bilder tagna på necuronprovkroppar (se Tabell 5.14 och 5.15).

Tabell 5.14 Medelvärden på träprovkroppar.

	Träprovkroppar	ρ	medelvärde
1	Gran	461,30	155,28
2	Abachi	389,97	158,90
3	Al	544,41	154,88
4	Lind	602,31	152,86
5	Furu	514,14	146,42
6	Ek	729,03	134,30
7	Bok	692,40	137,45

Tabell 5.15 Medelvärden på necuronprovkroppar.

	Necuronprovkroppar	ρ	Medelvärde
1	301	301,79	153,67
2	480	476,30	138,14
3	540	522,00	135,25
4	600	626,67	105,04
5	651	665,19	108,10
6	770	750,57	104,55

6. Diskussion

Nedan analyseras det resultat som redovisades i kapitel 5. De två olika metoder som har tagits upp jämförs och det redovisas varför en andra metod var nödvändig.

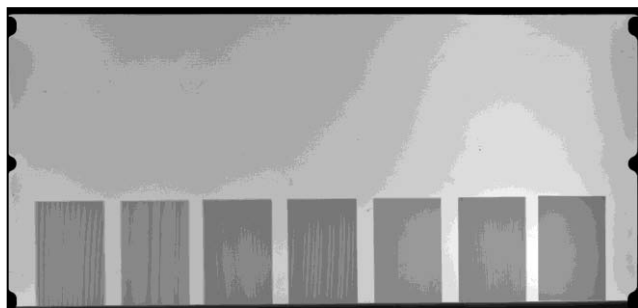
6.1 Serie 1

Först antogs det att gråskalan skulle minska i värde med ett ökat avstånd även om samma antal pulser användes. Detta grundades på att strålningsintensiteten skulle avta med ett ökat avstånd och ge en mörkare bild. Som går att utläsa i Tabell 6.1 nedan är det bara för provkroppen Bok som det antagandet visade sig vara korrekt.

Tabell 6.1 Medelvärden för träslag resp. avstånd.

Avstånd	Ek	Bok	Lind	Al	Tall	Gran	Abachi
2,00	144,01	144,99	135,37	138,21	151,37	137,93	142,76
2,50	142,49	143,59	134,32	139,88	148,31	143,61	148,77
3,00	133,85	139,28	137,97	144,38	144,42	138,63	148,34
5,00	136,21	137,49	133,78	136,54	144,71	131,11	138,23

Anledningen till att inte önskat resultat uppnåddes tros vara placeringen av provkropparna framför röntgenplåten. Vid dessa bilder var nämligen provkropparna placerade bredvid varandra. Det var även ett avstånd mellan varje provkropp som gjorde att nästan hela plåten togs i anspråk (se Figur 6.1). Vid senare kontroll av felkällor visade det sig att plåtens gråskala varierar över bredden, se Kapitel 4.3. Detta antogs vara anledningen till resultatet.



Figur 6.1 Exempel på placering av provkropp (A2-P99-02).

Samtidigt som ovan nämnda bilder togs, ändrades även antalet pulser som strålningskällan gav ifrån sig. Detta gjordes för att undersöka om ett mindre antal pulser skulle ge en mörkare bild. I samband med att strålningsintensiteten halverades, uppmättes en sänkning av gråskalan på 75 % hos avstånden och provkropparna (se Tabell 6.2). Detta visar att den valda metoden och uppställningen, till viss del, ger ett tillfredsställande resultat.

Tabell 6.2 Medelvärden för bilder tagna med olika pulser på olika avstånd.

Avstånd	Pulser	Ek	Bok	Lind	Al	Tall	Gran	Abachi
2	49	141,45	140,59	129,83	132,13	145,73	130,79	136,82
	99	144,01	144,99	135,37	138,21	151,37	137,93	142,76
2,5	49	143,34	140,58	133,22	132,96	150,04	128,40	133,82
	99	142,49	143,59	134,32	139,88	148,31	143,61	148,77
3	49	138,60	140,69	129,98	133,82	144,48	141,96	143,08
	99	133,85	139,28	137,97	144,38	144,42	138,63	148,34
5	49	142,86	143,97	125,46	125,60	143,29	129,31	130,31
	99	136,21	137,49	133,78	136,54	144,71	131,11	138,23

Även vid användandet av olika pulser var uppställningen den samma som visas i Figur 6.1. Dock kan uppställningen av provkropparna i detta fall inte vara anledningen till att inte alla bilder uppvisar en minskning av gråskalan då avståndet mellan strålningskällan och provkropparna är konstant på de bilder som jämförs. Det innebär att den effekt som strålningsvinkeln har på gråskalan, se Kapitel 4.3, inte ändras utan är konstant på de jämförda bilderna och därför kan bortses från.

De 25 % som avviker från det eftersträvade resultatet kan möjligen tillskrivas batteriet (se Kapitel 4.4).

6.2 Serie 2

Antagandet som gjordes för den andra serien var att om 15 röntgenbilder togs, under samma förhållanden och av samma objekt, att de sedan kunde användas för att beräkna ett övre och undre gränsvärde med hjälp av t-fördelningen. Dessa värden skulle, med 95 % sannolikhet, gälla för respektive provkropp.

Dessa gränsvärden skulle sedan verifieras genom att ytterligare 15 bilder togs. Medelvärdet för varje provkropp ska då hamna inom de tidigare beräknade gränserna (se Tabell 5.7 till 5.13). Detta förutsatt att ett representativt konfidensintervall fås ur t-fördelningen.

Nedan följer en tabell för trä resp. necuron, där ja betyder att medelvärdet är innanför de givna gränserna.

Tabell 6.3 Kontroll av trä medelvärde.

Provkropp	Gränser		Medel	Innanför?
Gran	$X_{\bar{o}}$	149,9	155,28	Ja
	X_U	159,69		
Abachi	$X_{\bar{o}}$	145,98	158,90	Nej
	X_U	153,58		
Al	$X_{\bar{o}}$	138,18	154,88	Nej
	X_U	146,85		
Lind	$X_{\bar{o}}$	133,73	152,86	Nej
	X_U	146,44		
Furu	$X_{\bar{o}}$	150,91	146,42	Nej
	X_U	160,42		
Ek	$X_{\bar{o}}$	135,85	134,30	Ja
	X_U	144,05		
Bok	$X_{\bar{o}}$	132,8	137,45	Ja
	X_U	141,92		

För trä provkropparna är det tre av sju medelvärden som hamnar innanför det givna intervallet.

Tabell 6.4 Kontroll av necuron medelvärde.

Provkropp	Gränser		Medel	Innanför?
301	$X_{\bar{o}}$	148,65	153,67	Ja
	X_U	160,7		
480	$X_{\bar{o}}$	123,54	138,14	Nej
	X_U	135,04		
540	$X_{\bar{o}}$	114,84	135,25	Nej
	X_U	127,44		
600	$X_{\bar{o}}$	108,78	105,04	Nej
	X_U	120,44		
651	$X_{\bar{o}}$	106,79	108,10	Ja
	X_U	113,91		
770	$X_{\bar{o}}$	96,71	104,55	Nej
	X_U	101,69		

Analysen av necuron visar att bara två medelvärden av sex hamnar innanför det givna intervallet. Det här betyder dock inte att metoden är felaktig och resultatet förkastligt.

6.3 Sammanfattning

Anledningen till att den första serien inte uppvisade ett tillfredsställande resultat skulle kunna tillskrivas valet av uppställning. D.v.s. att provkropparna var för utspridda i förhållande till röntgenplåtens bredd. Även batteriurladdningen tycks ha påverkat resultatet. Då inte spänningen på batteriet mättes mellan varje bild råder det dock fortfarande viss osäkerhet kring den felkällan.

Då den första serien inte gav tillfredsställande resultat så analyserade vi metoden och skapade en ny där vi trodde att resultaten skulle bli mer tillfredsställande, serie 2.

Den andra serien, som tycks visa att det inte går att repetera förfarandet, skulle kunna tillskrivas t-fördelningen. Det beräknade intervallet bygger nämligen på en uppskattning av det sanna väntevärdet.

Det sanna väntevärdet går bara att beräkna för en begränsad population. Vid en röntgenundersökning kan alltid fler bilder tas och således är det ingen begränsad population utan endast ett stickprov i en oändlig population.

Det väntevärdet som beräknats ska stämma med 95 % säkerhet med ett konfidensintervall av samma storlek, alltså inte 100 %. Det betyder att våra mätningar kan ha hamnat i de 5 % som ligger utanför intervallet. Det skulle förklara varför konfidensintervallet inte stämmer överens med medelvärdet. För att utreda om det beräknade väntevärdet ligger innanför eller utanför det 95 % konfidensintervallet, skulle försöket behöva upprepas ett större antal gånger.

Genom upprepning och beräkning av resultaten skulle det vara möjligt att komma närmare det sanna väntevärdet och på så sätt närma sig ett mer tillförlitligt konfidensintervall.

En annan anledning till det redovisade resultatet kan vara att gråskalan på röntgenbilderna inte följer en t-fördelning. Att t-fördelningen kan användas bygger nämligen på ett antagande om att bilderna följer en normalfördelningskurva. Om detta inte skulle vara sant kan inte t-fördelningen användas för att få ett användbart resultat.

Ytterligare felkälla skulle kunna vara gråskalan. Vid laborationerna valdes en 8 bitars upplösning på bilderna som gjorde att gråskalan sträckte sig från 0 till 255. Hade t.ex. en 32-bitars upplösning valts hade gråskalan gått från 0 till 65 535. Då hade exaktare värden kunnat utläsas och användas för beräkning.

7. Slutsats

Syftet med detta examensarbete var att påvisa repeterbarhet hos röntgenundersöknings- metoden av trä och undersöka hur olika faktorer påverkar resultatet.

Ett visst samband mellan densitet och gråskala kunde utläsas i resultatet. Däremot lyckades inte repeterbarheten verifieras. Det betyder dock inte att det inte går att repetera, men på det sättet som just dessa laborationer utfördes går det inte att visa på någon tillförlitlig repeterbarhet.

Resultatet visar att gråskalan sjönk med en minskad strålningsintensitet. Det bör tas hänsyn till detta och kompenseras för om bilder tagna med olika antal pulser ska jämföras. Även stora variationer från bild till bild kunde konstateras, något som inte var till gagn för undersökningen. Det visade sig även att uppställningen av provkropparna hade en stor inverkan på resultatet.

Vid fortsatta laborationer rekommenderas att metoden som använts här inte används. Istället bör provkropparna placeras samlat kring röntgenplåtens centrum. Tillsammans med undersökningsobjektet bör även referensprovkroppar placeras på ett sådant sätt att de ryms på samma bild. Detta för att undvika de variationer som förekommer mellan olika bilder. Det bör även tas minst 20 bilder för att variationerna ska stabiliseras.

Det skulle även vara intressant att se hur ett R^2 värde skulle se ut för ett mycket större prov. Dvs. om det skulle tas bilder på många olika träprovkroppar med olika densiteter istället för att använda sig av samma provkroppar hela försöket igenom. Detta för att få kontinuerliga provvärden för både densitet och gråskala.

8. Figur & Tabellförteckning

Detta kapitel sammanfattar alla de olika figurer och tabeller som har använts i rapporten med respektive sidnummer.

Figurer

Figur 2.1 Densitetsfördelning hos olika träslag (Dinwoodie 2001).....	3
Figur 2.2 Cellstrukturen hos sommar- och vårved med ett brott (Al-Emrani et. al. 2010).	4
Figur 2.3 De olika riktningarna i trä (Al-Emrani et. al. 2010).....	5
Figur 2.4 Borr som används inom motståndsbörning (Lear, G. 2005).....	6
Figur 2.5 Akustik fältundersökning av timmer (Edlund, J. 2004).....	6
Figur 2.6 Principskiss på röntgen metoden.	7
Figur 2.7 Röntgenrör med vattenkyllning.	9
Figur 3.1 Process diagram över metoden som användes i arbetet.	11
Figur 3.2 Klimatlåda för konditionering av träprovkroppar.	13
Figur 3.3 Placering av strålningskälla i förhållande till provkropparna.	14
Figur 3.4 Provkroppens placering.....	14
Figur 3.5 Skärmbild från Photoshop CS5 som visar analysfunktionen.	15
Figur 4.1 Ljusrand på bilden (1x6-A2.5-P99-06).	17
Figur 4.2 Bild utan rand (1x6-A2.5-P99-05).	17
Figur 4.3 Gråskalans vertikala fördelning.	18
Figur 4.4 Bild på necuronprovkropp över hela röntgenplåtens bredd (lang01).....	18
Figur 4.5 Bild på necuronprovkropp över hela röntgenplåtens bredd (lang02).....	18
Figur 4.6 Bild på necuronprovkropp över hela röntgenplåtens bredd (lang03).....	18
Figur 4.7 Bild på necuronprovkropp över hela röntgenplåtens bredd (lang04).....	18
Figur 4.8 Bild med ljusrand (1x6-A2.5-P99-07).	19
Figur 4.9 Exempel på mät områden och deras numrering (T2-A2.5-P99-V00-01).....	20
Figur 5.1 Sammanfattning av trä bilder.	21
Figur 5.2 Sammanfattning av Necuron bilder.....	21
Figur 6.1 Exempel på placering av provkropp (A2-P99-02).	31

Tabeller

Tabell 3.1 Träslag på provkroppar.....	12
Tabell 3.2 Referenskroppar.....	12
Tabell 3.3 Fukthalt hos träprovkroppar.....	13
Tabell 5.1 Gråskalevärden för Gran samt övre och undre gränsvärde.....	22
Tabell 5.2 Gråskalevärden för Abachi samt övre och undre gränsvärde.....	22
Tabell 5.3 Gråskalevärden för Al samt övre och undre gränsvärde.....	23
Tabell 5.4 Gråskalevärden för Lind samt övre och undre gränsvärde.....	23
Tabell 5.5 Gråskalevärden för Furu/Tall samt övre och undre gränsvärde.....	24
Tabell 5.6 Gråskalevärden för Ek samt övre och undre gränsvärde.....	24
Tabell 5.7 Gråskalevärden för Bok samt övre och undre gränsvärde.....	25
Tabell 5.8 Gråskalevärden för Necuron 301 samt övre och undre gränsvärde.....	26
Tabell 5.9 Gråskalevärden för Necuron 480 samt övre och undre gränsvärde.....	26
Tabell 5.10 Gråskalevärden för Necuron 540 samt övre och undre gränsvärde.....	27
Tabell 5.11 Gråskalevärden för Necuron 600 samt övre och undre gränsvärde.....	27
Tabell 5.12 Gråskalevärden för Necuron 651 samt övre och undre gränsvärde.....	28
Tabell 5.13 Gråskalevärden för Necuron 770 samt övre och undre gränsvärde.....	28
Tabell 5.14 Medelvärden på träprovkroppar.....	29
Tabell 5.15 Medelvärden på necuronprovkroppar.....	29
Tabell 6.1 Medelvärden för träslag resp. avstånd.....	31
Tabell 6.2 Medelvärden för bilder tagna med olika pulser på olika avstånd.....	32
Tabell 6.3 Kontroll av trä medelvärde.....	33
Tabell 6.4 Kontroll av necuron medelvärde.....	33

9. Referenser

- Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M., Johansson, P. (2010) *Stål och träbyggnad*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Bodig, J., Jayne, B. (1982): *Mechanics of Wood and Wood Composites*. New York, Van Nostrand Reinhold Company Inc.
- Burström, P. (2001): *Byggnadsmaterial*. Lund, Studentlitteratur
- Dinwoodie, J. M. (2001) *Timber. Construction Materials Their nature and behavior*, red. J. M. Illston och P. L. J. Domone, ss.425-541. Glasgow: Bell & Bain Ltd.
- Edlund, J., Lindström, H., Nilsson, F. (2004)
Akustisk sortering av grantimmer med hänsyn till utbytets hållfasthet
Institutionen för skogens produkter och marknader Uppsala (2004)
- Kliger, R., Johansson, M., Bäckström, M. (2003)
Dynamisk mätning av elasticitetsmodul på stockar – en möjlig sorteringsmetod?
Institutionen för Konstruktion och Mekanik, Stål- och Träbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola Göteborg 2003
- Lear, G. (2005): *Improving the assessment of in situ timber members with the use of nondestructive and semi-destructive testing techniques*.
North Carolina State University
- Lane, D. (2011): *Onlinestatbook*.
<http://onlinestatbook.com> (2011-05-01)
- Lang, J. and A. Middleton. (1997): *Radiography of Cultural Material*. Burlington, Butterworth-Heinemann Ltd
- Nationalencyklopedin. *Definition av begreppet gråskala*
<http://www.ne.se.persefone.his.se/gråskala> (2011-05-31)
- Nationalencyklopedin. *Definition av begreppet konfidensintervall*
<http://www.ne.se.persefone.his.se/konfidensintervall> (2011-05-31)
- Nationalencyklopedin. *Definition av begreppet repeterbarhet*
<http://www.ne.se.persefone.his.se/repeterbarhet> (2011-05-23)
- Optical Society of America (2000) *Handbook of Optics, Volume 3 : Classical Optics, Vision Optics, X-Ray Optics* [Elektronisk] Andra upplagan. Blacklick OH, USA: McGraw-Hill Professional Publishing
- Skogsindustrierna (2011): *TräGuiden*.
<http://www.traguiden.se> (2011-04-29)

10. Bilagor

10.1	BILAGA 1, BILDFÖRTECKNING	40
10.2	BILAGA 2, GRÅSKALA TRÄBITAR	44
10.3	BILAGA 3, FUKTBALANS.....	46
10.4	BILAGA 4, PRODUKTBLAD XR200	48

10.1 Bilaga 1, Bildförteckning

Specialfall

Enskilda bilder som har kommit till under undersökningen vilka har tagits för att studera speciella fenomen.

Lpnr	Filnamn	Datum:	Plåt 1:hack	Kommentar
55	S-A1-P99-V00-01	01-apr	1	Nästan bara svart,
52	S-A1-P99-V00-02	01-apr	2	beror de på för mycket energi på avståndet?
53	S-A1-P49-V00-01	01-apr	1	Mindre mörk fläck
54	S-A1-P49-V00-02	01-apr	2	Mindre mörk fläck
55	S-A1-P25-V00-01	01-apr	1	Mindre mörk fläck (borttagen)
56	S-A2-P99-V00-01	01-apr	2	Provar med 2m för o se om vi har förstört plåten, bild ok
57	S-A1-P25-V00-01	01-apr	1	Bild Ok
93	S-RefDen770-01	06-apr		Mycket skugga
179	S-Svart	04-maj		Test på mörkhet direkt efter rensning
180	S-Vit-U	04-maj		Test på ljushet med bild utan plast
181	S-Vit-M	04-maj		Test på ljushet med bild med plast
	long01			Test på effekt av strålningens vinkel
	long02			Test på effekt av strålningens vinkel
	long03			Test på effekt av strålningens vinkel
	long04			Test på effekt av strålningens vinkel

Träbitar

Bilder på sju stycken provkroppar av olika träslag med samma dimensioner i två olika serier. En med fem bilder på olika avstånd och pulser och en med 30 bilder på samma avstånd och med samma antal pulser.

1	Gran	4	Lind	7	Bok
2	Abachi	5	Fura		
3	Al	6	Ek		

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

Datum: 2011-04-01

Lpnr	Avstånd:	5m	Puls:	99st	Vinkel:	0°
36	A5-P99-V00-01					
37	A5-P99-V00-02					
38	A5-P99-V00-03					
39	A5-P99-V00-04					
40	A5-P99-V00-05					

Datum: 2011-04-05

Lpnr	Avstånd:	5m	Puls:	49st	Vinkel:	0°
63	A5-P49-V00-01					
64	A5-P49-V00-02					
65	A5-P49-V00-03					
66	A5-P49-V00-04					
67	A5-P49-V00-05					

Datum: 2011-04-01

Lpnr	Avstånd:	3m	Puls:	99st	Vinkel:	0°
41	A3-P99-V00-01					
42	A3-P99-V00-02					
43	A3-P99-V00-03					
44	A3-P99-V00-04					
45	A3-P99-V00-05					

Datum: 2011-04-05

Lpnr	Avstånd:	3m	Puls:	49st	Vinkel:	0°
68	A3-P49-V00-01					
69	A3-P49-V00-02					
70	A3-P49-V00-03					
71	A3-P49-V00-04					
72	A3-P49-V00-05					

Datum: 2011-04-01

Lpnr	Avstånd:	2m	Puls:	99st	Vinkel:	0°
46	A2-P99-V00-01					
47	A2-P99-V00-02					
48	A2-P99-V00-03					
49	A2-P99-V00-04					
50	A2-P99-V00-05					

Datum: 2011-04-05

Lpnr	Avstånd:	2m	Puls:	49	Vinkel:	0°
73	A2-P49-V00-01					
74	A2-P49-V00-02					
75	A2-P49-V00-03					
76	A2-P49-V00-04					
77	A2-P49-V00-05					

Datum: 2011-04-05

Lpnr	Avstånd:	1m	Puls:	25st	Vinkel:	0°
58	A1-P25-V00-01					
59	A1-P25-V00-02					
60	A1-P25-V00-03					
61	A1-P25-V00-04					
62	A1-P25-V00-05					

Datum: 2011-04-05

Lpnr	Avstånd:	1m	Puls:	12	Vinkel:	0°
78	A1-P12-V00-01					
79	A1-P12-V00-02					
80	A1-P12-V00-03					
81	A1-P12-V00-04					
82	A1-P12-V00-05					

Datum: 2011-04-05

Lpnr	Avstånd:	2,5m	Puls:	99st	Vinkel:	0°
83	A2.5-P99-V00-01					
84	A2.5-P99-V00-02					
85	A2.5-P99-V00-03					
86	A2.5-P99-V00-04					
87	A2.5-P99-V00-05					

Datum: 2011-04-05

Lpnr	Avstånd:	2,5m	Puls:	49st	Vinkel:	0°
88	A2.5-P49-V00-01					
89	A2.5-P49-V00-02					
90	A2.5-P49-V00-03					
91	A2.5-P49-V00-04					
92	A2.5-P49-V00-05					

Fura	Ek	Bok	
Gran	Abachi	Al	Lind

Datum: 2011-05-04

Lpnr	Avstånd:	5m	Puls:	99st	Vinkel:	0°
192	T2-A2.5-P99-V00-01					
193	T2-A2.5-P99-V00-02					
194	T2-A2.5-P99-V00-03					
195	T2-A2.5-P99-V00-04					
196	T2-A2.5-P99-V00-05					
197	T2-A2.5-P99-V00-06					
198	T2-A2.5-P99-V00-07					
199	T2-A2.5-P99-V00-08					
200	T2-A2.5-P99-V00-09					
201	T2-A2.5-P99-V00-10					
202	T2-A2.5-P99-V00-11					
203	T2-A2.5-P99-V00-12					
204	T2-A2.5-P99-V00-13					
205	T2-A2.5-P99-V00-14					
206	T2-A2.5-P99-V00-15					

Datum: 2011-05-16

Lpnr	Avstånd:	5m	Puls:	99st	Vinkel:	0°
207	T2.1-A2.5-P99-V00-01					
208	T2.1-A2.5-P99-V00-02					
209	T2.1-A2.5-P99-V00-03					
210	T2.1-A2.5-P99-V00-04					
211	T2.1-A2.5-P99-V00-05					
212	T2.1-A2.5-P99-V00-06					
213	T2.1-A2.5-P99-V00-07					
214	T2.1-A2.5-P99-V00-08					
215	T2.1-A2.5-P99-V00-09					
216	T2.1-A2.5-P99-V00-10					
217	T2.1-A2.5-P99-V00-11					
218	T2.1-A2.5-P99-V00-12					
219	T2.1-A2.5-P99-V00-13					
220	T2.1-A2.5-P99-V00-14					
221	T2.1-A2.5-P99-V00-15					

Referens bitar.

Bilderna har tagits på sex stycken provkroppar av ett skum material med olika densitet men samma tjocklek, 60 mm.

600	651	770
301	480	540

Datum: 2011-04-20 / 05-04 Bredd på uppställning: 180

Lpnr	Avstånd:	2,5	Puls:	99	Vinkel:	0°
160	2x3-A2,5-P99-01					
161	2x3-A2,5-P99-02					
162	2x3-A2,5-P99-03					
163	2x3-A2,5-P99-04					
164	2x3-A2,5-P99-05					
182	2x3-A2,5-P99-06					
183	2x3-A2,5-P99-07					
184	2x3-A2,5-P99-08					
185	2x3-A2,5-P99-09					
186	2x3-A2,5-P99-10					
187	2x3-A2,5-P99-11					
188	2x3-A2,5-P99-12					
189	2x3-A2,5-P99-13					
190	2x3-A2,5-P99-14					
191	2x3-A2,5-P99-15					

Datum: 2011-05-16 Bredd på uppställning: 180

Lpnr	Avstånd:	2,5	Puls:	99	Vinkel:	0°
222	2x3(2)-A2,5-P99-01					
223	2x3(2)-A2,5-P99-02					
224	2x3(2)-A2,5-P99-03					
225	2x3(2)-A2,5-P99-04					
226	2x3(2)-A2,5-P99-05					
227	2x3(2)-A2,5-P99-06					
228	2x3(2)-A2,5-P99-07					
229	2x3(2)-A2,5-P99-08					
230	2x3(2)-A2,5-P99-09					
231	2x3(2)-A2,5-P99-10					
232	2x3(2)-A2,5-P99-11					
233	2x3(2)-A2,5-P99-12					
234	2x3(2)-A2,5-P99-13					
235	2x3(2)-A2,5-P99-14					
236	2x3(2)-A2,5-P99-15					

10.2 Bilaga 2, Gråskala träbitar serie 1

Nedan redovisas gråskalan och standardavvikelsen för bilderna från serie ett.

	A2-P49	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Bild 4	Bild 5	stdev	medel-grå
6	Ek	126,17	148,66	144,99	143,66	143,77	8,78	141,45
7	Bok	129,08	137,81	145,18	144,15	146,73	7,27	140,59
4	Lind	135,79	136,74	126,83	122,27	127,51	6,22	129,83
3	Al	147,07	133,65	126,88	123,99	129,06	9,07	132,13
5	Furu	142,03	157,91	144,83	140,73	143,18	6,97	145,73
1	Gran	154,40	134,88	121,50	120,77	122,38	14,42	130,79
2	Abachi	162,37	136,21	128,07	126,52	130,92	14,75	136,82

	A2-P99	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Bild 4	Bild 5	stdev	medel-grå
6	Ek	147,64	144,66	134,40	147,47	145,86	5,51	144,01
7	Bok	143,67	144,91	145,12	147,20	144,03	1,38	144,99
4	Lind	133,80	127,00	147,93	134,58	133,52	7,65	135,37
3	Al	130,86	128,19	163,94	134,97	133,07	14,60	138,21
5	Furu	158,37	144,47	148,71	154,25	151,04	5,29	151,37
1	Gran	132,01	133,35	154,16	139,77	130,36	9,75	137,93
2	Abachi	135,92	132,47	170,65	139,92	134,83	15,82	142,76

	A2,5-P49	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Bild 4	Bild 5	stdev	medel-grå
6	Ek	146,37	146,05	146,29	128,28	149,72	8,55	143,34
7	Bok	143,65	140,60	144,41	130,18	144,06	6,01	140,58
4	Lind	128,72	130,81	125,17	151,26	130,12	10,32	133,22
3	Al	127,68	127,88	125,32	156,87	127,04	13,40	132,96
5	Furu	150,54	150,55	148,67	147,98	152,45	1,76	150,04
1	Gran	128,25	127,39	122,08	137,08	127,21	5,43	128,40
2	Abachi	130,84	130,23	127,81	150,35	129,86	9,31	133,82

	A2,5-P99	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Bild 4	Bild 5	stdev	medel-grå
6	Ek	126,49	151,24	146,99	138,34	149,40	10,22	142,49
7	Bok	131,65	147,54	144,73	149,19	144,82	6,93	143,59
4	Lind	132,18	132,41	127,78	148,40	130,83	8,09	134,32
3	Al	144,72	132,27	126,38	164,32	131,73	15,23	139,88
5	Furu	138,30	153,29	149,30	150,77	149,89	5,80	148,31
1	Gran	169,32	134,85	124,55	155,59	133,70	18,32	143,61
2	Abachi	169,55	137,50	128,36	171,92	136,53	20,38	148,77

	A3-P49	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Bild 4	Bild 5	stdev	medel-grå
6	Ek	126,19	141,17	147,44	134,72	143,48	8,33	138,60
7	Bok	127,61	143,70	139,51	148,92	143,72	8,04	140,69
4	Lind	135,70	119,64	135,38	133,24	125,94	7,00	129,98
3	Al	150,30	122,21	131,75	137,66	127,20	10,83	133,82
5	Furu	141,83	136,20	156,70	141,24	146,42	7,73	144,48
1	Gran	164,79	126,87	136,17	150,28	131,71	15,46	141,96
2	Abachi	168,06	128,13	135,36	150,84	133,02	16,34	143,08

	A3-P99	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Bild 4	Bild 5	stdev	medel-grå
6	Ek	141,03	126,58	143,76	129,99	127,87	7,96	133,85
7	Bok	151,61	134,46	144,73	134,36	131,24	8,57	139,28
4	Lind	126,90	134,56	124,88	149,74	153,76	13,17	137,97
3	Al	128,25	146,57	125,24	164,50	157,32	17,35	144,38
5	Furu	141,12	141,83	141,24	146,18	151,74	4,59	144,42
1	Gran	128,19	164,10	123,84	146,49	130,52	16,61	138,63
2	Abachi	132,04	170,18	127,51	166,48	145,50	19,45	148,34

	A5-P49	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Bild 4	Bild 5	stdev	medel-grå
6	Ek	138,70	144,00	145,63	145,88	140,09	3,28	142,86
7	Bok	145,90	143,98	142,19	141,31	146,44	2,24	143,97
4	Lind	123,54	123,16	126,05	132,68	121,84	4,32	125,46
3	Al	125,29	124,69	127,30	129,16	121,55	2,87	125,60
5	Furu	139,86	142,77	143,43	152,77	137,62	5,79	143,29
1	Gran	128,66	127,28	129,45	131,90	129,28	1,68	129,31
2	Abachi	130,88	129,32	131,79	133,06	126,50	2,53	130,31

	A5-P99	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Bild 4	Bild 5	stdev	medel-grå
6	Ek	127,92	142,79	125,21	142,17	142,95	8,86	136,21
7	Bok	137,25	140,49	125,94	142,85	140,90	6,76	137,49
4	Lind	148,02	121,77	150,46	122,39	126,23	14,25	133,78
3	Al	160,63	121,44	154,51	122,99	123,14	19,33	136,54
5	Furu	144,83	142,18	146,94	139,79	149,80	3,92	144,71
1	Gran	146,22	128,39	132,86	123,04	125,07	9,23	131,11
2	Abachi	162,40	127,39	147,25	126,51	127,58	16,08	138,23

10.3 Bilaga 3, Fuktbalansering

Initial Date/Time		2011-03-29					
No.	Species Name	Botanical Name	Date & Time	b	h	t	ρ
	[SWE - ENG]	[latin]	Tot. Hours	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/m ³]
1	Gran - Norway spruce	Picea abies		45,40	69,86	30,75	461,21
2	Abachi - African whitewood	Triplochiton scleroxylon		44,92	69,89	30,05	389,60
3	Al - alder	Alnus glutinosa		45,37	69,92	30,44	544,04
4	Lind - linden	Tilia (cordata)		45,82	69,87	30,81	602,46
5	Tall/Furu - pine	Pinus sylvestris		44,92	69,83	30,16	513,91
6	Ek - oak-tree	Quercus (alba/ robur)		45,10	69,86	30,24	727,74
7	Bok- Beech	Fagus sylvatica		45,30	70,34	30,30	691,58

Weight [g]		Weight [g]		Weight [g]		Weight [g]	
2011-04-05 10:25	Specimens weightloss [%]	2011-04-01 08:30	Specimens weightloss [%]	2011-03-31 14:40	Specimens weightloss [%]	2011-03-31 11:15	Specimens weightloss [%]
97,9		17,8		3,4		1,3	
44,981	0,04%	44,965	0,13%	44,905	0,10%	44,860	0,18%
36,755	0,09%	36,787	0,16%	36,730	0,08%	36,700	0,19%
52,535	0,02%	52,545	0,12%	52,480	0,06%	52,450	0,15%
59,425	0,04%	59,402	0,12%	59,330	0,03%	59,310	0,12%
48,618	0,05%	48,642	0,11%	48,589	0,06%	48,560	0,10%
69,337	0,05%	69,370	0,03%	69,350	0,04%	69,320	0,07%
66,771	0,00%	66,772	0,01%	66,765	0,07%	66,720	0,15%

Weight [g]		Weight [g]		Weight [g]		Weight [g]		↓ START ↓
2011-03-31 10:00	Specimens weightloss [%]	2011-03-30 16:00	Specimens weightloss [%]	2011-03-30 09:50	Specimens weightloss [%]	2011-03-29		
18,0		6,2		18,5				
44,940	0,36%	44,780	0,33%	44,930	0,13%	44,990		
36,770	0,44%	36,610	0,38%	36,750	0,11%	36,790		
52,530	0,34%	52,350	0,32%	52,520	0,10%	52,570		
59,380	0,29%	59,210	0,24%	59,350	0,10%	59,410		
48,610	0,25%	48,490	0,21%	48,590	0,10%	48,640		
69,370	0,12%	69,290	0,19%	69,420	0,06%	69,460		
66,820	0,27%	66,640	0,28%	66,830	0,03%	66,850		

10.4 Bilaga 4, Produktblad XR200

XR200 X-Ray Source



- New Electronics Package Including Sealed Membrane Switch
- User Selectable Default Pulse Setting
- Backlit LCD
- Penetrates up to 1/2" of Steel
- Optional Thumbwheel Key
- Entire System Fits into One Carrying Case

GOLDEN ENGINEERING, INC.
P.O. Box 185 Centerville, IN 47330 USA
Tel: (765)855-3493 Fax: (765)855-3492
sales@goldenengineering.com
www.goldenengineering.com

Military - Law Enforcement - Corporate Security - Industrial

XR200 X-Ray Source

The XR200 is a 150kV, single-package, pulsed X-ray source used by military, law enforcement, corporate security, and industrial personnel for radiographic examination of various items. The option of use with conventional radiographic film, instant radiographic film, or digital inspection systems provides users with the flexibility to develop a complete radiographic system best suited to their individual needs. The combination of battery power and minimal weight allows the user to obtain radiographs in even the most remote location.



To operate, attach a charged battery, set the number of pulses, and fire the unit. The user can view a high quality X-ray image immediately when using a video inspection system or within two minutes when using the Polaroid instant radiographic film system.

SPECIFICATIONS

Size (Including battery pack)	12.5 in. (31.75 cm) x 4.5 in. (11.5 cm) x 7.5 in. (19 cm)
Weight (Including battery pack)	12 lbs. (5.5 Kg)
Output dose	3.1 mR/pulse +/- 0.5 mR measured 12 inches from source
Pulse rate	25 pulse per second nominal
X-ray source size	1/8 in. (3 mm)
Maximum photon energy	150 KVP
X-ray pulse width	60 nanoseconds
Current draw	35 amps @ 13.4 volts
Power supply	DeWalt® 14.4 volt, removable, rechargeable, nickel-cadmium battery
Battery recharge time	1 hour with standard DeWalt® charger, 15 minute charger available
Number of pulses per battery charge	4000
Temperature range	-10 to 120 degrees F (-23 to 50 degrees C)
Maximum duty cycle	200 pulses every 4 minutes (3000 pulses per hr)
Warm-up	None required
X-ray leakage	3 mR per 100 pulses measured 2 inches behind the unit
Warranty	1 year limited warranty



Golden Engineering, Inc.
P.O. Box 185, Centerville, IN 47330 USA
Telephone: (800)321-0378, (765)855-3493
Fax: (765)855-3492
E-mail: sales@goldenengineering.com
www.goldenengineering.com