

# Förbättrad stocksortering genom att kombinera 3D- och röntgenteknik

*Slutrapport*

Johan Skog<sup>1</sup>, Johan Oja<sup>1</sup>, Erik Johansson<sup>1</sup>,  
Nils Lundgren<sup>2</sup> & Magnus Fredriksson<sup>2</sup>

<sup>1</sup> SP Träteknik, Skeria 2, 931 77 Skellefteå

<sup>2</sup> Luleå tekniska universitet, Avdelningen för träteknik,  
Skeria 3, 931 87 Skellefteå



## SAMMANFATTNING

I Sverige sorteras i princip allt sågtimmer till olika klasser, baserat på dimension och trädslag. Kvalitetssortering av sågtimret har också blivit allt vanligare. Vanligtvis baseras kvalitetssorteringen på antingen 3D- eller röntgenteknik. I en tidigare studie har det konstaterats att det bör vara möjligt att förbättra kvalitetssorteringens precision genom att kombinera dessa två mättekniker.

Syftet med detta projekt har varit att utveckla en metod för att kombinera 3D- och röntgendata genom PLS-modellering och genom så kallad gångvägskompensation och att nyttja de kombinerade data för att förhöja precisionen i ett antal viktiga kvalitetssorteringsvariabler. Projektet har pågått från 2005 till 2010 och omsatt 5616 kkr.

Genom att kombinera parametrar från 3D och röntgensystemen i en PLS-modell var det möjligt att redan på stocknivå sortera på kvistkvalitet (O/S, V, friskkvist) med en noggrannhet som är jämförbar med automatsortering av sågat virke med en FinScan-utrustning.

Gångvägskompensering av röntgendata med hjälp av yttre form-data från en 3D-mätram visade sig vara en bra metod för att förbättra precisionen i ett flertal kvalitetssorteringsparametrar. Bland resultaten märks kraftigt förbättrad precision i kärnvedsdiameter och kärnvedsdensitet för både furu och gran. För kärnvedsdiameter eliminerade kombinationen av 3D och röntgen omkring halva mätosäkerheten. Predikterbarheten förbättrades från  $R^2 = 0,84$  till  $R^2 = 0,94$  och medelfelet från RMSE = 17 mm till RMSE = 10,3 mm (9,3 mm exkl. uteliggare). Metoder för detektering av toppbrott och splintfuktkvot har också tagits fram och förstudier har gjorts av nya metoder för att beräkna årsringsbredd, barktjocklek och kvistparametrar.

Delar av de utvecklade algoritmerna har konverterats för industriell online-drift men fortfarande återstår att visa att den tekniska lösningen med sammankoppling av 3D- och röntgenmätningar verkligen fungerar tillförlitligt. Den programvara som behövs för detta är dock i princip färdig och storskalig industriell utvärdering bör kunna utföras under 2011. Förutom industriella verifieringar återstår en del konverteringsarbete. Fokus för kommande arbete inom området bör därför ligga på att tillvarata samtliga resultat från detta projekt.

Sammanfattningsvis visar resultaten att det finns en stor potential i att kombinera 3D- och röntgenscanning. Den förbättrade sorteringsprecisionen gör återbetalningstiden för ett röntgensystem kortare och bör uppmuntra fler sågverk att investera i en röntgenmätning. För sågverk som endast är intresserade av sortering baserat på kärnvedsdiameter kan en enriktningsmätning vara ett kostnadseffektivt alternativ

## INNEHÅLL

Sammanfattning .....	3
Inledning .....	5
Bakgrund .....	5
Syfte, mål och avgränsningar .....	6
Risk och relevans.....	6
Kostnadsbudget.....	7
Organisation .....	8
Projektgrupp .....	8
Workshops och styrgruppsmöten .....	8
Material och metoder.....	9
Industriell röntgen- och 3D-mätning .....	9
Tomografering och simulering .....	9
Programutveckling .....	9
Resultat och diskussion .....	10
Sammanfattning .....	10
Testinstallation vid SCA Munksund .....	10
PLS-kombination av 3D- och röntgendata .....	11
Programvara för simulering av röntgenmätram .....	12
Algoritm för gångvägskompensation.....	13
Kärnvedsgräns och kärnvedsdiameter.....	14
Kärnvedens rådensitet och torrdensitet.....	15
Splintvedens fuktkvot .....	16
Toppbrott .....	18
Åsringsbredd .....	19
Barktjocklek .....	21
Kvistparametrar .....	23
Gran.....	25
Industriell programkod .....	27
Vetenskapliga publikationer.....	28
Slutsatser .....	30
Referenser.....	31
Bilaga 1: Detektion av toppbrott i sågtimmer från röntgenbilder.....	33
Bilaga 2: Kvistmodellering från 3D- och röntgenmätning av sågtimmer .....	41

## INLEDNING

### Bakgrund

I Sverige sorteras i princip allt sågtimmer till olika klasser, baserat på dimension och trädslag. Sådan sortering av timret ökar sågverkets produktivitet genom att ett stort antal likartade stockar kan sönderdelas vid samma tillfälle. Detta minskar behovet av att posta om för varje enskild stock och effektiviserar både sågning och råsortering.

Kvalitetssortering av sågtimret har också blivit allt vanligare. Denna typ av sortering innebär att kvaliteten hos den sågade varan predikteras utifrån mätningar på timret. På så sätt är det möjligt för sågverket att styra stockar med hög virkeskvalitet till produkter där den högre kvaliteten också motsvaras av ett högre produktvärde medan stockar med lägre virkeskvalitet kan användas till produkter där kvaliteten inte är lika avgörande.

Förutsättningen för en lyckad kvalitetssortering är att det sågade virkets egenskaper kan predikteras med god träffsäkerhet. Vanligtvis baseras kvalitetssorteringen på antingen 3D- eller röntgenteknik. I en studie av Oja *et al.* (2004) konstateras det att båda dessa metoder kan användas för att förutsäga kvaliteten hos det sågade virket. Genom att kombinera variabler från båda mätmetoderna i en PLS-modell var det möjligt att höja förbättra prediktionsförmågan ytterligare.

En viktig anledning till att sorteringsnoggrannheten kan förbättras genom att 3D- och röntgendata kombineras är att den uppmätta röntgenintensiteten påverkas såväl av stockens densitet som av dess diameter (strålningens gångväg genom stocken). Genom att mäta stockens diameter med hjälp av 3D-teknik kan man kompensera för gångvägen och på så sätt mäta densiteten med högre noggrannhet. Detta leder i sin tur till att man även kan mäta viktiga kvalitetsparametrar som kviststruktur och kärnvedsdiameter med högre noggrannhet.

Kombinationen av 3D- och röntgenmätning förväntas även ha positiv inverkan på dimensionssorteringen. För att sågningen ska kunna ge både en låg andel vankant och ett högt volymsutbyte är det viktigt att dimensionsmätningen i timmersorteringen håller hög precision. Eftersom timret i de flesta fall mäts på bark och både barktjocklek och barkandel kan variera kraftigt är barken en betydande osäkerhetsfaktor. Moderna 3D-mätningar nyttjar trakeideffekten för att avgöra var stocken har bark och inte, och kan på så sätt minska osäkerheten i diametermåtten under bark avsevärt. Röntgenmätningen mäter densitet och är kalibrerad för att ignorera den lätta barken, och kan på så sätt uppskatta diametern under bark. Genom en klok kombination av dessa två mättekniker bör det vara möjligt att ytterligare förbättra diametermätningen under bark.

## Syfte, mål och avgränsningar

Syftet med detta projekt var att förbättra stocksorteringen genom att ta fram en sorteringsmetod som kombinerar 3D- och röntgenteknik. Projektet delades in i fyra delprojekt, vart och ett med olika mål:

**Delprojekt 1:** Göra en testinstallation där 3D- och röntgenmätsystem kommunicerar med varandra, samt utveckla algoritmer som kombinerar data från båda mätramarna.

**Delprojekt 2:** Nyttja kombinerad 3D- och röntgen för att mäta grundläggande egenskaper som kärnvedsandel, densitet och kvistegenskaper med högre noggrannhet.

**Delprojekt 3:** Utveckla algoritmer för att detektera speciella defekter, såsom toppbrott, sten, röta och metall.

**Delprojekt 4:** Förbättra mätningen av diameter under bark och sektionsvis kvistkvalitet, samt anpassa befintliga algoritmer för att fungera även för gran.

## Risk och relevans

Projektet har stor ekonomisk potential för sågverksindustrin. Att kombinera 3D- och röntgenteknik öppnar stora möjligheter för att förbättra noggrannheten vid kvalitetssortering av timmer.

FoU-nivån i projektet är hög. Att kombinera två mätmetoder gör även att mätningarna påverkas av felkällor från två mätmetoder. Risken i projektet är därför att nyttan av kombinationen av 3D och röntgen är mindre än effekten av de kombinerade felen.

## KOSTNADSBUDGET

Den ursprungliga kostnadsbudgeten redovisas i Tabell 1 och den slutliga kostnadsfördelningen redovisas i Tabell 2. Delprojekt 4 är beviljat fortsättning fram till och med mars 2011, men i denna rapport presenteras endast kostnader och resultat erhållna fram till och med att första omgången av TCN avslutades i oktober 2010.

**Tabell 1: Ursprunglig kostnadsbudget, inklusive investering i röntgenmätram.**

Delprojekt	Aktivitet	Kostnadspost	Kostnad, kkr						
			2005	2006	2007	2008	2009	2010	Summa
Del 1	Kombinering av röntgen och 3D-data	Löner	100	700	200				1000
		Investering	2000						2000
Del 2	Mätning av grundegenskaper (densitet, kärnvedsandel)	Löner			800	200			1000
Del 3	Mätning av defekter (toppbrott, röta, sten och metall)	Löner				800	200		1000
Del 4	Vidareutveckling (diameter under bark, kviststruktur, gran)	Löner					615	815	1430
<b>Summa kostnader per år</b>			2100	700	1000	1000	815	815	
<b>Summa kostnader totalt alla år</b>									<b>6430</b>

**Tabell 2: Slutlig kostnadsfördelning. Röntgenmätramen bokfördes mha avskrivningar och avyttrades därefter. Ytterligare anslag tilldelades för arbete inom projektet.**

Delprojekt	Aktivitet	Kostnadspost	Kostnad, kkr						
			2005	2006	2007	2008	2009	2010	Summa
Del 1	Kombinering av röntgen och 3D-data	Löner	100	899					999
		Inköp röntgenram		122	365				487
Del 2	Mätning av grundegenskaper (densitet, kärnvedsandel)	Löner			1354				1354
	Försäljning av röntgenram	Reaförlust				236			236
Del 3	Mätning av defekter (toppbrott, röta, sten och metall)	Löner				633	477		1110
Del 4	Vidareutveckling (diameter under bark, kviststruktur, gran)	Löner					468	962	1430
<b>Summa kostnader per år</b>			100	1021	1719	869	945	962	
<b>Summa kostnader totalt alla år</b>									<b>5616</b>

## ORGANISATION

### Projektgrupp

I projektgruppen har följande personer ingått:

- Johan Oja (SP Träteck / LTU)
- Stig Grundberg (SP Träteck / LTU)
- Per Berg (SP Träteck)
- Johan Skog (SP Träteck)
- Jens Flodin (SP Träteck)
- Tommy Vikberg (SP Träteck)
- Erik Johansson (SP Träteck)
- Anders Grönlund (LTU)
- Nils Lundgren (LTU)
- Magnus Fredriksson (LTU)
- Kent Olsson (RemaControl)
- Rudolf Kuminek (MPM)
- Anders Nordmark (SCA)
- David Engberg (SCA)
- Anders Petersson (SCA)
- Dan Olofsson (SCA)
- Representanter för övriga TCN-företag

Värdsågverket (SCA Munksund) har stått för eget arbete i samband med installationer och försök. Martinsons Bygdsiljum, Setra Skinnskatteberg och Setra Lövholmen har också bidragit med eget arbete i samband med försök. Det av TCN finansierade arbetet inom projektet utfördes av personal vid SP Träteck och LTU i Skellefteå. Under 2005–2008 var Johan Oja (SP Träteck) projektledare och under 2009–2010 var Johan Skog (SP Träteck) projektledare.

### Workshops och styrgruppsmöten

TCN:s styrgrupp för mätteknik har fungerat som referensgrupp för detta projekt. Vid styrgruppens möten har löpande rapportering om projektets framskridande givits. Vid två workshops (februari 2008 och april 2009) gavs större avrapporteringar av resultaten från projektet.

Vid workshops och styrgruppsmöten har referensgruppen också kunnat komma med önskemål och prioriteringar för arbetet inom projektet. Detta har inneburit vissa omprioriteringar och i arbetet. Exempelvis har de ursprungliga önskemålen om att mäta röta, sten och metall fått stå tillbaka för andra prioriteringar i projektet. Anledningen att just dessa egenskaper prioriterades ned är att RemaControl på egen hand utfört arbete inom dessa områden.



## MATERIAL OCH METODER

### Industriell röntgen- och 3D-mätning

Eftersom projektets syfte är att kombinera data från 3D- och röntgenmätningar har industriella datainsamlingar varit en viktig del av projektet. Projektet inleddes med en stor provsågning vid SCA:s sågverk i Munksund. Totalt 435 stockar av varierande diameter valdes ut och märktes. Kärnvedsdiameter och årsringsbredd i topp mättes manuellt och mätramsdata samlades in för samtliga stockar. Efter sågning bedömdes plankens kvistkvalitet manuellt och automatiskt med hjälp av en FinScan Boardmaster. Slutligen sändes de torkade planken till fingerskarvning och de kvistfria områdena bestämdes.

Mindre datainsamlingar har också utförts i timmersorteringsstationerna vid Martinsons sågverk i Bygdsiljum och Setras sågverk i Skinnskatteberg och Lövholmen. Även röntgenmätningen på Remas laboratorium i Västerås har använts för några av de mera experimentella datainsamlingarna.

### Tomografering och simulering

Tomografering av stockar har använts för att få referensvärden till framförallt densitetsmätningarna och barkmätningarna. Dels har den svenska furustambanken (Grönlund et al. 1995) och den europeiska granstambanken (Anon. 2000) nyttjats, och dels har nya stockar och stockbitar tomograferats.

De tomograferade stockarna i stambanken har också använts för att simulera data från industriella mätningar. På så sätt var det möjligt att få fram en stor mängd 3D- och röntgenmätramsfiler för stockar med väldokumenterade materialegenskaper.

### Programutveckling

För att ta fram nya beräkningsalgoritmer har huvudsakligen programmering i Matlab använts. Matlab är ett matematiskt programmeringsspråk och har fördelen att det snabbt och enkelt går att experimentera med data och testa nya idéer.

Eftersom Remas röntgenprogramvara är skriven i C++ var det nödvändigt att översätta den färdiga Matlabkoden till C++. Denna process kan vara mycket tidskrävande och därför ändrades metodiken i en av de sista delstudierna (årsringsmätningen) så att arbetet i C++ påbörjades tidigare, Matlab användes då endast för att göra några inledande tester av olika algoritmidéer.

## RESULTAT OCH DISKUSSION

### Sammanfattning

I samspråk med TCN:s styrgrupp för mätteknik har prioriteringarna i projektet ändrats under arbetets gång. Därför stämmer listan av slutresultat inte helt överens med det arbete som planerades i samband med projektansökningarna.

Ett stort antal olika delstudier av varierande karaktär har utförts inom ramen för detta projekt. För att underlätta för läsaren presenteras därför resultaten från varje delstudie tillsammans med en kort bakgrund till området.

### Testinstallation vid SCA Munksund

I samband med projektets uppstart införskaffades en enriktnings röntgenmätram från RemaControl. Denna installerades under 2006 vid SCA Munksunds sågverk, i anslutning till den befintliga 3D-mätramen från MPM Engineering, se Figur 1.

Ett kommunikationsprotokoll utvecklades för att 3D-mätram, röntgenmätram och kvalitetssorteringsprogramvara (SP TräteK Kvalitet On-Line) skulle kunna kommunicera med varandra. Redan tidigt under projektet konstaterades dock att kommunikationen mellan 3D-mätram och röntgenmätram gick för långsamt för att beräkningarna skulle hinna utföras i tid. Eftersom röntgenmätamen i detta läge inte behövde tillgång till allt 3D-data blev den tillfälliga lösningen att 3D-mätramen bara sände vart 20:e tvärsnitt till röntgenmätamen. När gångvägskompensationen vid senare tillfälle i projektet skulle implementeras behövdes dock alla 3D-data och det blev då nödvändigt att lösa kommunikationsproblemet. Detta



**Figur 1:** Testinstallationen i Munksund. Till vänster en optisk 3D-mätram från MPM Engineering och till höger en enriktnings röntgenmätram från RemaControl.

gjordes genom att förändra hur röntgenmätamen tar emot data, och numera kan 3D-mätamen sända samtliga data utan att det går för långsamt.

## PLS-kombination av 3D- och röntgendata

### Bakgrund

I en studie av Oja *et al.* (2004) konstaterades det att både 3D- och röntgenteknik kan användas för att förutsäga kvaliteten hos det sågade virket. Genom att kombinera variabler från båda mätmetoderna i en PLS-modell var det möjligt att höja förbättra prediktionsförmågan ytterligare.

### Resultat

När röntgenmätamen var installerad i Munksund gjordes en provsågning och en PLS-modell togs fram för att prediktera det sågade virkets kvalitet utifrån parametrar beräknade av 3D- och röntgenmätsystemen. Sedan januari 2007 sorterar Munksunds sågverk timret baserat på denna första version av kombinerad 3D och röntgeninformation. De modeller för kvalitetsortering som utvecklats och kalibrerats har gav mycket goda resultat. Vad gäller kvistkvalitet (O/S, V, friskkvist) så visar resultaten att man med hjälp av röntgen och 3D redan på stocknivå kan sortera med en noggrannhet som är jämförbar med noggrannheten vid automatsortering av sågat virke med en FinScan-utrustning.

Utfallet för några av dimensionerna jämfördes med den tidigare kvalitetssorteringen som enbart nyttjade 3D-mätamen, se Tabell 3. Resultatet visar att tillägget av röntgenvariabler endast gav en liten förbättring i utsorteringen av OS för de klena dimensionerna (50x100). För de grövre dimensionerna (50x150 och 63x200) var dock förbättringen markant. En större andel av timret kunde sorteras fram samtidigt som andelen centrumbitar av korrekt kvalitet ökade kraftigt. Slutsatsen är alltså att för klen timmer ger 3D-mätamen rätt god information om stockarnas kvistegenskaper, men ju grövre timmer som mäts, desto mer tillför röntgenmätamen.

**Tabell 3: Utsorteringen av stockar med OS-kvalitet genom en PLS-kombination av de parametrar som beräknats av 3D- och röntgenmätarmarna (3D + X-ray) samt enbart av 3D-mätarmen (3D). Utfallet förbättrades genom kombinationen av 3D och röntgen, i synnerhet för de grövre dimensionerna.**

Sortering	Indata	Andel utan sortering	Korrekt utvalt	Andel av möjligt	Andel stockar med minst en plank rätt
OS 50x100	3D + X-ray	36%	68%	68%	90%
	3D	36%	65%	68%	89%
OS 50x150	3D + X-ray	41%	67%	76%	90%
	3D	41%	59%	67%	83%
OS 63x200	3D + X-ray	38%	74%	64%	96%
	3D	38%	59%	31%	85%

## Programvara för simulering av röntgenmätram

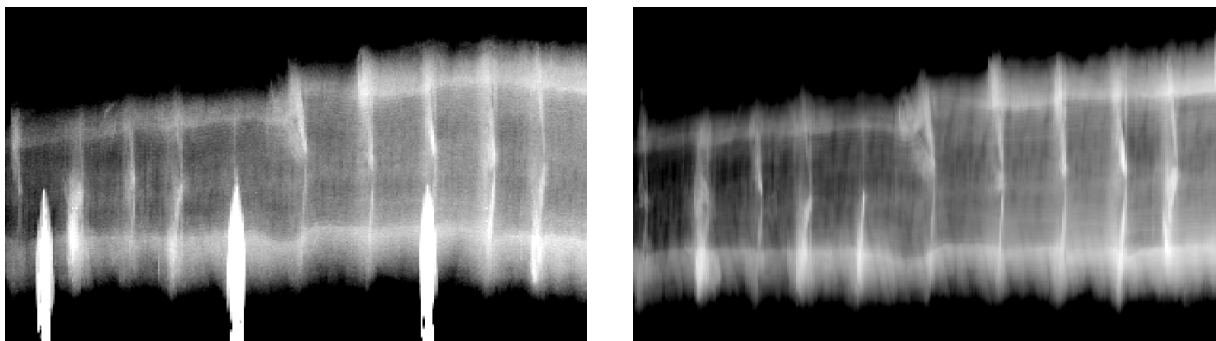
### Bakgrund

För att kunna utveckla algoritmer för analys av röntgenbilder är det nödvändigt att ha tillgång till väldefinierade ingångsdata, så att man har facitvärden att jämföra beräkningsresultaten med. En lämplig datamängd är den svenska stambanken, en samling av över 600 tomograferade furustockar (Grönlund *et al.* 1995). Industriella röntgenbilder saknas dock för dessa stockar. För att kunna nyttja stambanksdata vid utvecklingen av den nuvarande programvaran till röntgenmätramen skrev Grundberg och Grönlund (1995) därför ett program som simulerar industriella röntgenbilder utifrån tomografibilderna i stambanken.

### Resultat

Denna programvara hade blivit föråldrad därför skrevs en ny programvara kapabel att hantera högre upplösning både i tomografibilderna och i de simulerade röntgenbilderna. Den nya simuleringsprogramvaran verifierades genom att en kvistrik toppstock scannades på SCA Munksunds sågverk. Stocken togs därefter till tomografilabbet på LTU där den tomograferades med samma inställningar som hade använts för stambanken. Stocken simulerades sedan i den nya programvaran och simuleringen jämfördes med den industriella inmätningen och överensstämmelsen fanns vara mycket god, se Figur 2. Brusnivån i den industriella mätramen bestämdes genom att jämföra de två bilderna och simuleringsprogramvaran kompletterades med ett lämpligt brus.

Denna programvara har använts som stöd för att utveckla och validera de flesta av de beräkningsalgoritmer som beskrivs i denna rapport. Normalt har simuleringarna därefter kompletterats med tester på verkliga industriella datafiler.

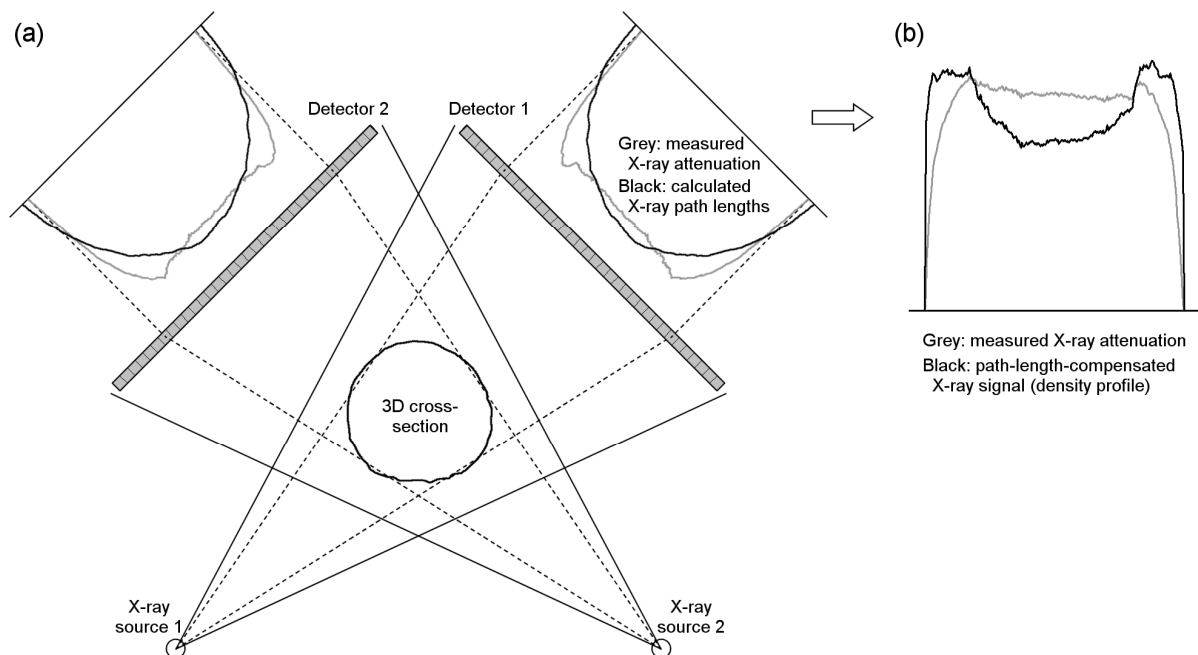


**Figur 2:** En industriellt inmätt furustock (t v) och mätramsdata utan brus simulerat från tomografibilder för samma stock (t h). Förutom medbringarna som syns i den industriella bilden stämmer simulering och industriell mätning väl överens (Skog & Oja 2007).

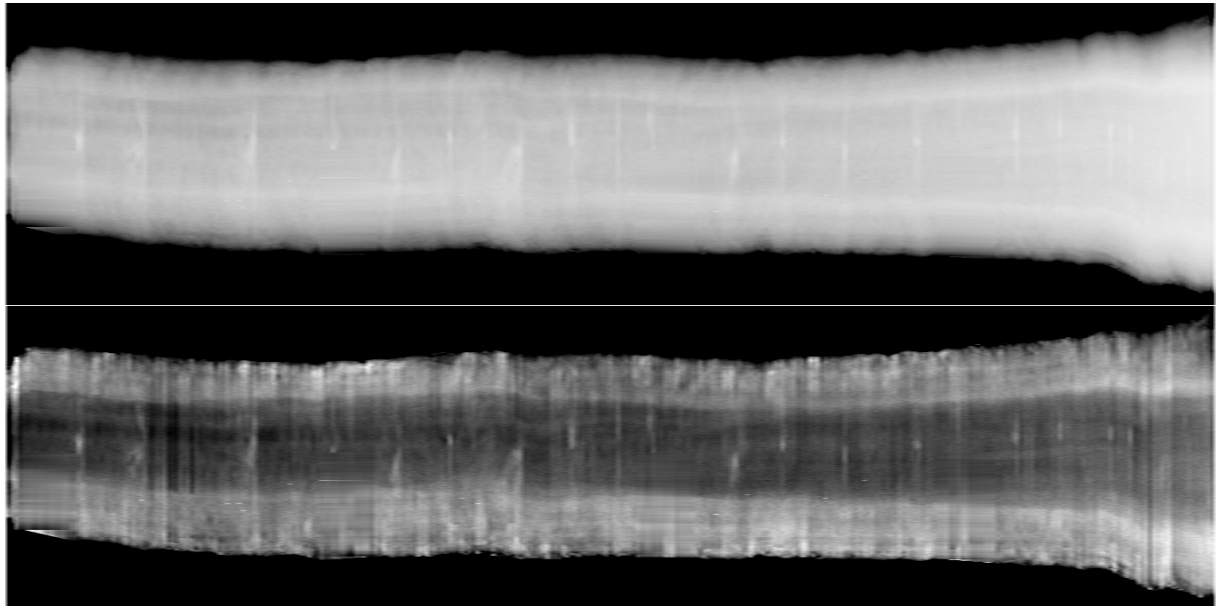
## Algorithm för gångvägskompensation

Hur mycket av röntgenintensiteten som kvarstår sedan en stråle har färdats genom stocken beror dels på densiteten längs med den gångna sträckan och dels på gångvägens längd genom stocken. Genom att mäta stockens yttre form med hjälp av 3D-teknik är det möjligt att kompensera röntgenbilden för gångvägens inverkan och på så sätt mäta densiteten med högre noggrannhet.

För varje tvärsnitt som mäts av röntgenmätamen identifieras det motsvarande 3D-tvärsnittet och placeras i en modell av röntgenmätamen. På så sätt är det möjligt att för detta tvärsnitt beräkna gångvägen genom stocken för de strålar som träffar varje detektorpixel i röntgenmätamen, se Figur 3a. Genom att kombinera den framräknade gångvägen med den av röntgenmätamen uppmätta intensiteten är det möjligt att beräkna medeldensiteten längs strålen, se Figur 3b. Denna beräkning utförs för samtliga pixlar i röntgenbilden och resultatet blir en gångvägskompenserad röntgenbild, vilken beskriver medeldensiteten längs med samtliga strålar som passerat genom stocken, se Figur 4.



**Figur 3: Princip för gångvägskompensering av röntgendata i en tvåriktnings röntgenmätarm med hjälp av yttre form från en 3D-mätarm. (a) Simuleringsmodell av röntgenmätarmen med uppmätt röngenattenuering (grå kurva). Stockformen från en 3D-mätarm placeras i simuleringsmodellen och gångvägen för strålar som träffar varje detektorpixel beräknas (svart kurva). (b) Den beräknade gångvägen kombineras med uppmätt röntgenattenuering (grå kurva) och resultatet blir en medeldensitetsprofil för tvärsnittet (svart kurva) (Skog 2009).**



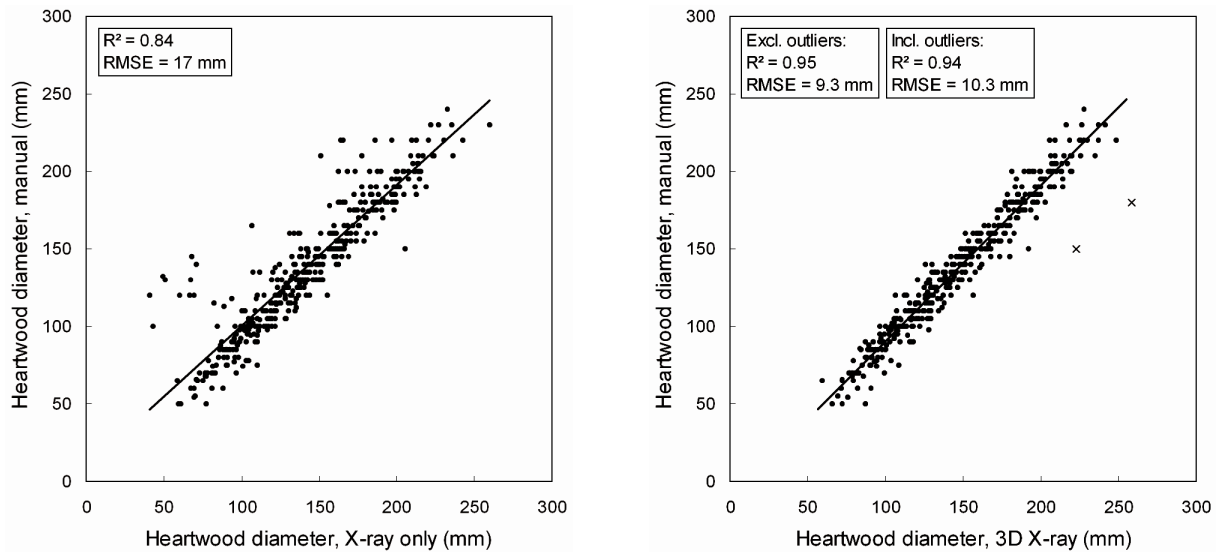
**Figur 4:** Industriell röntgenbild av en furustock (övre) och gångvägskompenserad röntgenbild av samma stock (nedre). Gångvägskompenseringen förbättrar kontrasten mellan kärnved och splintved.

Fördelarna med denna metod är att bland annat att ojämnheter i stocken kompenseras, det är möjligt att avläsa en medeldensitet direkt i bilden, kontrasten mellan kärnved och splintved förbättras och det blir enklare att jämföra stockar av olika storlek. Svårigheten ligger främst i att finna rätt 3D-form för varje röntgentvärsnitt. Osäkerhet i exakt vilket 3D-tvärsnitt som skall väljas samt eventuella mätfel i yttre formen tillför ett visst mått av mätosäkerhet till det gångvägskompenserade röntgendatat. För ytterligare information hänvisas till Johan Skogs licentiatavhandling (Skog 2009).

### Kärnvedsgräns och kärnvedsdiameter

Den första tillämpningen av gångvägskompensation som testades var att nyttja den förbättrade kontrasten mellan kärnved och splintved till att åstadkomma en exaktare beräkning av kärnvedsdiametern. Skog och Oja (2009a) utvecklade en algoritm som beräknade kärnvedsgränsen genom att söka reda på var densiteten ändras snabbast. Metoden användes för att beräkna kärnvedsdiametern i topp för 423 barkade furustockar som mätts in på testinstallationen i Munksund. För samma stockar beräknades kärnvedsdiametern i topp också med den gamla metoden som enbart baseras på röntgenmätning.

De automatiska måtten jämfördes med manuellt mätt kärnvedsdiameter, och det visade sig att kombinationen av 3D och röntgen förbättrade predikterbarheten från  $R^2 = 0,84$  till  $R^2 = 0,94$  och medelfelet från  $RMSE = 17$  mm till  $RMSE = 10,3$  mm (9,3 mm exkl. uteliggare),



**Figur 5: Kärnvadsdiameter i topp för 423 furustocker, manuellt mått vs. prediktion från data inmätt i Munksund (en röntgenmätning). Till vänster prediktion med röntgen och till höger prediktion med gångvägskompenserad röntgen.**

se Figur 5. Den största delen av förbättringen ligger i att den kombinerade 3D och röntgenmetoden även klarar av de stockar där kontrasten är svag mellan kärnved och splintved, exempelvis orsakat av en torr splintved eller en ovanligt hög fukthalt i kärnveden. Denna typ av stockar var de som orsakade stora mätfel när enbart röntgen användes.

Skog och Oja (2009b) konstaterar att precisionen i kärnvadsdiameter kan höjas ytterligare något med två röntgenriktningar istället för en. Den stora förbättringen ligger dock i steget från enbart röntgen till gångvägskompenserad röntgen.

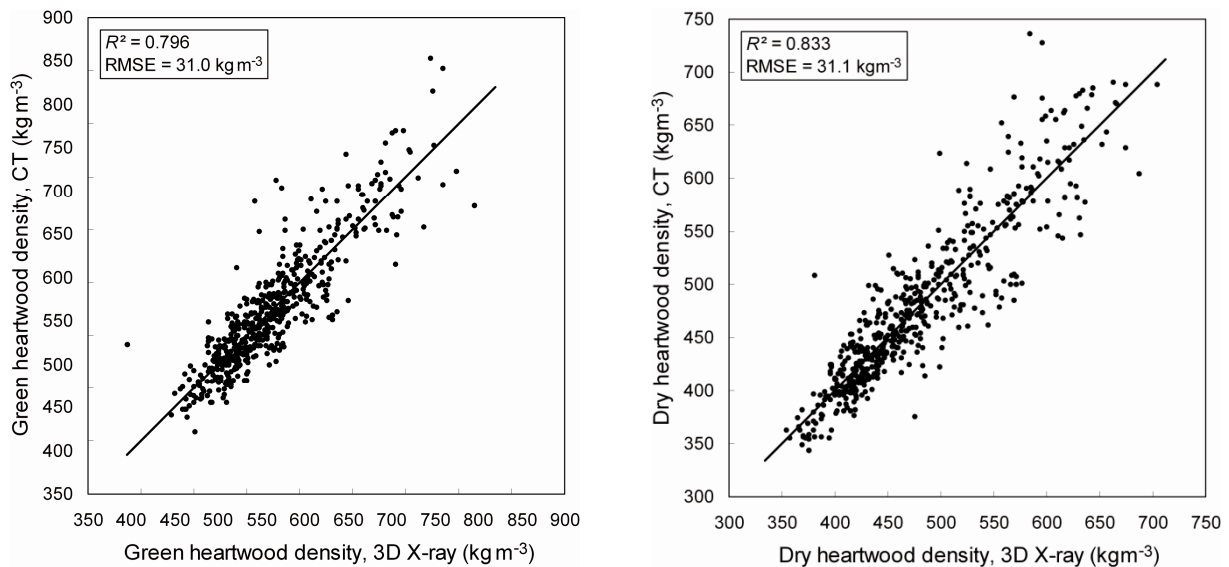
## Kärnvedens rådensitet och torrdensitet

### Bakgrund

Nästa variabel som mättes med hjälp av gångvägskompenserad röntgen var rådensiteten i kärnan. På grund av den låga fuktkvotsvariationen i kärnan kan denna variabel användas som indikator för kärnans torrdensitet. Torrdensiteten är exempelvis viktig för hållfasthets-sortering och för att kunna sortera bort frodvuxna stockar.

### Resultat

Den gångvägskompenserade röntgenbilden (Figur 4) beskriver medeldensiteten längs med varje stråle. Eftersom inga strålar passerar enbart genom kärnved måste denna densitet räknas om. Skog och Oja (2010) utvecklade en algoritm som delar upp de inmätta medeldensitetsvärdena till rådensitet för splintved och kärnved. Genom att anta en fuktkvot på 35% och en volymsvällning på 14,2% för samtliga stockar kunde kärnvedens rådensitet



**Figur 6: Prediktion av kärnvedsdensitet för 553 furustockar. Mätningar i tomografibilder vs. prediktion från simulerat 3D- och röntgendata (två mätriktningar, inklusive konstgjort mätbrus). Till vänster rådensitet och till höger torrdensitet (Skog & Oja 2010).**

användas för att prediktera torrdensiteten. Metoden testades på 3D- och röntgenmätramsdata simulerat från furustambanken. Eftersom tidigare försök utförts på barkade stockar så togs barken bort från stambanksstockarna före simulering. Resultatet i denna studie blev något överraskande att kärnvedens torrdensitet för testmaterialet kunde predikteras med lika hög precision som kärnvedens rådensitet. För rådensiteten blev  $R^2 = 0,80$  och  $RMSE = 31 \text{ kg m}^{-3}$  och för torrdensiteten blev  $R^2 = 0,83$  och  $RMSE = 31 \text{ kg m}^{-3}$ . Detta innebär att antagandet om en medelfuktkvot på 35% för kärnveden fungerade bra för detta testmaterial. Eftersom rotstockar och övriga stockar betedde sig lite olika var det dock nödvändigt att använda en linjärmodell för att justera in slutresultatet för rotstockar och en annan linjärmodell för övriga stockar. Om en gemensam justeringsmodell användes för samtliga stockar blev resultatet för rotstockarna inte lika bra.

I ovan nämnda studie användes två röntgenriktningar. Skog och Oja (2009b) konstaterar dock att rådensiteten kan mätas även med enbart en gångvägskompenserad röntgenriktning, men precisionen är då något lägre,  $R^2 = 0,73$  och  $RMSE = 35 \text{ kg m}^{-3}$ .

## Splintvedens fuktkvot

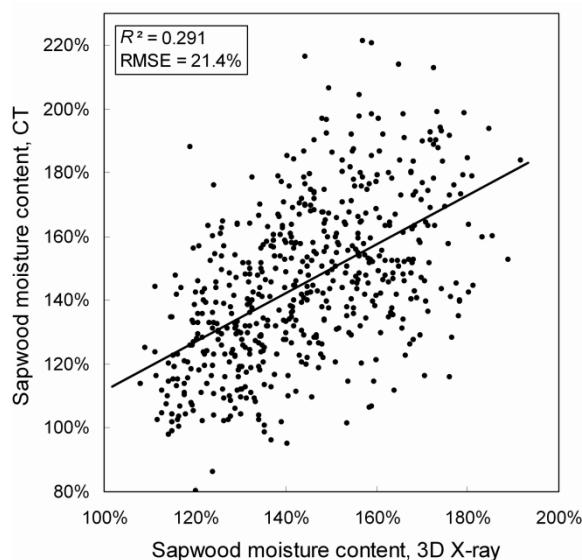
### Bakgrund

Splintvedens fuktkvot är en variabel som är viktig både för torkprocessen och för kvaliteten för slutprodukterna. Hypotesen är att det med gångvägskompenserad röntgen skall vara möjligt att göra åtminstone en grov uppskattning av splintvedens fuktkvot i timmersorteringen och på så sätt kunna identifiera timmer som har förtorkat i skogen.

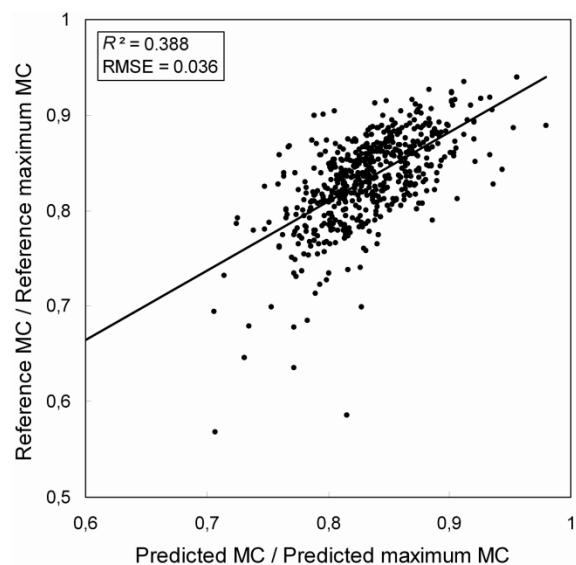


## Resultat

Som nämnt ovan kan de gångvägskompenserade röntgenbildernas medeldensiteter delas upp till rådensitet för kärnved och splintved, och från kärnans rådensitet kan kärnans torrdensitet predikteras (Skog & Oja 2010). I en studie av Skog, Vikberg och Oja (2010) nyttjas kärnans torrdensitet för att göra en grov uppskattning av splintvedens torrdensitet. Två olika linjära samband mellan kärndensitet och splintdensitet togs fram, ett för rotstockar och ett för övriga stockar. Splintvedens mätta rådensitet och uppskattade torrdensitet kombinerades för att erhålla en fuktkvot. Denna fuktkvot jämfördes med referensvärden beräknade från råa och torra tomografibilder. Sambandet blev som förväntat inte särskilt starkt ( $R^2 = 0,29$ ; Figur 7). Genom att jämföra med den densitetsberoende teoretiska maxfuktkvoten för mättat trä var det dock möjligt att identifiera stockar som börjat torka ut, Figur 8. Eftersom mätningarna baserades på stockarna i stambanken och dessa inte torkat särskilt mycket behövs kompletterande tester på stockar med kraftigare uttorkning. Studien tyder dock på att denna typ av mätning skulle kunna användas för att till exempel ge sågverket en varningssignal om att en batch förtorkade stockar har anlänt.



**Figur 7: Splintvedens fuktkvot för 553 furustockar. Mätningar i tomografibilder vs. prediktion från simulerat 3D- och röntgendata (Skog et al. 2010).**



**Figur 8: Splintvedens fuktkvot relativt den teoretiska maxfuktkvoten för mättat trä. Mätningar i tomografibilder vs. prediktion från simulerat 3D- och röntgendata (Skog et al. 2010).**

## Toppbrott

### Bakgrund

Över tiden slätar trädet ut den krokighet som orsakats av toppbrottet och därför kan i synnerhet gamla toppbrott vara svåra att upptäcka innan sågningen. Sågat virke som innehåller toppbrott får sämre hållfasthet och många visuella defekter. Dessutom uppstår ofta problem vid bearbetning på grund av variationerna i fiberriktning. Därför är det bra med en möjlighet att sortera ut sådana stockar före sågning. Inom ramen för det här projektet har två studier om möjligheten att göra en automatisk toppbrottsdetektering utförts. I den första studien undersöktes kvistasymmetrier och i den andra studien undersöktes stockens och kärnvedens krokighet.

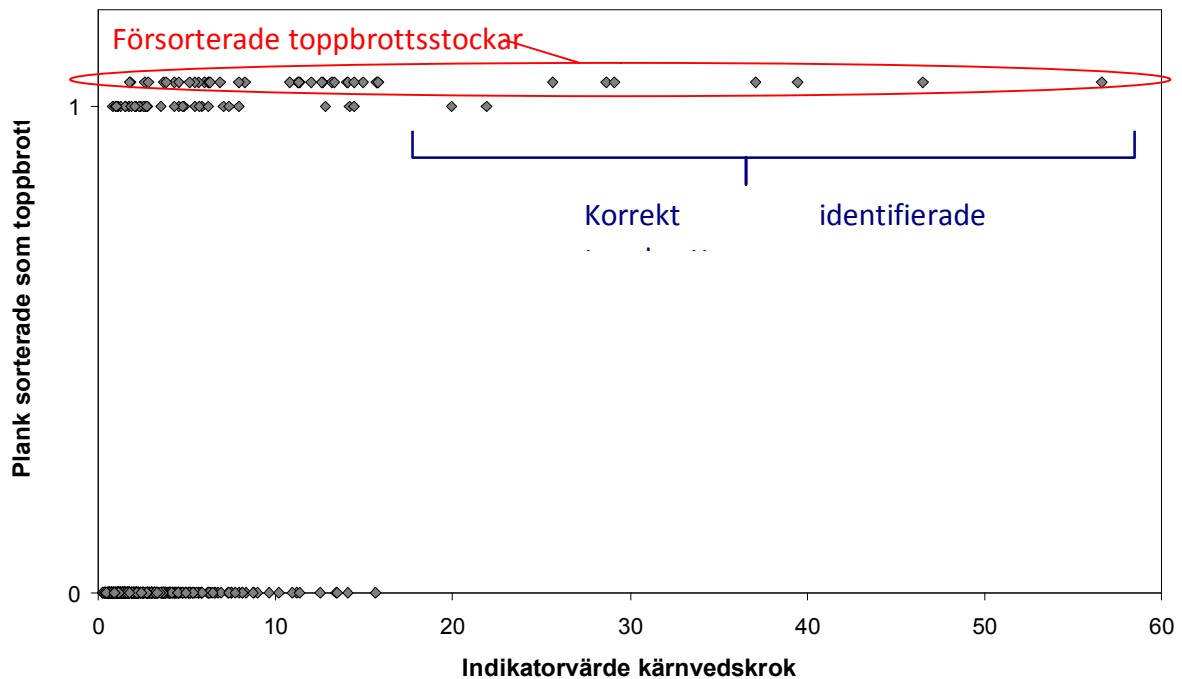
### Resultat – delstudie 1

Syftet med denna delstudie var att undersöka om det i röntgenbilden är möjligt att detektera den toppbrottskvist som drar iväg snett. Detta gjordes genom att undersöka om det fanns någon relation mellan toppbrott och mätbara asymmetrier i kvistvarven. Resultatet var dock att detta inte är en framkomlig väg eftersom toppbrottskvisten ger för svagt utslag i röntgenbilden för att vara mätbar annat än i undantagsfall.

### Resultat – delstudie 2

Det är vanligt att toppbrott som inte syns utanpå stocken framträder tydligt i kärnvedens form. Hypotesen var därför att kärnvedens krokighet skulle kunna användas som toppbrottsindikator.

Under studien av kärnvedsdiameter utvecklades en metod för att bestämma kärnvedens form. Denna kärnvedsform användes som grund för att ta fram en algoritm för att beräkna kärnvedskroken. Först testades algoritmen på stambanksdata och därefter validerades den genom industriella mätningar utförda vid Setras sågverk i Skinnskatteberg. Resultaten jämfördes även med referensmätningar på stockens yttre form. Studien visar att de värsta toppbroten syns på utsidan medan kärnvedsformen fungerar som indikator även för mindre tydliga defekter. Det är inte möjligt att konstruera en algoritm som detekterar alla toppbrott, men den utvecklade metoden visade sig vara kapabel att detektera de värsta toppbroten utan att felaktigt klassificera icke-toppbrottsstockar som toppbrott, se Figur 9. Kärnvedskroken har också potential att användas som en mera generell kvalitetsparameter genom att välja ett annat gränsvärde i sorteringen. Stockar med indikatorvärde över 20 visade sig vara kraftiga toppbrott medan stockar med indikatorvärde mellan 10 och 20 var en blandning av toppbrott och andra defekter, exempelvis tjurved. Indikatorvärde under 10 var huvudsakligen fina stockar, men även en del toppbrott och andra defekter återfinns i denna grupp. Se bilaga 1 för ytterligare detaljer om denna studie.



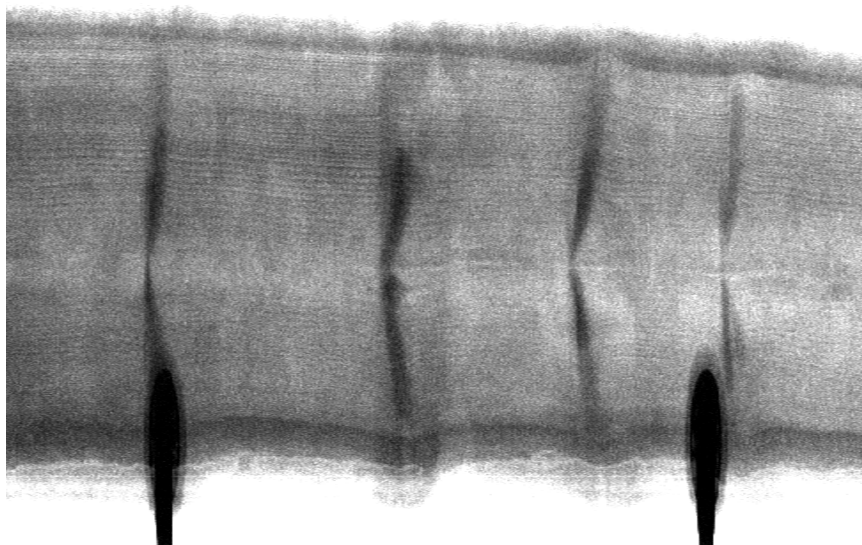
Figur 9: Automatiskt identifiering av toppbrott med hjälp av kärnvedskrok. Stockar med indikatorvärde över 20 är kraftiga toppbrott medan stockar med indikatorvärde mellan 10 och 20 är en blandning av toppbrott och andra defekter. På y-axeln anges manuellt bedömt toppbrottsvärde. Stockar utan toppbrott har värdet 0, stockar där minst en plank ur centrumutbytet sorterats som toppbrott har värdet 1 och toppbrott som upptäcktes redan i timmersorteringen har värdet 1,1.

## Årsringsbredd

### Bakgrund

När den ursprungliga programkoden för röntgenmätramen togs fram var upplösningen för låg för att finstruktur såsom årsringsbredd skulle kunna ses direkt i röntgenbilden. Istället beräknades årsringsbredden med hjälp av en indirekt metod, som använder sig av modellering från andra mer lättberäknade parametrar, exempelvis avståndet mellan kvistvarv (Grundberg & Grönlund, 1998). Denna metod har visat sig fungera ganska väl för beräkning av årsringsbredd och det visade sig vara möjligt att med god precision separera mellan frodvuxna och tätvuxna stockar (Oja *et al.*, 2003). Med hjälp av denna metod var det dock inte möjligt att finna stockar som är både tätvuxna och har ett långt kvistvarvsavstånd, en kombination av egenskaper som kan vara önskvärd till exempel vid fingerskarvning. Om röntgenmätramen i framtiden skall kunna användas som ett stöd vid vederlagsmätning så är det också önskvärdt att utveckla en metod som mäter årsringsbredden direkt i röntgenbilden istället för att nyttja indirekt modellering.

Tack vare de nya högupplösta (1152 pixlar per tvärsnitt) röntgenmätarmarna finns numera helt andra förutsättningar för att kunna mäta årsringsbredden direkt i röntgenbilderna. Målet med detta delprojekt har därför varit att konstruera en algoritm som utgår från de nya högupplösta röntgenbilderna och automatiskt beräknar stockens årsringsbredd. I projektet har ett flertal ansatser gjorts för att lösa detta problem och en rad olika bildbehandlingsmetoder, transformer och filtreringar har utvärderats.



**Figur 10:** Industriell röntgenbild av en furustock. Årsringarna syns som mycket tunna linjer längs med stocken. Målet är att skapa en algoritm som automatiskt detekterar årsringsmönstret och beräknar en genomsnittlig årsringsbredd i stocken.

## Resultat

Arbetet har nu resulterat i en algoritmprototyp skriven i Matlab som med hjälp av en form av minsta-kvadratmetod automatiskt kan beräkna årsringsbredder större än 1,8 mm på ett övertygande sätt. Under 1,3 mm kan inte årsringsbredder beräknas och i intervallet 1,3–1,8 mm klarar algoritmen att beräkna årsringsbredder med varierande resultat beroende på stock. För bättre resultat i det sistnämnda intervallet behöver algoritmen trimmas något. Eftersom årsringarna nära mörgen är starkt krökta blir de första ringarna i princip osynliga i röntgenbilderna, vilket innebär att det är omöjligt att beräkna årsringsbredden närmare än 10–15 mm från mörgen. Utanför detta område fungerar dock algoritmen bra. Algoritmen beräknar årsringsbredden på ett antal ställen i varje tvärsnitt och den årsringsbredd som beräknas i varje position kan sägas motsvara ett medelvärde över en sträcka på 10–15 cm längsmed stocken.

Den metod som algoritmen bygger på verkar vara ett bra angreppssätt och vi har beslutat att gå vidare med att färdigställa algoritmen för industriellt bruk. Prototypen kräver ett par sekunders beräkningstid per stock, vilket är snabbt för att vara i Matlab. När algoritmen är skriven i C++ kommer den att vara så mycket snabbare att den kan användas industriellt. Detta tillsammans med de goda resultaten för beräkning av årsringsbredd gör att denna algoritm har stor potential. Konverteringen till C++ har påbörjats och förhoppningen är att den industriella versionen skall kunna slutföras och verifieras under 2011.

## Barktjocklek

### Bakgrund

En förbättrad underbarkmätning har ett mycket högt industriellt värde för alla sågverk som mäter in timret på bark. Detta beror på att en förbättrad diamettermätning är av värde för samtliga timmerklasser och är lätt att implementera eftersom den inte kräver speciella strategier för vilket timmer som skall styras till vilka produkter.

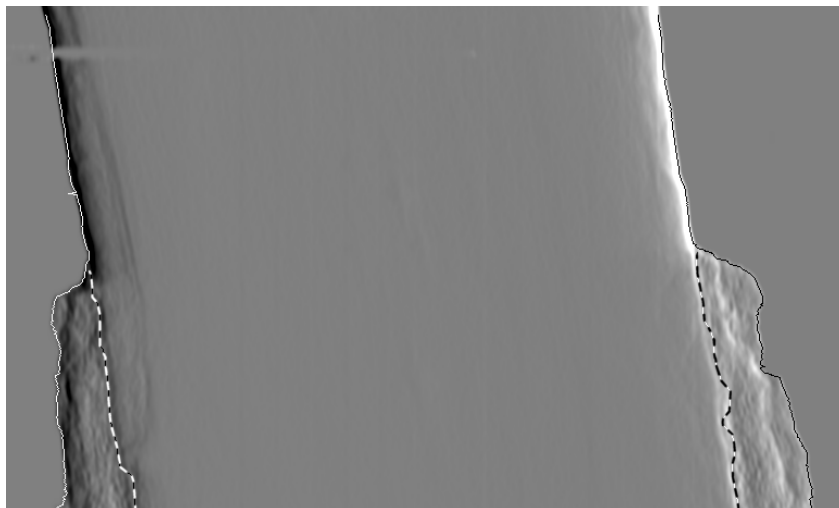
Inom detta projekt har en studie utförts med målet att undersöka hur 3D- och röntgenmätteknik kan kombineras och/eller utvecklas för att åstadkomma en förbättrad underbarkmätning. Bakgrunden är att moderna 3D-mätramar nyttjar trakeideffekten för att avgöra var stocken har bark och inte, medan röntgenmätramen mäter densitet och är kalibrerad för att ignorera den lätta barken. Genom en klok kombination av dessa två mättekniker bör det alltså vara möjligt att ytterligare förbättra diamettermätningen under bark.

### Resultat

Som ett första steg i studien har det undersökts om röntgenmätramens barkmätning förmåga skulle kunna förbättras genom att justera kalibreringen. Röntgenmätramen är sedan tidigare kalibrerad för att ge signalutslag först när strålningen har passerat genom en viss mängd material. Denna nivå är vald för att den lätta barken inte skall ge något utslag, medan den tyngre veden skall ge utslag i röntgensignalen. På så sätt är det enkelt att detektera en ungefärlig gräns mellan ved och bark. Eftersom både mängden bark och fuktigheten hos träet kan variera kraftigt så är dock denna bestämning av vedgränsen behäftad med viss osäkerhet.

Den nya röntgenmätramen har, förutom högre upplösning, också fått en bättre dynamik, vilket innebär att intensiteten hos den uppmätta strålningen numera beskrivs i en skala med 65536 nivåer istället för som tidigare 4096 nivåer. För att få en bra beskrivning av stockens inre behövdes alla 4096 nivåerna för mätning inom träet, men tanken är att delar av den nya förbättrade dynamiken skulle kunna nyttjas till mätning av röntgensignalens avmattning i barkområdet. Detta kan åstadkommas genom att kalibreringen justeras. Hypotesen är att det genom att analysera en sådan mer detaljerad signal ska vara möjligt att göra en exaktare bestämning av gränsen mellan ved och bark.

Under hösten har två omgångar av stockbitar mätts in hos RemaControl i Västerås, och ett antal olika kalibreringsinställningar har testats. Dessa stockbitar har också tomograferats på LTU för att erhålla ett facitvärde på barktjockleken. Dessa inmätningar kommer att kunna användas som grundmaterial för algoritmutveckling framförallt för furu, men även gran. En bildbehandlingsmetod för att studera röntgenavmattningen har tagits fram och en genomgång av materialet visar att det, med visst mått av manuell handpåläggning, är möjligt att detektera bark tjockare än 3 mm. En algoritm som automatiskt mäter diameter under bark utifrån dessa röntgenbilder är påbörjad, men inte färdigställd. Exempel på en stockbit som fungerar bra med denna algoritm visas i Figur 11. En del andra stockbitar ger däremot inte lika bra resultat med den nuvarande algoritmen. Eftersom barkens utseende kan variera väldigt mycket från stock till stock är det en stor utmaning att skapa en algoritm som automatiskt kan hantera alla barktyper. Hantering av barkavskav och eventuell uttorkning som följd är ännu en dimension av problemet. Emellertid finns många idéer som uppkommit under projektets gång och behöver testas, men det är fortfarande oklart huruvida målet att skapa en automatisk algoritm för att mäta diameter under bark kommer att kunna uppfyllas. SP Träteknik har lagt in egen finansiering för att i vinter kunna titta vidare på denna fråga och förhoppningen är att det inom några månader kommer att gå att avgöra om målet är möjligt att nå med det angreppssätt som är valt samt hur mycket tid det kommer att ta.



**Figur 11: Exempelstock där automatisk barkdetektering ger ett bra resultat. Figuren visar derivatan av en röntgenbild insamlad med den nya kalibreringen. Heldragen linje visar ytterkant av stock och streckad linje visar den automatiskt detekterade bark/vedgränsen. Den övre halvan av stocken är barkad.**

## Kvistparametrar

### Bakgrund

Den svenska stambanken består av ett stort antal tomograferade furu- och granstockar. Från tomografibilderna har tredimensionella (3D) stockmodeller tagits fram, som beskriver stockarnas kviststruktur, märgläge, kärnvedsform och ytterform (Grönlund *et al.* 1995). Dessa stockmodeller används tillsammans med sågsimulatorens Saw2010 för att utvärdera hur exempelvis olika inställningar för sortering och sågning inverkar på volyms- och kvalitetsutbyte (Nordmark 2005).

Stambanken består dock bara av omkring 700 stockar av vardera träslaget. Det vore därför värdefullt att kunna skapa ytterligare 3D-stockmodeller utifrån industriellt mätta data från optiska 3D-mätningar och tvåriktnings röntgenmätningar. En sådan modellering skulle också göra det möjligt att utföra sågsimuleringar baserade på verkliga stockar från det aktuella sågverket, vilket skulle förbättra simuleringarnas träffsäkerhet ytterligare. I förlängningen skulle det också vara möjligt att göra denna stockmodellering on-line i timmerinmätningen och kombinera med en enkel sågsimulering, för att få fram bättre information om förväntad kvistklass hos den inmätta stocken.

En preliminär studie gjordes av Grundberg *et al.* (1999), där ett kvistvarv i taget rekonstruerades utifrån röntgenmätningens bilder. Två metoder testades, och den bästa gav samma kvalitet på den "verkliga" brädan och den modellerade brädan i 60 % av fallen vid sågsimulering av 45 stockar. I tre procent av fallen skilde det mer än en kvalitetsklass. I studien av Grundbergs studie visade att denna typ av stockrekonstruktion kan vara mycket användbar, men att det fanns både behov av och potential för att förbättra algoritmerna.

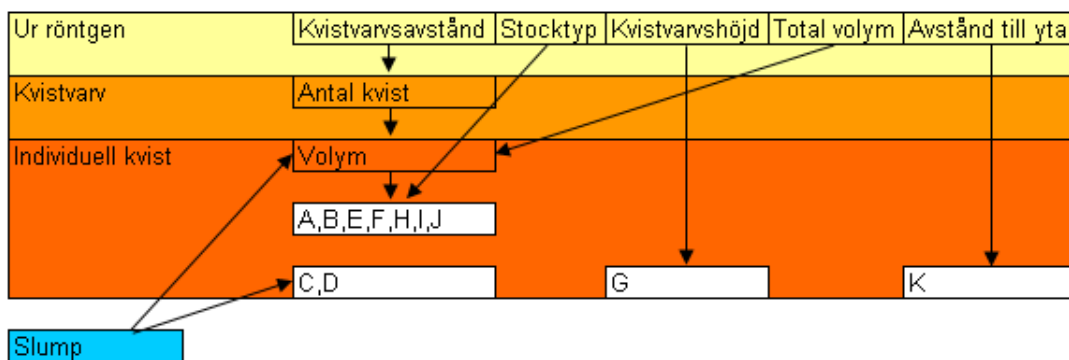
Slutsatsen är att för att kunna rekonstruera stockmodeller som bättre motsvarar de verkliga stockarna bör även kunskaper från skogliga trädmodeller nyttjas. Detta kan röra sig om hur kvistvarven ser ut i förhållande till varandra och hur de relateras till andra mätbara egenskaper hos trädet. För att kunna skapa en sådan modell har en förstudie inklusive litteraturstudie utförts av Magnus Fredriksson på LTU. Målet med studien var att, utifrån data som är möjliga att utläsa ur röntgenbilder, kunna återskapa realistiska kvistdata för stockar, motsvarande de som finns i stambanken idag. Dessa nya kvistar ska ge en representativ bild av kvistpopulationen i stort i stocken.

### Resultat

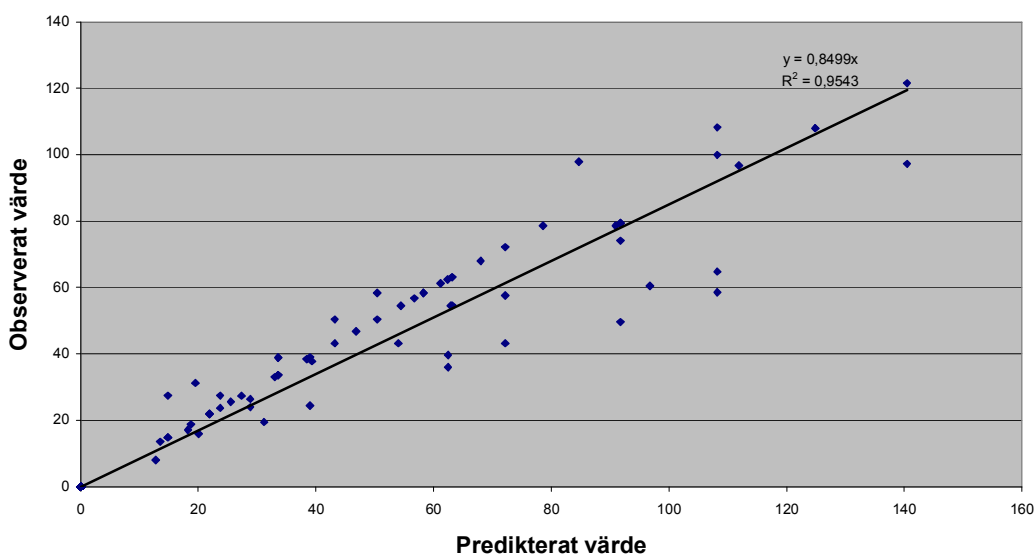
De av röntgenmätningen mätta parametrar som används som ingångsdata i modellen är: stocktyp, kvistvarvets höjd i stocken, avstånd i höjddled till föregående kvistvarv, total kvistvolym i kvistvarvet samt avståndet från märg till mantelyta. Utifrån dessa parametrar har modeller skapats för antal kvistar per kvistvarv, volymen för varje enskild kvist samt för

de elva parametrarna A-K som används för att beskriva de enskilda kvistarna i stockmodellen, se Figur 12.

Slutsatserna från studien är att många av de utvärderade sambanden blev mycket svaga eftersom det ingår en stor mängd slumpmässighet i kviststrukturen. Trots detta var det möjligt att ur den begränsade mängd data som finns tillgängligt återskapa stockar som var representativa gällande värdet hos det virke som blir resultatet av sågsimulering, se Figur 13. Framtida förbättringar av modellen gäller främst kvistens orientering i väderstrecksriktning, där en annan strategi skulle kunna vara att ta fram ett antal typfall och använda dessa istället för nuvarande metod, även för kvistvarv med fler kvistar än fyra. Svartkvistgräns, kvistvinkel och antal kvistar per kvistvarv är tre andra egenskaper, vilkas rekonstruktionsmodeller är svaga och i behov av förbättring. Resultaten av denna förstudie redovisas i sin fullhet i bilaga 2.



Figur 12: Strategi för att rekonstruera kvistar utifrån data möjliga att ta fram ur röntgenbilder.



Figur 13: Värde för sågsimulerat virke från tomograferade stockar plottat mot värde för virke med rekonstruerade kvistvarv. Data avser 396 centrumplankor från furustambanken.



## Gran

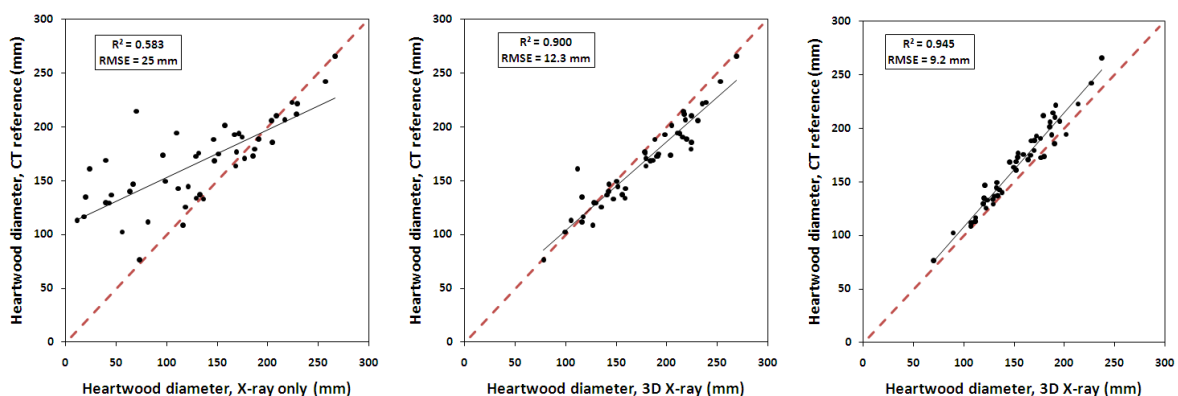
### Bakgrund

I princip samtliga ovan beskrivna egenskaper har utvecklats för mätning på furu, vilket beror på att kvalitetssortering är vanligast för detta trädslag. I synnerhet förbättrade densitetsmätningar skulle dock vara av stor nytta även för gran eftersom en stor del av granvirket hållfasthets-sorteras. En stabil metod för att detektera kärnvedsdiameter i gran skulle också vara av värde för industrin eftersom det även för gran gäller att kärnveden har högre beständighet än splintveden (Sandberg 2009). Att automatiskt analysera röntgenbilder av gran är dock en större utmaning eftersom gränsen mellan kärnved och splintved är mindre distinkt än för furu. Ofta förekommer ett mellanliggande område där fuktkvoten mellanting mellan kärnved och splintved.

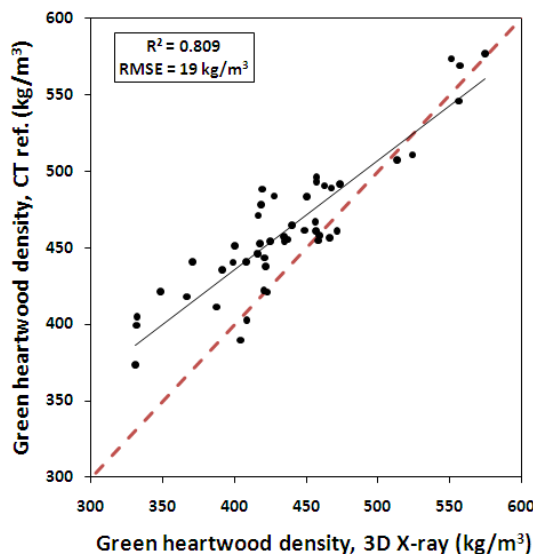
En studie utfördes vars syfte var att utvärdera hur väl de utvecklade metoderna för beräkning av kärnvedens diameter och densitet fungerar på gran och vid behov anpassa algoritmerna för gran. 48 granstockar av varierande diameter scannades vid Martinsons sågverk i Bygdsiljum och en 30 cm lång bit kapades från toppänden i varje stock. Stockbitarna tomograferades därefter i både rått och torrt tillstånd vid LTU i Skellefteå. Från de råa CT-bilderna beräknades referensvärden för kärnvedens diameter och rådensitet.

### Resultat

Tre olika algoritmer för beräkning av kärnvedsdiameter utvärderades, dessa var enbart röntgen, kombinerad röntgen och 3D (furu-algoritmen) samt en modifierad variant av kombinerad röntgen och 3D (gran-algoritmen). Det visade sig att beräkning av



**Figur 14:** Kärnvedsdiameter i topp för 48 granstockar, referensmått från tomografibilder vs. prediktion från data inmätt vid Martinsons Bygdsiljum. Till vänster: prediktion med enbart röntgen. Mitten: prediktion med gångvägskompenserad röntgen (algoritm anpassad för furu). Till höger: prediktion med gångvägskompenserad röntgen (algoritm anpassad för gran).



**Figur 15:** Rå kärnvedsdensitet i toppändan av 48 granstockar, referensmätt från tomografibilder vs. prediktion från data inmätt vid Martinsons Bygdsiljum. Vid prediktionen användes gångvägskompenserad röntgen och en algoritm anpassad för gran.

kärnvedsdiameter med enbart röntgen gav riktigt usla resultat för de testade stockarna,  $R^2 = 0,58$  och  $RMSE = 25 \text{ mm}$  (Figur 14). Med kombinerad 3D och röntgen (furalgoritmen) blev resultaten väldigt mycket bättre,  $R^2 = 0,90$  och  $RMSE = 12,3 \text{ mm}$  (Figur 14). Detta var dock fortfarande inte i klass med vad som tidigare erhöles för furu (Figur 5) och därför gjordes en del modifieringar i kärnvedsdetektionen för att passa bättre till gran. Med den nya algoritmen erhöles resultat som var likvärdiga tidigare tester på furu,  $R^2 = 0,95$  och  $RMSE = 9,2 \text{ mm}$  (Figur 14).

Den för gran modifierade algoritmen användes också för att beräkna kärnvedens rådensitet, Figur 15. Den erhållna precisionen,  $R^2 = 0,81$  och  $RMSE = 19 \text{ kgm}^{-3}$ , är något bättre än vad som erhöles vid motsvarande försök på furu (Figur 6). Detta beror troligen på att densiteten varierar mer i rotändan, och i furustudien predikterades densitet i rotände men i granstudien predikterades densitet i toppände. Studien på furu gjordes på simulerade barkade stockar, medan denna studie på gran gjordes på industriella mätningar på obarkat timmer. Detta visar att metoden är robust nog för att även klara mätning under industriella förutsättningar.

Organisation: TräCentrum Norr	Författare: Johan Skog <i>et al.</i>	Utgåva: 2
Dokumenttyp: Rapport	Filnamn: TCN 3DX slutrapport 20101119.doc	Datum 2010-11-19
		Sida: 27 (56)

## Industriell programkod

Eftersom den experimentella delen av algoritmutvecklingen har utförts i Matlab måste programkoden konverteras till C++ för att kunna infogas i Remas system. Detta arbete har varit mer omfattande än vad som från början förväntades och är därför ännu inte helt slutfört. Två versioner av programvaran har konverterats till C++. Den första versionen är en testversion för gångvägskompensation och beräkning av kärnvedsdiameter, anpassad för enriktningsmätarmen i Munksund. Den andra versionen är anpassad både för en- och tvåriktningsmätarmar och inkluderar beräkning av kärnvedsdiameter och olika densitetsmått.

## Status enriktningskoden

Programvaran konverterades från Matlab till C++ och sändes till Rema i slutet av år 2008. Det visade sig dock att programvaran inte var fullt kompatibel det realtidssystem som Rema använder för sina röntgenmätarmar. Därför skrevs delar av koden om och sändes till Rema, som nu kunde infoga programkoden i sin röntgenmätarm. På grund av denna försening kunde programvaran inte börja testas online i Munksund förrän under slutet av 2009.

Vid online-tester på Munksund noterades att kommunikationen mellan MPM:s 3D-system och Remas röntgensystem var alltför långsam. Genom att justera hur mätsystemet tog emot data lyckades Rema höja hastigheten på kommunikationen så mycket att programvaran kunde köras online i fullt inmätningstempo. Denna programversion testkördes under våren 2010 och verkade inledningsvis fungera bra. Tyvärr visade det sig ha smugit sig in någon slags bugg i denna nya version av röntgenprogramvaran. Denna visar sig först efter mellan 6 och 12 timmars körning och orsakar att röntgenmätsystemets två datorer tappar bort varandra. Eftersom problemet är mycket sällsynt och inte går att återskapa har det varit mycket svårt att felsöka problemet och felkällan har inte kunnat identifieras. Troligen har det något med den höga kommunikationsbelastningen att göra, eller beror på något sällsynt beräkningsfel i den nya programkoden. Eftersom felet inte var enkelt att identifiera, och den aktuella koden endast var en första testversion för Munksunds mätarm, valde vi att inte lägga mer projektresurser på detta. Istället har tiden lagts ner på att slutföra nästa version av programvaran, den som stöder både en- och tvåriktningsramar och förhoppningen är att felet inte skall kvarstå i den nya versionen av programvaran.

## Status tvåriktningskoden

Parallellt med online-testerna i Munksund började nästa version av C++-programvaran att utvecklas. Denna stöder både en- och tvåriktningsmätarmar och inkluderar beräkning av kärnvedsdiameter i furu samt rådensitet för kärnved och splintved. Denna programversion innehåller betydligt mer komplicerade beräkningar och visade sig vid testkörning på en kontorsdator vara omkring 100 gånger långsammare än enriktningskoden. Ett intensivt arbete har därefter utförts för att effektivisera och förenkla programkoden utan att förändra

Organisation: TräCentrum Norr	Författare: Johan Skog <i>et al.</i>	Utgåva: 2
Dokumenttyp: Rapport	Filnamn: TCN 3DX slutrapport 20101119.doc	Datum 2010-11-19
		Sida: 28 (56)

beräkningsresultaten nämnvärt. Resultatet blev en programvara som är tillräckligt snabb för industriellt bruk och som beräknar kärnvedsdiametern och densitetsmått med lika hög precision som de ursprungliga Matlab-algoritmerna (dvs de resultat som redovisas i denna rapport).

Under arbetet med den nya programvaran upptäcktes också en del problem i den gamla koden som åtgärdades och den nya versionen bör därför vara mer stabil än den tidigare testade enriktningskoden. Förhoppningen är därför att det problem som observerades i Munksund automatiskt skall lösas genom användning av den nya programversionen.

Den nya versionen skickades till Rema i oktober 2010 och arbetet pågår för närvarande med att integrera den i Remas röntgenprogramvara. Denna programvara kommer att testköras vid Munksund och ytterligare några installationer under 2011. Om inga ytterligare komplikationer tillstöter skall det alltså snart finnas en programvara tillgänglig som fungerar med alla Remas röntgenmätarmar och ger bättre uppskattning av kärnvedsdiameter och kärnvedsdensitet genom att kombinera 3D- och röntgenmätteknik under online-körning.

### Industriversion övriga utvecklade algoritmer

Nu finns en grundprogramvara i C++ vilket underlättar konvertering av ytterligare programkod. Närmast på tur för konvertering till industriell kod är toppbrottskoden och modifieringarna för gran. Övriga parametrar som beskrivits i denna rapport behöver ytterligare arbete och verifieringar innan industriell drift blir aktuellt.

### Vetenskapliga publikationer

Projektet har kombinerats med forskarstudier för Johan Skog, inom ramen för det av Vinnova och industrin finansierade forskningsprogrammet SkeWood. Det har därför varit möjligt att publicera resultat från projektet i ett antal vetenskapliga artiklar och en licentiatavhandling. Följande vetenskapliga publikationer har anknytning till projektet:

- I. Skog, J. & Oja, J. (2007). Improved log sorting combining X-ray and 3D scanning – A preliminary study. In: Grzeskiewicz, M. (Ed.), *Proceedings of the Conference on Quality Control for Wood and Wood Products* (pp. 133–140), October 15–17, 2007, Warsaw, Poland. Faculty of Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences.
- II. Skog, J. & Oja, J. (2009). Heartwood diameter measurements in *Pinus sylvestris* sawlogs combining X-ray and three-dimensional scanning. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 24:2, 182–188.
- III. Skog, J. (2009). *Combining X-ray and 3D scanning of logs* (26 p.). Licentiate thesis. Luleå University of Technology.

Organisation: TräCentrum Norr	Författare: Johan Skog <i>et al.</i>	Utgåva: 2
Dokumenttyp: Rapport	Filnamn: TCN 3DX slutrapport 20101119.doc	Datum: 2010-11-19
		Sida: 29 (56)

- IV. Skog, J. & Oja, J. (2009). Combining X-ray and three-dimensional scanning of sawlogs – Comparison between one and two X-ray directions. In: *ISPA 2009 – Proceedings of the 6th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis* (pp. 353–358), September 16–18, 2009, Salzburg, Austria.
- V. Skog, J. & Oja, J. (2010). Density measurements in *Pinus sylvestris* sawlogs combining X-ray and three-dimensional scanning. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 25:5, 470–481.
- VI. Skog, J., Vikberg, T. & Oja, J. (2010). Sapwood moisture content measurements in Scots Pine sawlogs combining X-ray and 3D scanning. In: *Proceedings of the 11th IUFRO Wood Drying Conference: Recent Advances in the Field of Wood Drying* (pp. 357–362), January 18–22, 2010, Skellefteå, Sweden. Division of Wood Physics, Skellefteå, Luleå University of Technology.
- VII. Skog, J., Vikberg, T. & Oja, J. (2010). Sapwood moisture-content measurements in *Pinus sylvestris* sawlogs combining X-ray and three-dimensional scanning. *Wood Material Science and Engineering*, 5:2, 91–96.

Dessutom har resultat från projektet presenterats vid ytterligare två internationella konferenser, *Forest-based sector Technology Platform (FTP) Conference 2009* i Stockholm och *Forest Products Society's 64th International Convention* i Madison, Wisconsin. Vid dessa konferenser publicerades dock inga skriftliga artiklar.

## SLUTSATSER

Genom att kombinera parametrar från 3D och röntgensystemen i en PLS-modell är det möjligt att redan på stocknivå sortera på kvistkvalitet (O/S, V, friskkvist) med en noggrannhet som är jämförbar med automatsortering av sågat virke med en FinScan-utrustning. För klen timmer ger 3D-mätamen rätt god information om stockarnas kvistegenskaper, men ju grövre timmer som mäts, desto mer tillför röntgenmätamen.

Gångvägskompensering av röntgendata med hjälp av yttre form-data från en 3D-mättram har visat sig vara en bra metod för att förbättra precisionen i ett flertal kvalitetssorteringsparametrar. Resultaten visar att för ett sågverk som redan använder sig av både 3D- och röntgenscanning finns en stor förbättringspotential med befintlig utrustning. För sågverk som funderar på att införskaffa en röntgenmättram förhöjs investeringens värde av möjligheten att ansluta till befintlig 3D-mättram. Den förbättrade sorteringsprecisionen gör återbetalningstiden kortare och bör uppmuntra fler sågverk att investera i en röntgenmättram.

Metoden fungerar både med röntgenmätramar med både en och två mätriktningar. Kärnvedsdiametern kan beräknas med liknande precision för båda mättramstyperna medan kärnvedsdensiteten förbättras klart genom användning av två röntgenmättriktningar. En enriktningmättram kan alltså vara ett kostnadseffektivt alternativ för ett sågverk som endast är intresserat av sortering baserat på kärnvedsdiameter.

Delar av algoritmutvecklingen har utförts på simulerade data, men försök med industriella mätdata, från en- och tvåriktningmätramar och inmätta både på och under bark, visar att algoritmerna bör fungera även industriellt. Fortfarande återstår dock att visa att den tekniska lösningen med sammankoppling av 3D- och röntgenmätramar verkligen fungerar tillförlitligt. Den programvara som behövs för detta är dock i princip färdig och storskalig industriell utvärdering bör kunna utföras under 2011.

Kärnvedsdiameter och densitet i furu är färdigkonverterat till industriell kod. Granalgoritmer, toppbrotsdetektion och splintfuktkvot är i princip redo för konvertering till industriell kod. För årsringsbredd, barktjocklek och kvistparametrar behövs ytterligare arbete för att avgöra om en industriell tillämpning är möjlig.

Storskaliga industriella verifieringar och en hel del konverteringsarbete återstår alltså fortfarande. Fokus för kommande arbete inom området bör därför ligga på att tillvarata samtliga resultat från detta projekt.

## REFERENSER

- Anon. (2000). *Improved spruce timber utilisation (STUD)*. European shared cost research project within FAIR (DGXII/E2), contract no. FAIR-CT96-1915. <http://www.biomatnet.org/secure/Fair/S728.htm>
- Grundberg S., Grönlund A., (1995). The development of a LogScanner for Scots pine. In Lindgren, O. (ed.). *Proceedings from the 2nd international seminar/workshop on scanning technology and image processing on wood*. Luleå University of Technology, Technical Report 1995:22 T, pp. 39-50.
- Grundberg S., & Grönlund A. (1998). Feature Extraction with the Aid of an X-ray Log Scanner. In: *Proceedings of the 3rd International Seminar/Workshop on Scanning Technology and Image Processing on Wood*, Skellefteå, Sweden, August 17-19, 1998. Technical report 1998:27, Luleå University of Technology.
- Grundberg S., Grönlund A., Oja J., & Israelsson M. (1999). Log models reconstructed from X-ray LogScanner signals. In: *Proceedings from the third workshop on "Connections between Silviculture and Wood Quality through Modelling Approaches and Simulation Softwares"*. La Londe-Les-Maures, France, September 5-12, 1999.
- Grönlund A., Björklund L., Grundberg S., & Berggren G. (1995). *Manual för furustambank*. Teknisk rapport 1995:19 T. Tekniska högskolan i Luleå.
- Nordmark U. (2005). *Value Recovery and Production Control in the Forestry-Wood Chain using Simulation Technique*. Doctoral thesis. Luleå University of Technology.
- Oja J., Fredriksson J, Grundberg S, & Berg P. (2003). Automatic Grading of Sawlogs – Industrial Experiences from X-ray Scanning and Optical 3D Scanning. In: *Proceedings of the Fifth International Conference on Image Processing and Scanning of Wood*, Bad Waltersdorf, Austria, March 23–26, 2003.
- Oja J., Grundberg S., Fredriksson J. & Berg P., (2004). Automatic Grading of Sawlogs: A Comparison Between X-ray Scanning, Optical Three-dimensional Scanning and Combinations of Both Methods. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19, 89–95.
- Sandberg, K. (2009). *Norway Spruce Heartwood – Properties related to outdoor use* (50 p.). Doctoral thesis. Luleå University of Technology.
- Skog, J. (2009). *Combining X-ray and 3D scanning of logs* (26 p.). Licentiate thesis. Luleå University of Technology.

Organisation: TräCentrum Norr	Författare: Johan Skog <i>et al.</i>	Utgåva: 2
Dokumenttyp: Rapport	Filnamn: TCN 3DX slutrapport 20101119.doc	Datum: 2010-11-19
		Sida: 32 (56)

- Skog, J. & Oja, J. (2007). Improved log sorting combining X-ray and 3D scanning – A preliminary study. In: Grzeskiewicz, M. (Ed.), *Proceedings of the Conference on Quality Control for Wood and Wood Products* (pp. 133–140), October 15–17, 2007, Warsaw, Poland. Faculty of Wood Technology, Warsaw University of Life Sciences.
- Skog, J. & Oja, J. (2009a). Heartwood diameter measurements in *Pinus sylvestris* sawlogs combining X-ray and three-dimensional scanning. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 24:2, 182–188.
- Skog, J. & Oja, J. (2009b). Combining X-ray and three-dimensional scanning of sawlogs – Comparison between one and two X-ray directions. In: *ISPA 2009 – Proceedings of the 6th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis* (pp. 353–358), September 16–18, 2009, Salzburg, Austria.
- Skog, J. & Oja, J. (2010). Density measurements in *Pinus sylvestris* sawlogs combining X-ray and three-dimensional scanning. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 25:5, 470–481.
- Skog, J., Vikberg, T. & Oja, J. (2010). Sapwood moisture-content measurements in *Pinus sylvestris* sawlogs combining X-ray and three-dimensional scanning. *Wood Material Science and Engineering*, 5:2, 91–96.



## BILAGA 1: DETEKTION AV TOPPBROTT I SÅGTIMMER FRÅN RÖNTGENBILDER

Nils Lundgren, Johan Skog, Johan Oja

2010-10-26

### SAMMANFATTNING

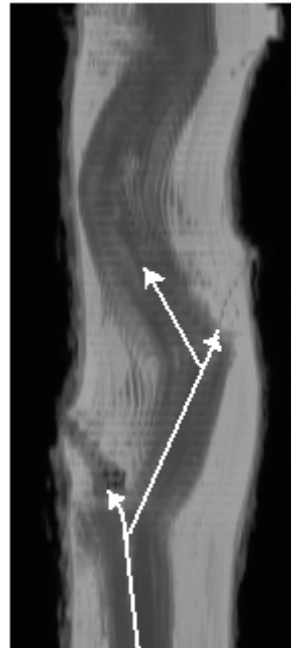
Sågat virke som innehåller toppbrott får sämre hållfasthet och många visuella defekter. Dessutom uppstår ofta problem vid bearbetning på grund av variationerna i fiberriktning. Därför är det bra med en möjlighet att sortera ut sådana stockar före sågning. Gamla toppbrott kan vara svåra att upptäcka på utsidan av stocken men fortfarande framträda tydligt i kärnvedens form. I den här studien har möjligheten att göra en automatisk detektering av toppbrott genom att mäta stockens form och kärnvedens form undersökts. Algoritmen har utvecklats med hjälp av simulerat 3D och röntgendata som tagits fram ur den Svenska Furustambanken. Därefter har algoritmen validerats genom industriella mätningar. Resultaten visar att de värsta toppbrodden syns på utsidan medan kärnvedsformen fungerar bra som indikator på att det även finns mindre tydliga defekter. Genom att väga samman toppbrotsindikation med andra parametrar är det möjligt att göra en helhetsbedömning av stockens kvalitet före sågning.

### INLEDNING

Toppbrott som uppstår i ett växande träd, till exempel pga snölast eller älgskador, ger försämrad tillväxt eftersom en gren måste utvecklas till att bilda en ny topp. Detta skapar även en fiberstörning som försämrar utseende och hållfasthet hos det sågade virket. När det bara är årsskottet som brutits blir defekten oftast liten men när stammen brutits längre ner eller när två grenar konkurrerar om att bilda ny topp kan försämringen av kvalitet bli stor. Brotsstället kommer att indikeras av en krökning på stammen som blir mindre tydlig allteftersom trädet växer och ny ved bildas. En synlig krok kapas bort redan vid apteringen i skogen men när kroken inte syns på utsidan kan det ändå finnas defekter dolda i stammen som orsakats av gamla brott. Kärnvedens form är då en bättre indikator vilket visas i figur 1 och 2.



**Figur 1. Foto av planka med toppbrott**



**Figur 2. Tvärsnitt ur tredimensionell röntgenbild som visar kärnvedens form i en stock med överväxt toppbrott.**

## MÄTNINGAR OCH FÖRSÖK

Data från 530 stockar med toppdiameter mellan 137 och 350 mm ur den Svenska Furustambanken användes för att simulera data från en 3D-scanner och från en tvåriktnings röntgenscanner. Ur det simulerade datat har stockens yttre form och kärnvedens form tagits fram och använts för att uppskatta sannolikheten för att stocken ska innehålla ett toppbrott. Den sannolikheten har sedan jämförts med noteringar om toppbrott som gjordes vid den manuella bedömningen av centrumutbytet. Eftersom det bara är den värsta defekten som noterats vid sorteringen kan man anta att det saknas notering på några toppbrottsstockar.



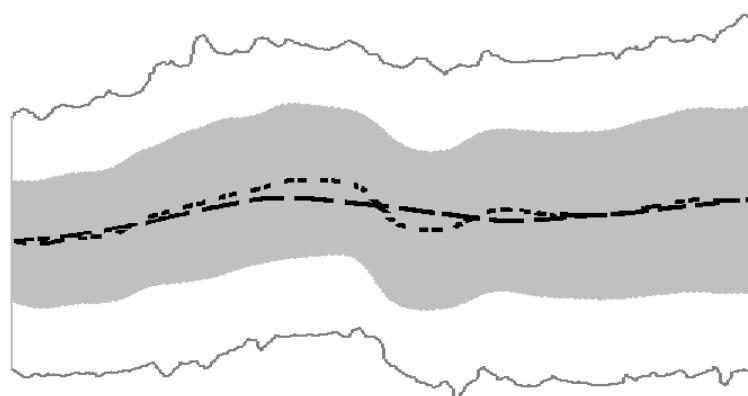
**Figur 3. Exempel på stockar som valdes för att den yttre formen tyder på toppbrott.**

Resultaten har validerats genom att 565 furustockar med toppdiameter mellan 160 och 300 mm scannats i en tvåriktnings röntgenscanner och i en 3D scanner vid Setras såg i Skinnskatteberg. 45 av stockarna hade valts för att deras yttre form tydde på att de innehöll toppbrott (Figur 3) medan de övriga 520 stockarna togs från sågens normala produktion. Efter scanningen sågades stockarna och centrumutbytet sorterades manuellt med avseende på toppbrott.

För att ta fram ett mått för stockens yttre form och kärnvedens form är har följande algoritm använts:

1. Bestäm stockens yttre gräns och kärnvedsgräns
2. Ta fram linjer för stockcentrum och för kärnvedscentrum.
3. Applicera ett långt medelvärdesbildande filter på stockcentrum.
4. Kärnvedsform = skillnad mellan linjen för kärnvedscentrum och den filtrerade linjen för stockcentrum.
5. Stockform = skillnad mellan filtrerad och ofiltrerad linje för stockcentrum.

I figur 4 visas ett exempel där centrumlinjer för kärnvedsform och filtrerat stockcentrum är markerade. Korrelationen mellan karakteristisk form för ett toppbrott och den beräknade kärnveds-/stockformen har sedan beräknats och använts som mått på sannolikhet för toppbrott.



— — — — Stockcentrum (Filtrerat)

-----

**Figur 4. Centrumlinjer. Sannolikheten för toppbrott beräknas genom att matcha formen mot den form som är karakteristisk för toppbrott.**

## RESULTAT

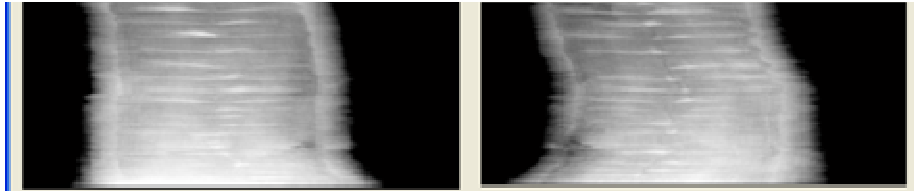
### *Resultat från Furustambanken*

Genom att göra en klassindelning utifrån krökning av kärnveden med de 50% som gav lägst indikation i klass 1, följande 45% i klass 2, fyra procent i klass tre och värsta 5 stockarna (1%) i klass fyra får man resultatet i tabell 1. De tydligaste toppbrotten hamnar i klass fyra. Dessutom kommer klass tre och fyra att innehålla andra defekter. Man får dock även en viss andel toppbrott i Klass 1 (4% av stockarna) och Klass 2 (13% av stockarna).

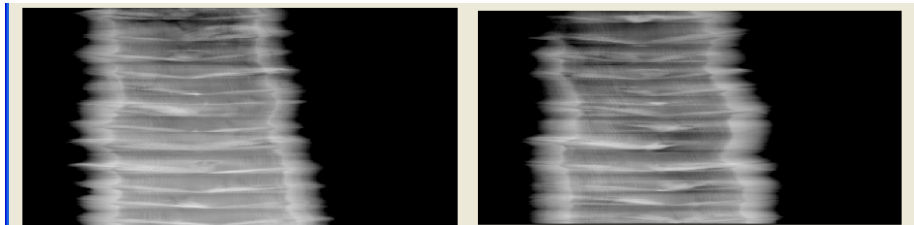
**Tabell 1. Klassning av stockar i Furustambanken baserat på kärnvedens krökning jämfört med antal sorterade toppbrott vid manuell sortering av centrumutbyte.**

	Totalt antal	Sorterade toppbrott antal		Medelvärde toppdiameter [mm]	Andel rotstockar [%]
		Stockar	Plank		
<b>Klass 1</b>	268	11 (4%)	14	224	28
<b>Klass 2</b>	243	31 (13%)	37	208	26
<b>Klass 3</b>	22	6 (27%)	6	202	18
<b>Klass 4</b>	5	4 (80%)	6	198	0
<b>Totalt</b>	538	52 (10%)	63	216	27

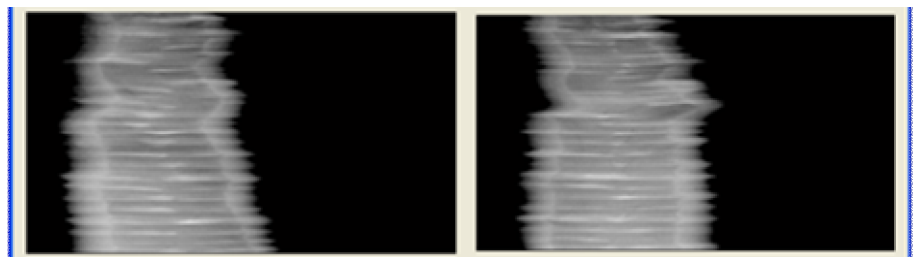
Figur 5 – 8 visar de simulerade logscannerfilerna för fyra olika stockar från Furustambanken med varierande grad av krökning. Toppbrott i centrumutbytet är korrelerat mot stockens form men även mot diameter.



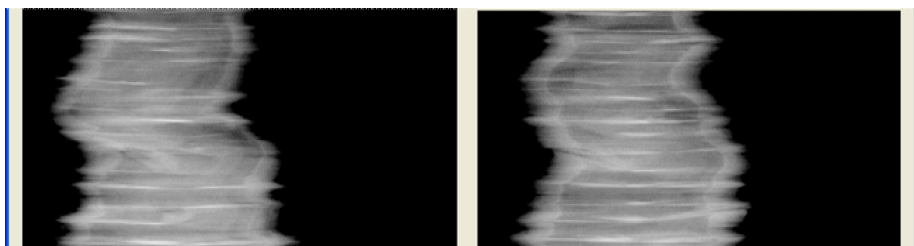
**Figur 5. Exempel från Klass 1. Stock nr 2061, Manuell sortering i Kvalitet A/C, Inga toppbrott i centrumutbytet.**



**Figur 6. Exempel från Klass 2. Stock nr 2363, Manuell sortering i Kvalitet B/B, toppbrott.**



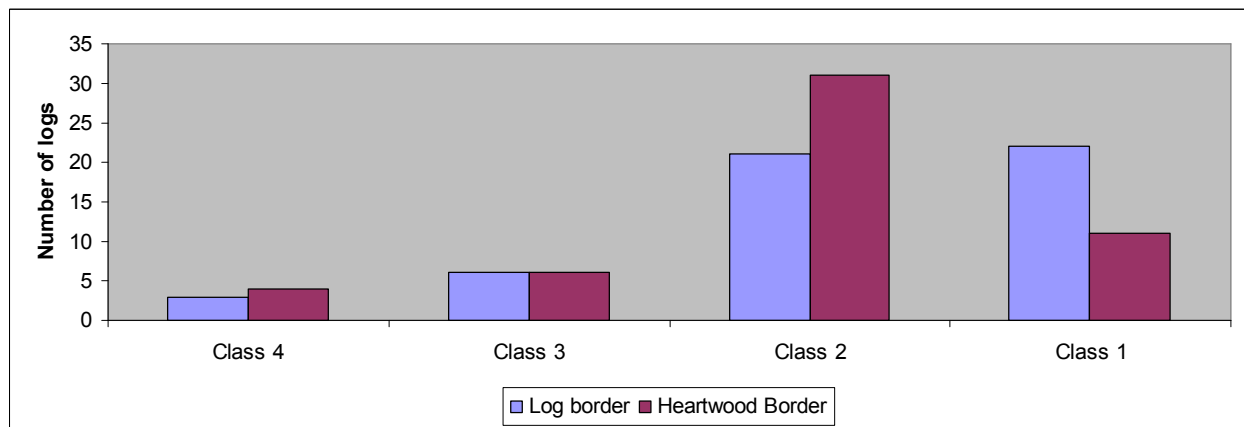
**Figur 7. Exempel från Klass 3. Stock nr 3333, Manuell sortering i Kvalitet D/D.**



**Figur 8. Exempel från Klass 4. Stock nr 324, Manuell sortering i Kvalitet C/C, Tre plankor med toppbrott i centrumutbytet.**

### *Prediktion enbart från Yttre form*

För att få en uppfattning om ifall det räcker med att titta på stockens yttre form eller om detektionen av toppbrott blir bättre när kärnvedsformen används som indikator gjordes motsvarande klassindelning även baserat på yttre form. Figur 9 visar hur många stockar med toppbrott som hamnar i respektive klass när stockens yttre form används som indikator (vänster stapel) jämfört med när kärnvedsformen används som indikator (höger stapel). De värsta toppbrotten kan predikteras även från stockens yttre form men fler stockar med toppbrott hamnar då i den bästa klassen (Klass 1).

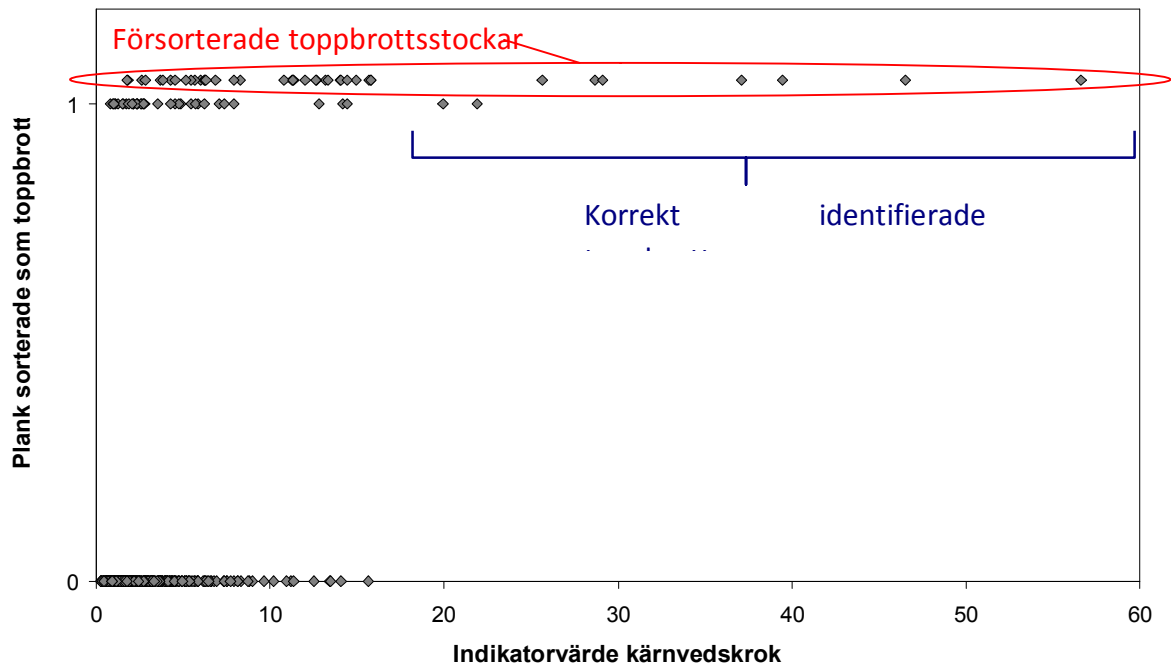


**Figur 9. En jämförelse av klassificering baserad på kärnvedsform (höger stapel) och klassificering baserad på stockens yttre form (vänster stapel).**

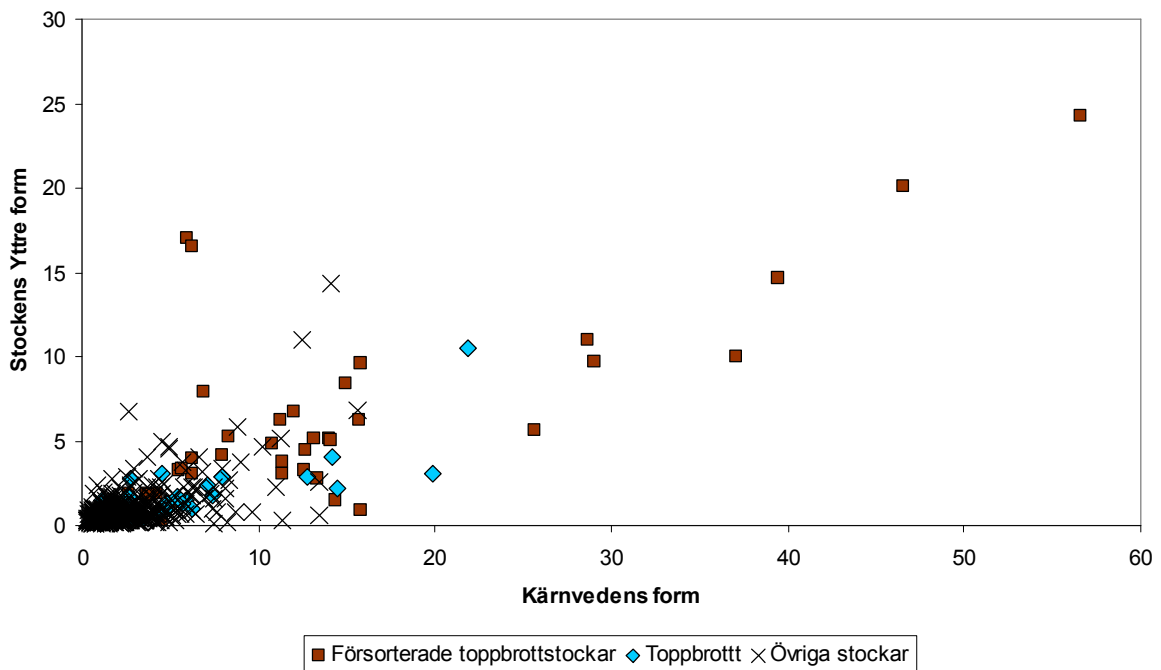
I Figur 9 har information från både 3D och röntgen använts för att ta fram stockens yttre form. Ett försök gjordes även med att enbart använda stockform från 3D-scannern. Då blev indikationen på toppbrott lägre vilket förmodligen beror på att den karakteristiska form som användes för toppbrott behöver justeras för att matcha data från 3D-scannern.

### *Validering – Resultat från provsågning*

Figur 10 visar förhållandet mellan manuell sortering av centrumutbytet och indikatorvärde baserat på kärnvedskrok. Genom att välja ett värde på cirka 18 som brytpunkt kommer de nio värsta stockarna att klassificeras korrekt som toppbrottsstockar.



Figur 10. Stockar utan toppbrott har värdet 0 medan stockar där minst en plank ur centrumutbytet sorterats som toppbrott har värdet 1 (1,1 för försorterade toppbrottsstockar).



Figur 11. Korrelation av kärnvedens form mot stockens yttre form (baserat både på 3D och röntgen) för industriellt uppmätt data.

I figur 11 ser man att de flesta av stockarna som sorterades ut som tydliga toppbrottsstockar före scanning gav tydliga indikationer både när prediktionen gjordes utifrån yttre form och när den gjordes utifrån kärnvedsformen. När bara den ena av metoderna ger höga värden beror det ofta på att andra defekter än toppbrott har påverkat formen. Kärnvedens form ger till exempel indikation på skador som barkdrag och lyra på raka stockar. Sådana skador är synliga på utsidan men påverkar inte alltid stockens form.

## SLUTSATSER

För att hitta de värsta toppbrotten räcker det med att titta på stockens yttre form men genom att även använda kärnvedsformen som indikator är det möjligt att upptäcka mindre tydliga brott och även andra defekter.

Indikation på toppbrott som baserar sig på både stockens form och kärnvedsform kan användas tillsammans med andra parametrar för att bedöma stockens kvalitet före sågning.



## BILAGA 2: KVISTMODELLERING FRÅN 3D- OCH RÖNTGENMÄTNING AV SÅGTIMMER

Magnus Fredriksson

2010-11-04

### INLEDNING

Denna studie utgår från ett behov att förmera den svenska furustambanken, genom att använda industriella data från tvåriktningsröntgen av stockar. Till detta behövs en modell för att kunna konstruera parametriserade kvistar utifrån de data som är tillgängliga från ovan nämnda röntgendata. Kvistarna ska byggas upp på motsvarande sätt som gjorts tidigare genom datortomografering, för att möjliggöra sågsimulering.

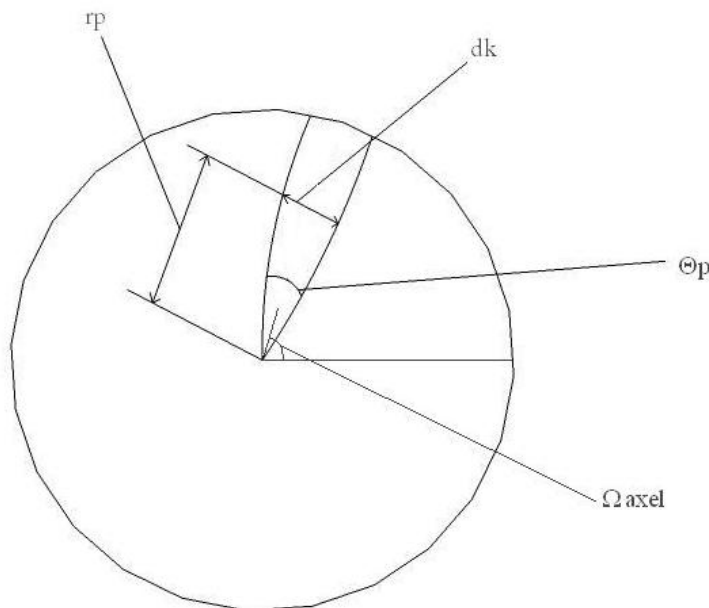
En liknande studie har gjorts av Grundberg *et al.* (1999), där en rekonstruktion av kvistar baserad på röntgendata och egenskaps- och erfarenhetsmässiga metoder har provats. Två metoder testades, och den bästa gav samma kvalitet på den "verkliga" brädan och den modellerade brädan i 60 % av fallen vid sågsimulering av 45 stockar. I tre procent av fallen skilde det mer än en kvalitetsklass.

Vid en rekonstruktion av kvistparametrarna kan man tänka sig att utgå från statistiska modeller för att förutse kvistvarvets utseende utifrån ett antal mätbara parametrar. Befintliga trädmodeller, exempelvis de beskrivna i Björklund & Moberg (1999), Moberg (2006), Mäkelä, Vanninen & Ikonen (1997), Mäkinen & Colin (1998), Petersson (1998) och Pietilä (1989) tar hänsyn till både trädparametrar och beståndsparametrar. Det är ovanligt med studier av kvistegenskaper som enbart baseras på trädegenskaper. Dock visar Moberg (2006) på positiva samband mellan antal kvistar per kvistvarv och avstånd till föregående kvistvarv, kvistlängd och diameter, samt kvistvinkel och diameter. I den studien ingår även andra parametrar som inte är knutna till trädet, så att använda dessa modeller rakt av är inte möjligt.

Målet med studien är att, utifrån data som är möjliga att utläsa ur röntgenbilder, kunna skapa kvistdata för stockar, motsvarande de som finns i stambanken idag. Dessa nya kvistar ska ge en representativ bild av kvistpopulationen i stort i stocken.

## MATERIAL OCH METODER

Studien baseras på den svenska furustambanken (Grönlund et al. 1995), som är en databas bestående av 198 tallar. Träden kommer från 33 noggrant beskrivna försöksområden från olika geografiska områden i Sverige. De har dokumenterats noggrant gällande trädegenskaper, tidigare skötsel och geografisk tillhörighet. Vidare har stockarna tomograferats, och inre egenskaper såsom kvistar, kärnvedsgräns och märg har dokumenterats i parameterform. Varje kvist beskrivs av elva parametrar A-K, som ger kvistens geometri enligt figur 1.



Figur 1. Kvists uppbyggnad i tvärsnittsplanet i stambanken

$$\Theta_p = A + B \cdot r_p^{1/4}$$

$\Theta_p$  = Kvistvinkel i radiell led i radianer

$r_p$  = radiellt avstånd från mærg i pixel längs kvistaxeln

$$d_k = \left\{ A + B \cdot r_p^{1/4} \right\} \cdot r_p \cdot skala$$

$d_k$  = kvistdiameter i mm

skala = tomografförstoring/256

$$\Omega_{axel} = C + D \cdot \ln(r_p)$$

$\Omega_{axel}$  = vinkelläge i grader

Parametrarna E och F motsvarar parametrarna A och B, men för den longitudinella diametern hos kvist.

$$Z = G + H\sqrt{r_p}$$

Z = Kvistaxelns läge i höjdlid i cm, från stockens grovände

I = Avstånd från märg till kvist Slut i mm

J = Avstånd från märg till svartkvistgräns i mm

K = Avstånd från märg till den punkt där kvistaxeln träffar mantelytan hos stocken, i mm

### *Definitioner och val av ingångsdata*

I följande beskrivningar menas med "kvists höjd" höjd vid märg eller G:

Alla kvistar i varje stock i stambanken går igenom, och kvistvarv skapas. Ett kvistvarv definieras enligt följande:

- Om en kvists höjd ligger inom 8 cm från kvistvarvets höjd läggs kvisten till kvistvarvet
- Kvistvarvets höjd uppdateras så att detta hela tiden är ett genomsnitt av alla ingående kvistars höjd
- Om en kvist inte kan läggas till ett kvistvarv bildar denna kvist ett nytt kvistvarv med höjd = kvistens höjd

Björklund (1997) undersökte kvistarna och kvistvarven i stambanken, och använde en definition av kvistvarv som troligtvis liknar den ovan. I hans beräkningar är endast 31 bestånd med, till skillnad från de som redovisas här, där 33 bestånd ingår. Fördelningen för antal kvistvarv med ett visst antal kvistar uppvisar ändå stora likheter, tabell 1. Notera att det alltså är färre kvistvarv totalt i Björklunds undersökning.

**Tabell 1. Jämförelse mellan denna kvistvarvsdefinition och en tidigare redovisad, antal kvistvarv med ett visst antal kvistar**

Antal kvistar	Enl. denna def.	Enl. Björklunds def.
2	572	518
3	1415	1303
4	2150	1933
5	2564	2339
6	1345	1238
7	706	681
8	391	384
9	95	95
10	49	52
11	13	14
12	9	11
13	3	3
14	5	4
S:a	9317	8575

Följande parametrar används som ingångsdata till modellen. Dessa är sådana, att man kan utläsa dem ur industriella röntgendata (om än med viss bearbetning):

- Total kvistvolym för kvistvarv
- Stocktyp
- Avstånd (i höjdlid) till föregående kvistvarv
- Avstånd från märg till mantelyta
- Kvistvarvets höjd i stock

Dessa egenskaper hämtas från stambankens tomograferade stockar. Stocktyp och avstånd till mantelyta är givna. Avstånd till föregående kvistvarv beräknas med hjälp av kvistvarvshöjderna. Om kvistvarvet är det första i trädet sätts kvistvarvsavståndet till kvistvarvets höjd.

Total kvistvolym/kvistvarv beräknas som summan av alla ingående kvistars volym, som i sin tur beräknas med hjälp av funktionen för kvistdiameter (kvisten antas ha ett cirkulärt tvärsnitt då parametrarna E och F ovan är inmätta med lägre precision än A och B):

$$V = \int_0^L \pi \cdot r^2 dl, \text{ d.v.s.}$$

$$V = \frac{\pi}{4} \int_0^{1/skala} ((A + B(r_p)^{1/4}) \cdot skala)^2 dr_p$$

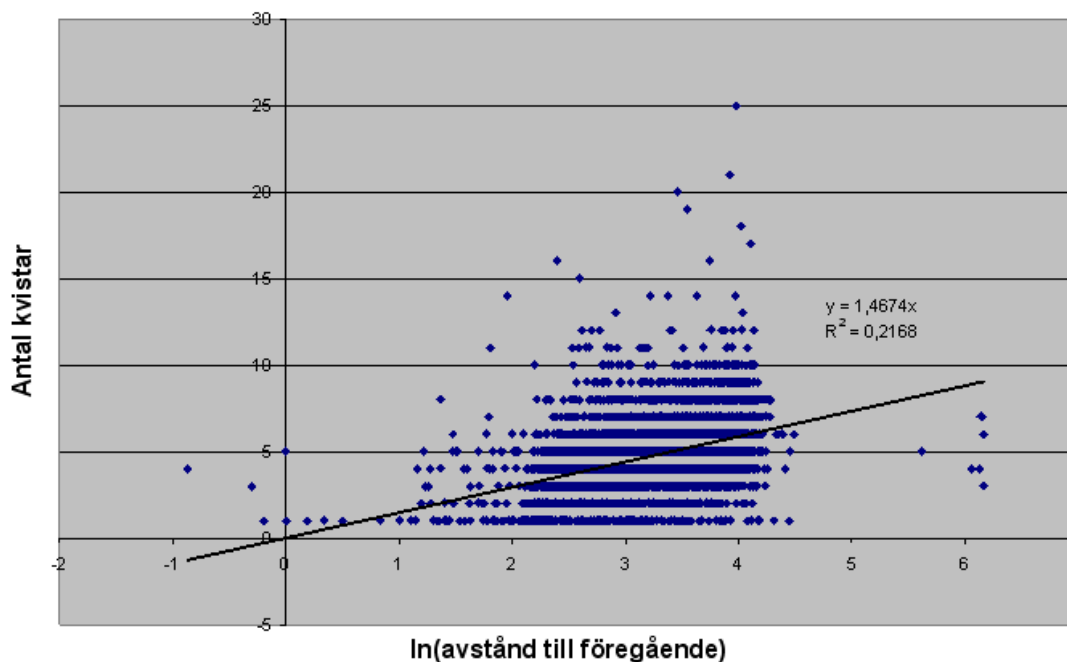
V = Kvistvolym

Utgående från ovan nämnda egenskaper, har en modell för att rekonstruera kvistarna i stambankens stockar utarbetats. Modellen bygger på vissa delar kontrollerad slump, vissa delar direkta samband, och vissa delar en kombination av de båda.

## RESULTAT OCH DISKUSSION

### *Kvistar per kvistvarv*

Moberg (2006) beskriver ett positivt samband mellan kvistvarvsavstånd och antal kvistar per kvistvarv. Denna modell tar även hänsyn till ståndortsindex, något som är ogenomförbart i detta fall då endast industriella data finns tillgängliga. Därför har i denna studie endast den förstnämnda egenskapen beaktats. Regressionsanalys tillämpas för att utröna sambandet mellan antalet kvistar per kvistvarv och avstånd till föregående kvistvarv. Resultatet visas i figur 2.

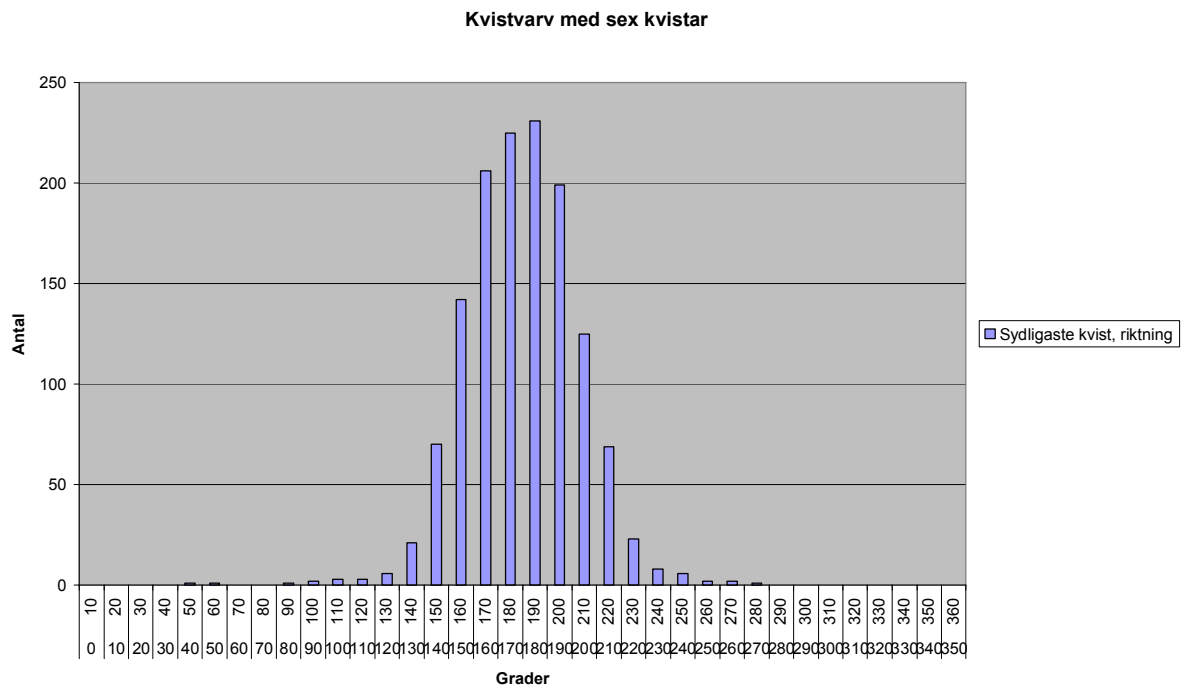


Figur 2. Samband mellan kvistvarvsavstånd och antal kvistar i kvistvarv

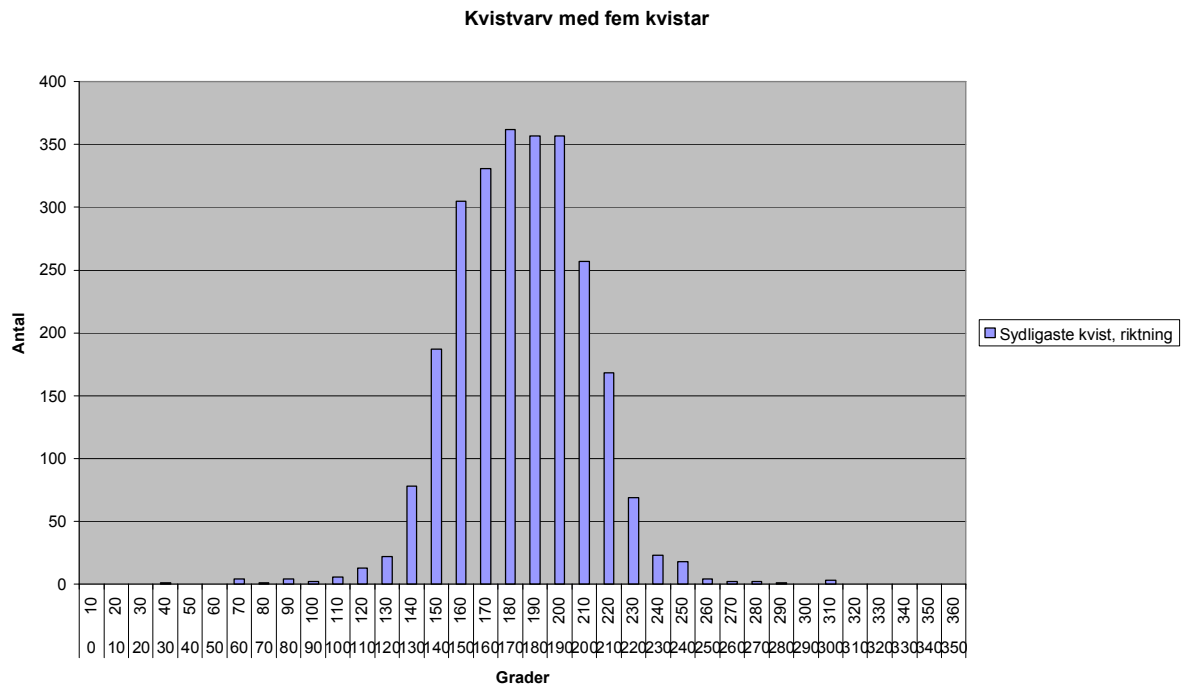
Alltså beräknas antalet kvistar som  $K_f = 1,4674 \cdot \ln(d)$ , och avrundas. Blir resultatet mindre än 1 ändras detta till just 1 ( $K_f$  = antal kvistar,  $d$  = kvistvarvsavstånd). Sambandet är inte särskilt starkt men det predikterade kvistantalet skiljer sig mot det verkliga med mindre än en kvist i 75 % av fallen.

### Orientering av kvist

Beroende på antal kvistar i kvistvarvet, ser kvistarnas spridning i tvärsnittplanet olika ut. Den sydligaste kvistens läge redovisas för två kvistantal i figur 3 och figur 4. Nästa kvist, det vill säga den näst sydligaste, har en vinkel till sydkvisten som följer ett liknande mönster, men ett medelvärde på ca  $360/K_f$  för kvistvarv med fler än fyra kvistar. Samma sak gäller för den tredje sydligaste kvistens vinkel till den näst sydligaste, etc. För kvistvarv med mer än fyra kvistar kan man generalisera det till att sydligaste kvistens riktning är i genomsnitt  $180^\circ$  med en standardavvikelse på 26, medan övriga kvistar läggs ut med i genomsnitt  $\frac{360}{K_f}$  grader mellan ( $K_f =$  kvistantal), standardavvikelse 28. Kvistens orientering eller parametern C slumpas alltså ut, normalfördelat och beroende på antal kvistar i kvistvarvet. I grunden gäller samma princip för kvistvarv med två kvistar. Där sätts en kvist ut slumpmässigt, och den andra kvistens orientering bygger på ett normalfördelat samband för vinkeln mellan kvistarna.



**Figur 3. Riktning i grader hos sydligaste kvist i kvistvarv med sex kvistar, uppdelat i tiogradersintervall**

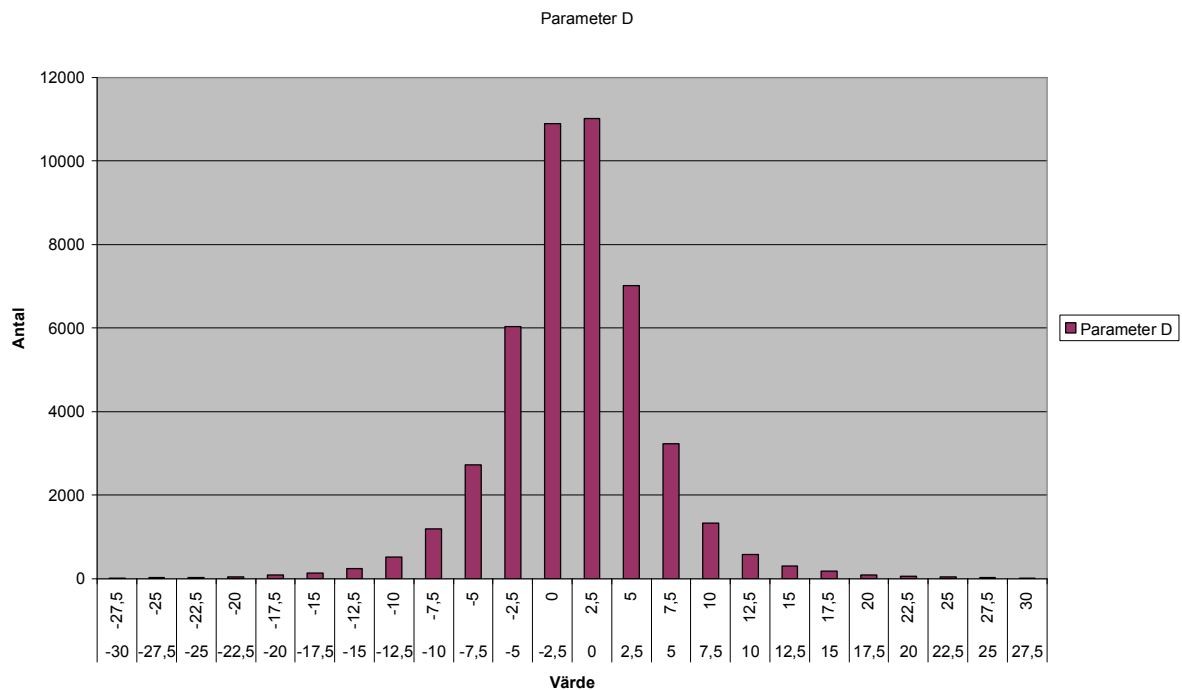


**Figur 4. Riktning i grader hos sydligaste kvist i kvistvarv med fem kvistar, uppdelat i tiogradersintervall**

För kvistvarv med tre eller fyra kvistar har ett mindre antal typfall tagits fram, med vissa dominerande utseenden i tvärsnittsplanet. De vanligaste av dessa mönster är de med ett symmetriskt utseende. Ett total typfall täcker in ungefär 80-85 % av kvistvarvspopulationen. Dessa kvistvarv tilldelas en slumpmässig ”typ” och kvistarna fördelas därefter.

### Vridning

Kvistens vridning i tvärsnittsplanet, parameter D, följer en relativt normalfördelad kurva, figur 5. Inga större skillnader kan ses i detta fall mellan kvistar i öster- respektive västerläge, eller något storleksberoende. Kvistparametern D väljs därför ut med hjälp av en slumpfunktion.

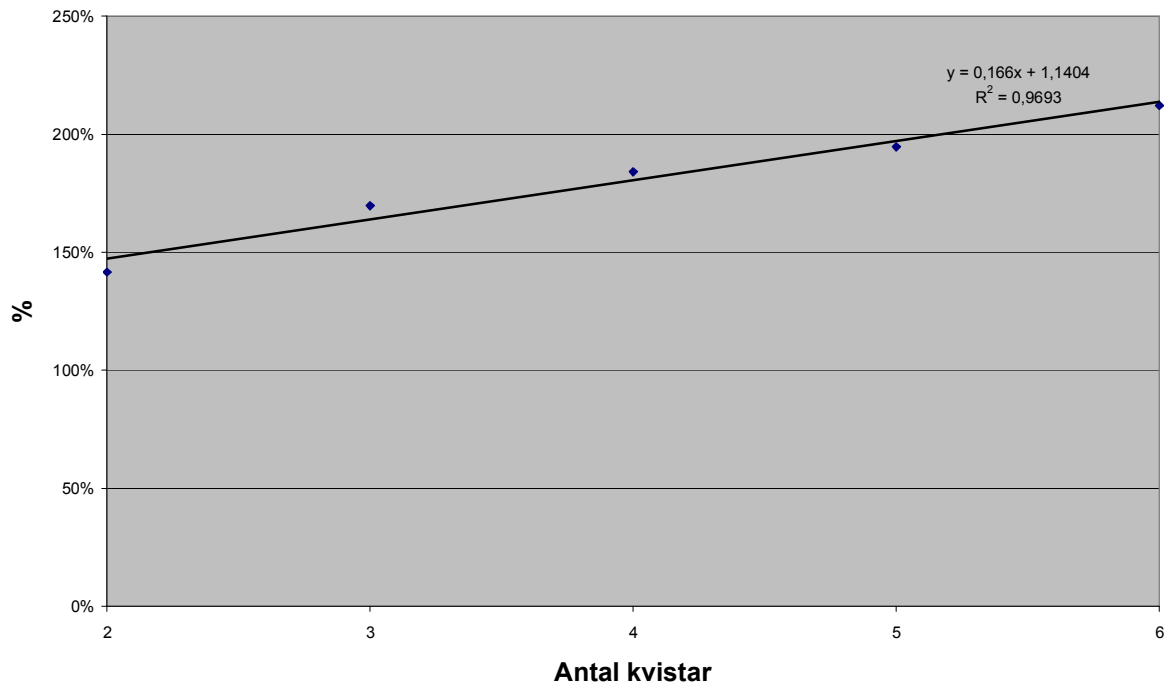


Figur 5. Värde för parametern D uppdelat i intervall om 2,5

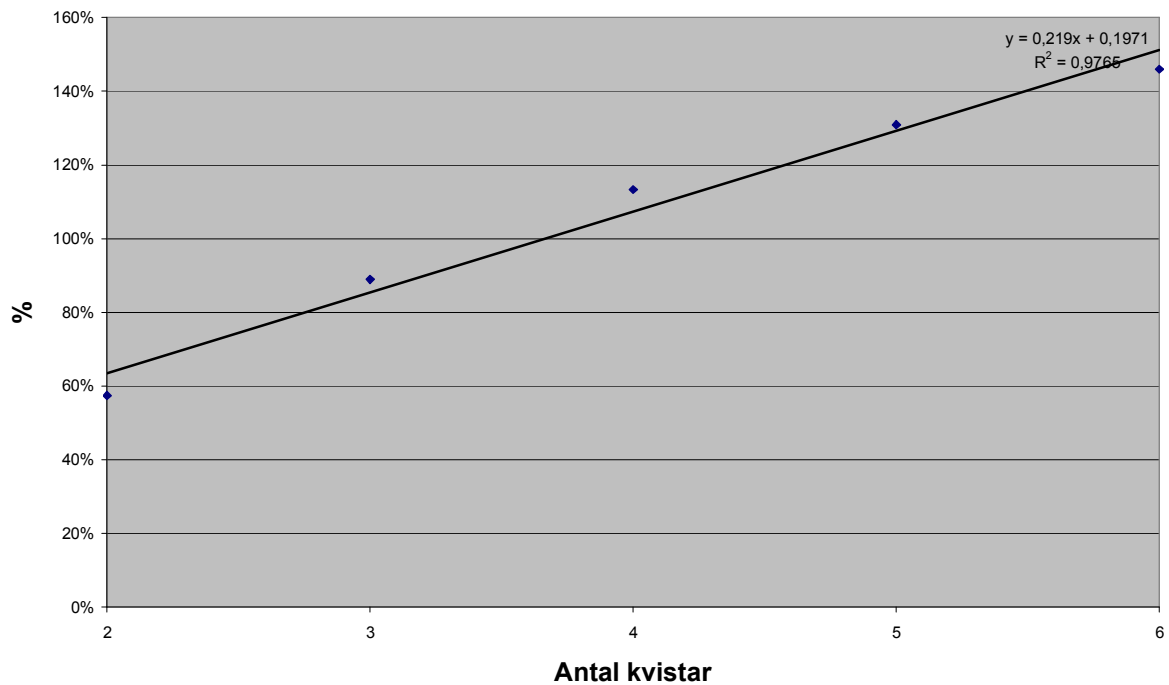
### Volymfördelning

Kvistarnas andel av den totala volymen i kvistvarvet är inte jämnt fördelad. Den största kvisten står för i genomsnitt 142 % av genomsnittsvolymen i kvistvarv med två kvistar, till exempel. Denna procentsats ökar linjärt med antal kvistar i kvistvarvet, och detta gäller även den näst största kvisten, den tredje största kvisten etc. Figur 6 visar detta samband för den största kvisten, och figur 7 för den näst största. Detta är alltså ett mått på hur mycket en kvist i genomsnitt avviker från normen i kvistvarvet, beroende på vilken rangordning den har storleksmässigt. Gällande variation i volym beroende på väderstrecsriktning eller liknande, finns det väldigt liten eller obefintlig systematik.





Figur 6. Största kvistens andel av den genomsnittliga kvistvolymen i kvistvarv



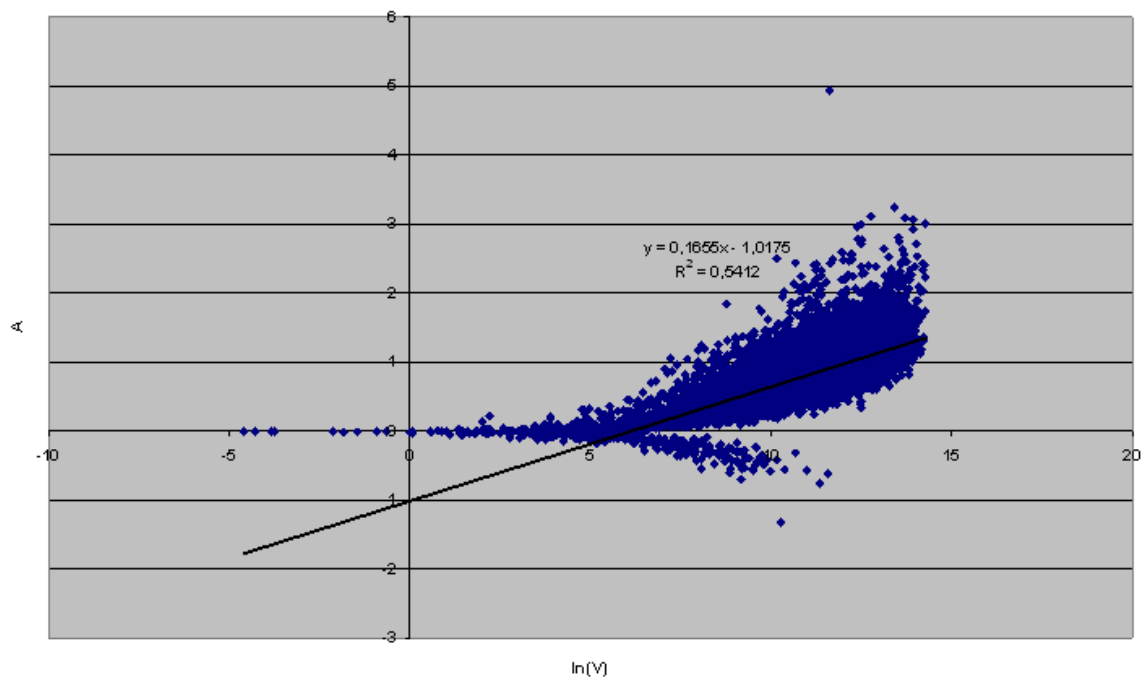
Figur 7. Näst största kvistens andel av den genomsnittliga kvistvolymen i kvistvarv

Kvistarnas respektive volym kan alltså bestämmas genom att man (slumpmässigt) tilldelar varje kvist en rangordning, och ger kvisten en volym utifrån sambanden ovan samt kvistvarvets totala volym delat med antalet kvistar.

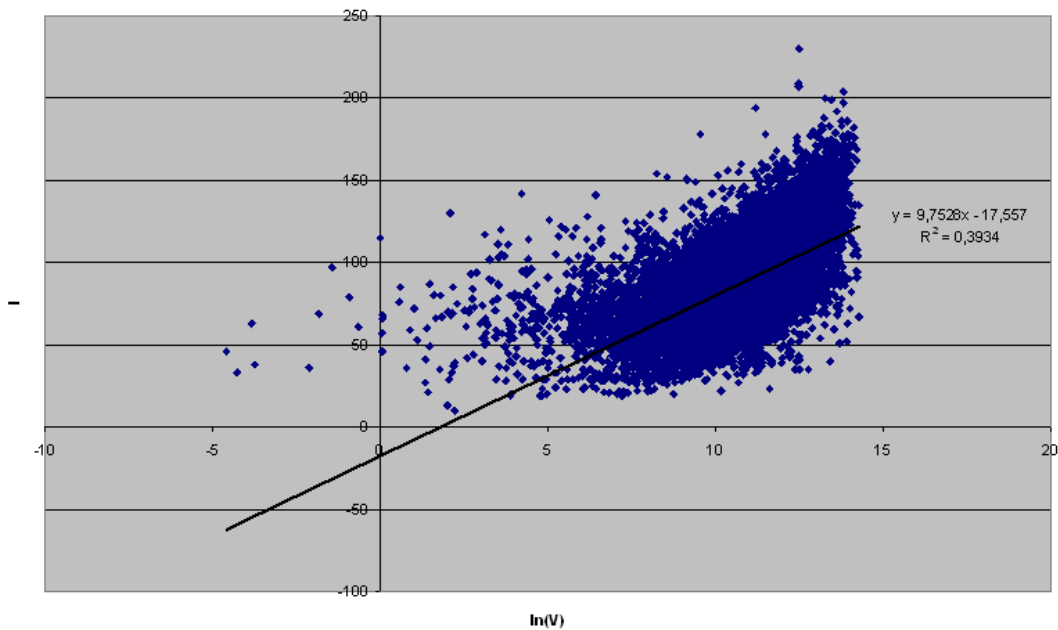
### Storleksparametrarnas volymsberoende

Ett naturligt sätt att bestämma parametrarna A,B,E,F och I är att utgå från kvistvolymen. Då alla dessa parametrar bestämmer storleken hos kvisten, är det naturligt att det finns ett samband, figur 8 och figur 9 presenterar två exempel. För alla dessa parametrar finns motsvarande samband med ungefär samma korrelation.

Dessa parametrar kan alltså tilldelas kvisten utifrån dess kvistvolym. Tar man dessutom hänsyn till stocktyp blir modellen ytterligare lite bättre.



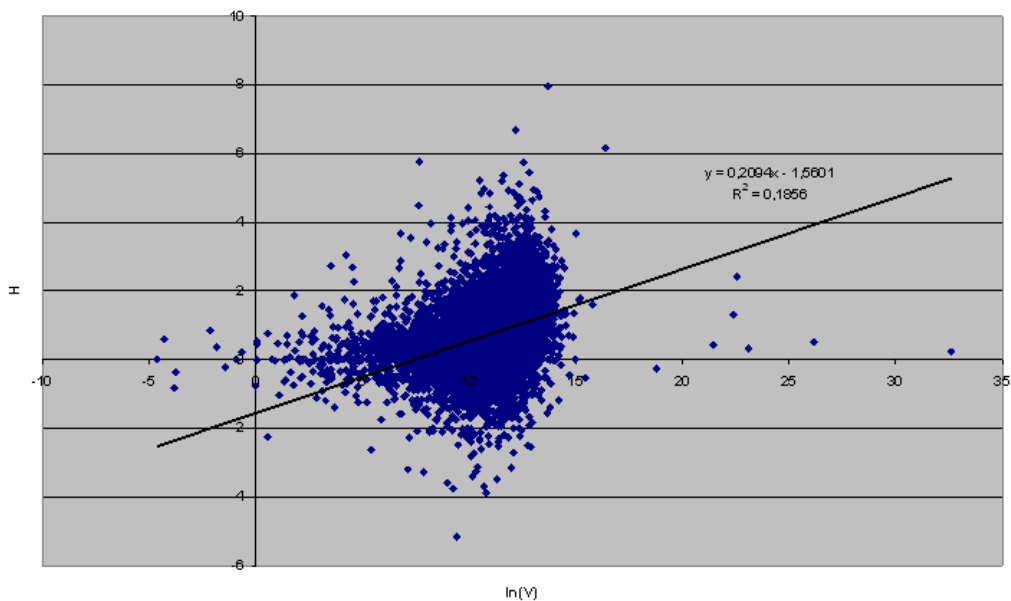
Figur 8. Parametern A och dess spridning i förhållande till den naturliga logaritmen av kvistvolymen



Figur 9. Parametern I och dess spridning i förhållande till den naturliga logaritmen av kvistvolymen

### Samband kvistvinkel – kvistvolym

Kvistvinkel motsvaras av parameter H i stambanken, som egentligen beskriver kvistens höjdförändring beroende på avstånd till märg. Denna parameters storlek kan också sägas ha ett svagt samband med kvistvolymen, figur 10.



Figur 10. Parametern H och dess spridning i förhållande till den naturliga logaritmen av kvistvolymen

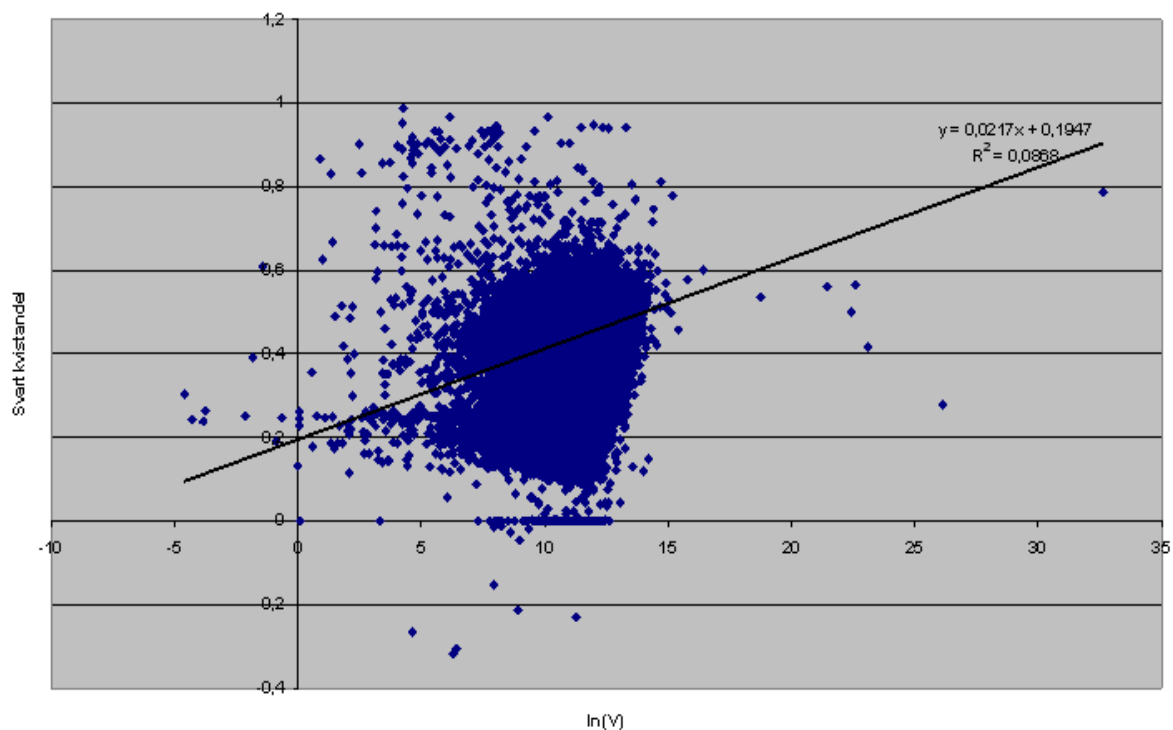
Spridningen av H runt regressionslinjen kan fångas upp genom att man tilldelar varje kvist ett H som slumpmässigt väljs ur en normalfördelning med medelvärde lika med den linjära regressionen och en standardavvikelse lika med RMSE för den linjära modellen, vilket är 0,65.

Även här ger en uppdelning efter stocktyp en viss förbättring av korrelationen.

### *Samband svartkvistandel – volym*

Svartkvistandel definieras som den procentandel av kvistlängden som består av svartkvist. Anledningen till att denna egenskap används istället för svartkvistlängd är att den senare har ett starkt beroende till den totala längden och därmed även volymen hos kvist. Ett spridningsdiagram för svartkvistandel plottad mot den naturliga logaritmen av kvistvolymen visas i figur 11.

Det är rätt tydligt att denna modell är svag. Gör man en uppdelning av kvistarna efter stocktyp, finns viss möjlighet att förbättra korrelationen, men endast marginellt.



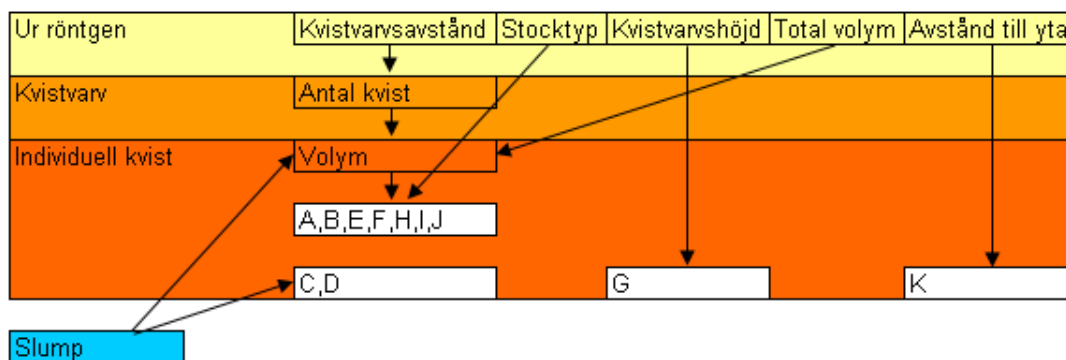
**Figur 11. Svartkvistandel och dess spridning i förhållande till den naturliga logaritmen av kvistvolymen**

### Parametrarna G och K

Parametern G kan sättas lika för alla kvistarna i kvistvarvet, och ges då av kvistvarvets höjd i stocken. Parametern K bör kunna sättas genom att mäta avståndet från märg till mantelyta i röntgenbilderna.

### Sammanfattning

Strategin för att skapa kvistar utifrån röntgendata kan sammanfattas i figur 12:

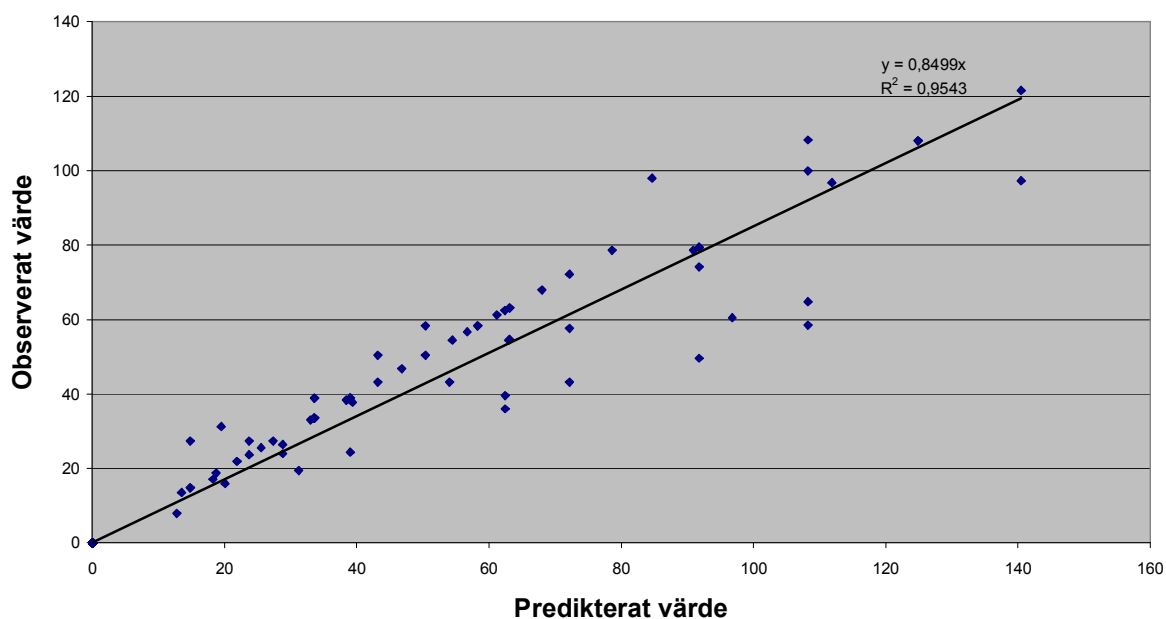


Figur 12. Strategi för att konstruera kvistar utifrån data möjliga att ta fram ur röntgenbilder

### Sågsimulering

En simulerad sågning har genomförts av dels det verkliga materialet, dels materialet med de konstruerade kvistarna, under samma förutsättningar i övrigt. Detta har gjorts för 47 stockar vilket gav 396 plank/brädor. Beskrivningen av stockarnas yta och kärnvedsgräns har behållits i det konstruerade materialet. Försöken visar på att den modell som redovisas ovan överskattar värdet hos det resulterande virket, troligen på grund av att orienteringen av kvistarna i väderstreckriktning inte görs på ett riktigt sätt. I det verkliga materialet är kvistvarven generellt sett tämligen symmetriska i tvärsnittet, medan modellens kvistvarv (för antal kvistar fem och uppåt) uppvisar en högre grad av asymmetri och därmed fler plank/brädor av A-kvalitet. I stort blir dock värderingen av virket relativt lik den verkliga, kviststorlekar och -vinklar motsvarar det verkliga materialet på ett tillfredsställande sätt, se figur 13. Noteras bör att värdet hos virket även är beroende av stockens dimensioner, vilka är lika för de bägge fallen.

Värde per plankor för 396 stambanksplankor



Figur 13. Värde för sågsimulerat virke från tomograferade stockar plottat mot värde för virke med rekonstruerade kvistvarv

Tittar man på kvalitetsklasser träffar modellen rätt i 70 % av fallen, medan det skiljer mer än en kvalitetsklass i ca 11 % av fallen, det vill säga bättre än metoden i Grundberg *et al.* (1999) i ett avseende och sämre i ett annat. Även detta är förmodligen kopplat till den låga graden av symmetri i många kvistvarv.

## SLUTSATSER

Då mängden indata är tämligen begränsad, blir många av sambanden ovan oerhört svaga. Trots detta är det möjligt att återskapa representativa stockar ur den begränsade mängd data som finns, gällande värdet hos det virke som blir resultatet av sågsimulering. Framtida förbättringar av modellen gäller främst kvistens orientering i väderstrecksriktning, där en annan strategi skulle kunna vara att ta fram ett antal typfall och använda dessa istället för nuvarande metod, även för kvistvarv med fler kvistar än fyra. Svartkvistgräns, kvistvinkel och antal kvistar per kvistvarv är tre andra egenskaper, vilkas rekonstruktionsmodeller är svaga och i behov av förbättring.

## REFERENSER

Björklund, L. 1997. The interior knot structure of *Pinus Sylvestris* stems. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 12:4, 403-412

Björklund, L., & Moberg, L. 1999. Modelling the inter-tree variation of knot properties for *Pinus sylvestris* in Sweden. *Studia Forestalia Suecica* 207. ISSN 0039-3150.

Grundberg, S., Grönlund, A., Oja, J. & Israelsson, M. 1999. Log models reconstructed from X-ray LogScanner signals. Workshop IUFRO S5.01-04, 394-398.

Grönlund, A., Björklund, L., Grundberg, S. & Berggren, G. 1995. Manual för furustambank. Avdelningen för träteknik, Luleå tekniska universitet, Skellefteå, Teknisk Rapport 1995:19T. 25 s. ISSN 0349-3571.

Moberg, L. 2006. Predicting knot properties for *Picea abies* and *Pinus Sylvestris* from generic tree descriptors. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 21:1, 49-62.

Mäkelä, A., Vanninen, P. & Ikonen, V.P. 1997. An application of process-based modelling to the development of the branchiness in Scots pine. *Silva Fennica* 31:3, 369-380.

Mäkinen, H. & Colin, F. 1998. Predicting branch angle and branch diameter of Scots pine from usual tree measurements and stand structural information. *Canadian Journal of Forest Research* 28, 1686-1696.

Petersson, H. 1998. Prediction of branch variables related to timber quality in *Pinus Sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 13:1, 21-30.

Pietilä, J. 1989. Shape of Scots pine knots close to the stem pith. *Silva Fennica* 23:4, 287-299.

### **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](http://www.ltu.se/ske/tcn)

*En investering för framtiden*



EUROPEISKA  
UNIONEN  
Europeiska  
regionala  
utvecklingsfonden