

Hållfasthetssortering av plankor med hjälp av röntgendata

Niclas Björngrim

Civilingenjörsexamen
Träteknik

Luleå tekniska universitet
Institutionen för teknikvetenskap och matematik

Förord

Detta examensarbete är det sista momentet i min civilingenjörsutbildning i träteknik vid Luleå Tekniska Universitet. Examensarbetet gjordes på SCA Munksund i Piteå. Jag vill rikta ett stort tack till mina handledare Dan Olofsson vid SCA Munksund och Johan Oja vid LTU/SP Trätek för deras hjälp och stöd under mitt examensarbete. Jag vill även tacka personalen vid Munksund och SP Trätek för deras hjälp.

Niclas Björngrim
Piteå 2009

Abstract

The aim of this thesis is to find a statistical model that sort logs according to a predicted modulus of elasticity on the sawn boards. The input parameters for the model are X-ray variables from an X-ray scanner. For some of the log classes sawn at the sawmill it is desirable to have a narrow distribution of modulus of elasticity on the sawn boards.

250 pine logs from five different diameter classes were numbered and followed through the sawmill process. Log data were collected from X-ray and 3-D scanners in the log intake.

After the logs were sawn in to boards, the boards were numbered.

After the boards were dried and conditioned the eigenfrequency were tested to decide the modulus of elasticity. Log and board data were processed in a multivariate statistic program, and sorting models were extracted.

The models extracted show satisfying r^2 and q^2 values, and a Pearson chi squared test showed that the models are predicting modulus of elasticity better than random sorting. The models are now being used in the production at Munksund sawmill.

Sammanfattning

Under 2008 upptäcktes att virket som producerades på SCA Timber i Munksund uppvisade en ojämn spridning i E-modul under året. På Munksund anlätade man SP Träteknik för att undersöka detta. Undersökningen av SP gav bland annat en modell baserad på multivariat statistik för att kunna prediktera E-modulen på de sågade plankorna ur röntgendatat från stockarna. Detta gjorde att SCA mer noggrant ville undersöka sambandet mellan röntgen och E-modul. Med en statistisk modell baserad på det timmer som sågas i Munksund skulle man kunna sortera ut stockar som ger en jämn spridning av E-modul på det sågade virket. Sammanlagt 250 furustockar från fem timmerklasser; R70, R75, R100, R120 och R130; valdes ut till försöken. Stockarna togs ur olika ställen i timmervältan för att få en spridning av uppväxtplats, rot-, mitt- och toppstock. Stockarna numrerades och mättes in i timmersorteringen där röntgen och 3D-data samlades in. I sönderdelningen noterades turordningen som stockarna kom in i sågen och efter sönderdelningen numrerades plankorna. I råsorteringen mätte Boardmaster längderna på plankorna. Efter torkning och konditionering utfördes egenfrekvens- och densitets mätningar på plankorna. Efter problem med hopblandning av data under det första försöket lades plankorna från samma stock ihop vilket gjorde att man kunde läsa av numreringen från stocken och därmed verifiera att plankorna verkligen kom från den stocken.

Under det andra försöket upptäcktes det att egenfrekvensen ofta var lägre på innerplankorna vilket borde innebära en lägre E-modul för innerplankorna därför noterades det om det var en innerplanka eller ytterplanka i mätprotokollet. Allt insamlat data behandlades i ett multivariat statistikprogram. I programmet skapades PLS-modeller för hållfasthets-sortering av virket. De två klasser som det skapades modeller för var R70 och R100, där R70 ger tre plankor och R100 ger fyra plankor. Förutom modeller för hela virkesklassen gjordes även modeller för enbart innerplankorna respektive ytterplankorna (se tabell 1). Medelvärden för E-modulen hos innerplankorna respektive ytterplankorna hittas i tabell 2. Modellen för ytterplankor bestämdes vara lämpligast i produktionen då den fångade upp flest korrekt sorterade plankor och med ett bra R2 värde samt bra medelfel.

Virkesklass	R2	Q2	Medelfel (Mpa)
R70	0,61	0,55	1525
R100	0,68	0,61	1264
R70 Innerplankor	0,67	0,6	1088
R70 Ytterplankor	0,63	0,54	1384
R100 Innerplankor	0,75	0,7	1016
R100 Ytterplankor	0,78	0,71	950

Tabell 1. Jämförelse av R2, Q2 och medelfel för modellerna av R70 och R100.

Medel E-modul (MPa)	Ytterplankor	Innerplankor
R70	13407	11748
R100	13199	11495

Tabell 2. Skillnaden i E-modul på ytter- och innerplankor för R70 och R100.

1. Inledning och bakgrund.....	2
1.1 Bakgrund.....	2
1.2 Syfte.....	2
1.3 Avgränsningar.....	2
2 Teori.....	3
2.1 Sorteringsmetoder.....	3
2.1.1 Röntgen.....	4
2.1.2 3D mätning.....	5
2.1.4 Kvalitet On-Line.....	5
2.1.5 FinScan Boardmaster.....	5
2.2 Testmetoder för hållfasthet av stockar och plankor.....	6
2.2.1 Böjning av plankor.....	6
2.2.2 Resonansanalys.....	7
2.2.3 Förstörande tester.....	7
2.3 Multivariat analys.....	7
3 Material och materiel.....	9
3.1 Material.....	9
3.2 Materiel.....	9
4 Försöksupplägg.....	9
4.1 Mätning på stockar.....	9
4.2 Mätning på plankor.....	10
4.3 Modeller och beräkningar.....	10
5 Resultat.....	10
5.1 Första försöket.....	10
5.1.1 Resultat från första försöket; R75.....	11
5.2 Andra Försöket.....	12
5.2.1 R70.....	12
5.2.2 R100.....	13
5.2.3 R70 Innerplankor.....	14
5.2.4 R70 Ytterplankor.....	15
5.2.5 R100 Innerplankor.....	16
5.2.6 R100 Ytterplankor.....	17
5.3 Test av modellerna mot annan virkesklass.....	18
5.4 Sorteringsresultat.....	19
5.4.1 Sorteringsresultat för R70 modeller.....	19
5.4.2 Sorterings resultat för R100 modeller.....	20
6 Diskussion/slutsatser.....	21
6.1 Diskussion.....	21
6.2 Felkällor och Förbättrings idéer.....	22
6.3 Förslag på framtida arbeten.....	23
6.4 Slutsatser.....	23
Referenser.....	24
Appendix 1.....	26
PLS modeller för Kvalitet On-Line.....	26
Appendix 2.....	29
Kontingenstabeller för sorteringsmodellerna.....	29

1. Inledning och bakgrund

1.1 Bakgrund

SCA Timber AB i Munksund producerar 430000 m² sågad furu per år. Huvuddelen av virket som produceras är nedtorkat trä till golv, fönster, möbler, limfog och limträ tillverkning. Då sågverkets råvara är norrländsk fura som har goda mekaniska egenskaper tack vare sin långsamma tillväxt har det inte ansetts nödvändigt att hållfasthetstesta virket.

Under 2008 kom indikationer från kunder att E-modulen under vissa perioder av året hade försämrats. Detta föranledde en undersökning som gjordes av SP Träteknik på uppdrag av SCA. Tidigare forskning hos SP Träteknik visade att man med hjälp av röntgendata kan prediktera E-modulen hos de färdiga plankorna. En statistisk modell visar på ett samband mellan kärnvedsdensitet, kvistvolym och E-modul. Eftersom SCA Munksund har gott om historisk data fick SP till uppgift och utreda om man kunde påvisa samma mönster i E-modulen som SCA fått indikation om. SP lyckades från dessa data peka på att sågverket haft dippar i E-modulen som beror på variationen i stockegenskaper. Som ett resultat av detta ville SCA mer noggrant undersöka sambandet mellan röntgen och E-modul. Fördelen med att använda virke med predikterad E-modul vid exempelvis konstruktionen av limträbalkar är att man kan placera rätt sorts virke på rätt plats. I en limträbalk fördelas tryck- och dragspänningar till ovan- och undersida vilket innebär att man vill ha det virke som har högst E-modul på ovan- och undersidan. Även om man har producerat virke för hållfasthets applikationer på Munksunds sågverk så finns det för närvarande ingen utrustning avsedd för hållfasthetstestning av virket. Men med en statistisk modell baserad på röntgenparametrar från timmersorteringen skulle man kunna prediktera hållfastheten på de dimensioner som har det behovet utan att behöva investera utrustning för hållfasthetstestning.

1.2 Syfte

Syftet med det här arbetet är att ta fram en eller flera modeller för prediktering av plankors E-modul med röntgendata. Önskan är att med så hög säkerhet som möjligt prediktera varje enskilds plankas E-modul. Vidare skall studien även besvara ifall en generell modell kan användas eller om en justering måste göras med avseende på timrets egenskaper. Den färdiga modellen ska implementeras i mjukvaran, Kvalitet On-Line, som används i timmersorteringen för att sortera stockar efter olika egenskaper. I nuläget finns det ingen skattning av E-modul på plankorna. En god modell skulle ge en jämn nivå av E-modul i det sågade virket.

1.3 Avgränsningar

Fem olika virkesklasser av furu som används för att producera hållfasthetssorterat virke har använts till den här studien. 50 stockar från varje klass testades.

Den dynamiska E-modulen har testats med en egenfrekvensmätare.

2 Teori

2.1 Sorteringsmetoder

Sortering av virket är en naturlig del av förädlingen i ett sågverk. Sorteringen av virket är den del av produktionen som bestämmer egenskaper och värdet på produkten. Visuellt sortering används till produkter som kommer att vara synliga och där de estetiska egenskaperna är viktigast. Man kan även hållfasthets-sortera med visuellt sortering men precisionen är låg. Traditionellt sett så har gran använts oftare till områden där hållfasthet har varit viktigt medan furu har använts i de områden där estetiken har varit viktigare. Men det finns även behov av hållfasthetsklassat furu.

Tidigare så var en ökad kapacitet det självklara sättet att öka sina intäkter. Med dagens ökade virkespriser och hårdare konkurrens måste sågverken sätta fokus på att höja kvalitén på det virke som produceras. På senare tid har trä som konstruktionsmaterial till bärande konstruktioner blivit vanligare vilket gör det viktigt att kunna bestämma hållfastheten på virket.

Anledningen till att hållfasthets-sortera är för att kunna använda virke som uppfyller de egenskaper som krävs för bärande konstruktioner.

I Europa indelas hållfasthetsklassat virke i 12 olika klasser: C14, C16, C18, C20, C22, C24, C27, C30, C35, C40, C45 och C50. Där C:et står för coniferous (barrträd) och siffran står för det värde på böjstyrka som erfordras för klassen (se tabell 3). Minst 95 % av plankorna ska ha en böjstyrka som är lika stor som, eller överstiger siffran för klassen. För att vara säker på att de 5 % av virket som ligger under klassen inte skall gå sönder i en konstruktion används en säkerhetsmarginal på 1,3 för konstruktionsvirke. E-modul och densitet är de andra två parametrarna som används för att klassificera virket enligt Europeisk standard EN338.

Att hållfasthets-sortera on-line innebär att man får mäta andra parametrar än hållfasthet så korrekt som möjligt för att sedan med hjälp av statistiska modeller få fram en god prediktion av hållfastheten. För att beräkna den korrekta hållfastheten i en plankor måste man bryta av den, man kan inte bestämma den verkliga hållfastheten utan att använda sig av en destruktiv testmetod. I praktiken använder man sig av olika testmetoder där hållfastheten mäts indirekt genom att mäta andra parametrar (Hanhijärvi et al. 2008).

		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Bending	f_m, k (Mpa)	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Tension parallel	$f_t, 0, k$ (Mpa)	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
Tension perp	$f_t, 90, k$ (Mpa)	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compression	$f_c, 0, k$ (Mpa)	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
Compr. perp	$f_c, 90, k$ (Mpa)	2	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
Shear	f_v, k (Mpa)	1,7	1,8	2	2,2	2,4	2,5	2,8	3	3,4	3,8	3,8	3,8
Mean MOE	E_0, mean (Gpa)	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
5% MOE	$E_{0,05}$ (Gpa)	4,7	5,4	6	6,4	6,7	7,4	7,7	8	8,7	9,4	10	10,7
Mean MOE perp	$E_{90, \text{mean}}$ (Gpa)	0,23	0,27	0,3	0,32	0,33	0,37	0,38	0,4	0,43	0,47	0,5	0,53
Mean shear mod.	G_{mean} (Gpa)	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1
Density	ρ_k (kg/m ³)	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
Mean density	ρ_{mean} (kg/m ³)	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

Tabell 3. Hållfasthetsklasser enligt Europeisk standard EN338.

2.1.1 Röntgen

Den stora fördelen med röntgen vid sortering av stockarna är att man får reda på hur stocken ser ut inuti. När man känner till insidan kan man ytterligare förädla stocken. De första försöken att röntga stockar gjordes med en vanlig datortomograf. Stocken genomstrålades var 10:e mm vid kvistvarven och var 40:e mm mellan kvistvarven. Bilderna som röntgenkameran tar läggs ihop till en komplett 3-dimensionell bild av stocken och ger en väldigt god bild av stockens inre utseende. Denna skanning tog cirka 2,5 timmar för varje stock vilket gjorde den ohållbar att använda sig av i industrin, moderna datortomografer är dock betydligt snabbare idag (Grundberg et al. 1995). Med en industrianpassad röntgenmätarm, med en till fyra fasta röntgenkällor, får man en god bild av stockens insida samt att de är anpassade för de hastigheter som krävs i ett sågverk. Brännström (2009) kom fram till att fyra röntgenkällor ger en försumbar skillnad i noggrannhet jämfört med två röntgenkällor. Röntgenstrålningen absorberas olika mycket beroende på fuktkvot, tjocklek, molekylstruktur och densitet. Då man röntgar stocken får man information om densitet, årsringar, kvistvarv, kärnved och tjurved etc. Röntgen av stockar sker on-line i sågverket och det primära användningsområdet är för sortering av stockar. Röntgendata ger även information som indirekt kan bestämma hållfastheten på de plankor och brädor som kommer att sågas ur stocken. Hållfasthetsortering med röntgen i början av processen, istället för nedböjning/akustiska tester av plankor och bräder i slutet av processen, innebär även mindre nedklassat virke (Brännström 2009).

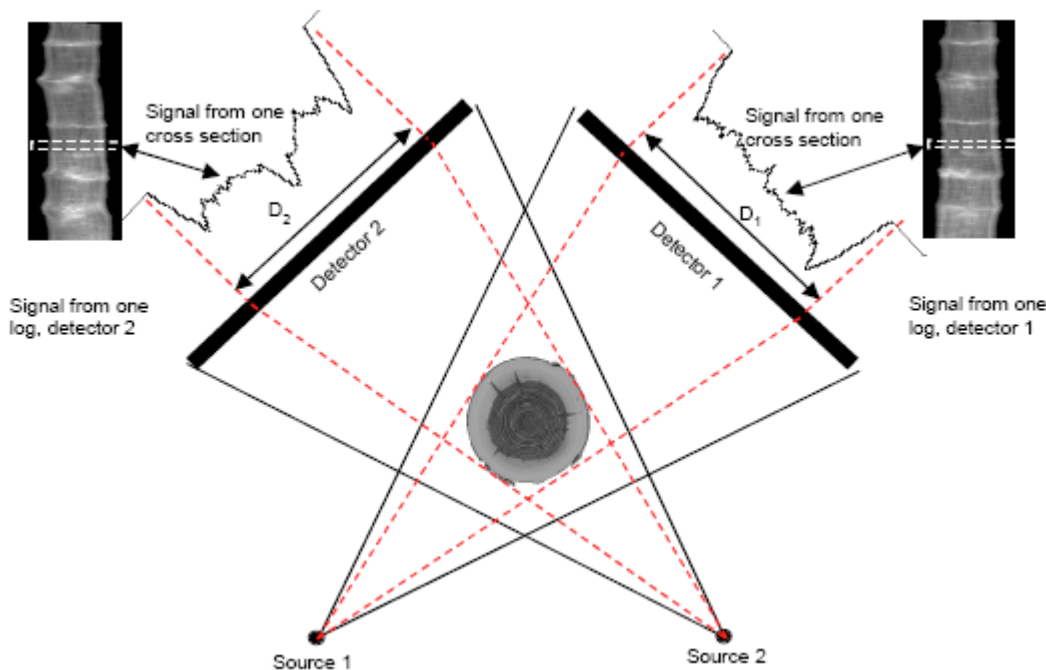


Bild 1. Schematisk bild över röntgenram med 2 mät huvud. (Oja et al. 2004).

2.1.2 3D mätning

En 3D mätram består av en mätram på vilken det finns två till tre mät huvuden. Varje mät huvud består av en laser och en detektor på motsatt sida.

Mät huvudena sitter utplacerade med 120° vridning jämte varandra. Varje mät huvud har flera laser källor ~16 som bestämmer varje punkts position på stocken och man får stockens mantelyta (Anon. 2000). Informationen som 3D-mät ramen ger positionerar stocken till det läge som ger bästa utbytet innan den sönderdelas.

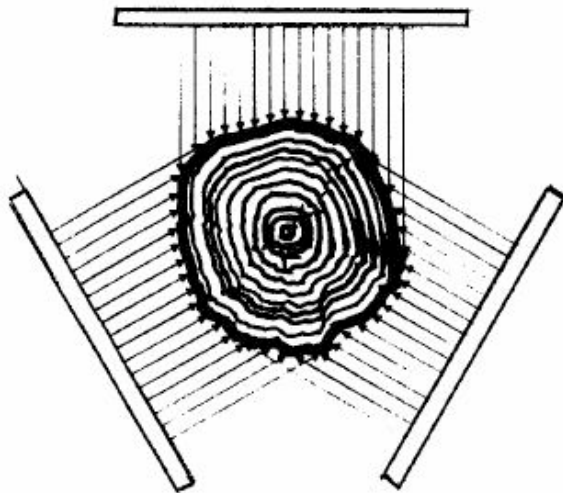


Bild 2. Schematisk bild över 3d skanner med tre laser källor. (Anon. 2000)

2.1.4 Kvalitet On-Line

Kvalitet On-Line är ett program som behandlar data från 3d och röntgen med multivariata matematiska modeller. Ur mät ramarna får man ett hundratal parametrar som beror på olika egenskaper som vilken del av stocken det är, kvistvolym, kvistvarv, densitet, avsmalning, områden utan kvistar, kvalitetsmått, kombinationer av variabler etc. Med dessa variabler sorterar Kvalitet On-Line stockarna efter stocktyp och stockkvalitet (Anon. 2009).

2.1.5 FinScan Boardmaster

Boardmaster från Finscan är ett system som optiskt skannar brädor och plankor för att upptäcka defekter. Systemet är uppbyggt av kameror som fotograferar varje yta, bilden behandlas därefter i Finscans bildbehandlingsprogram. Utrustningen hittar bland annat vankant, röta, kådlåpor, sprickor, kupning, etc. Boardmaster kan även användas för att prediktera hållfasthet men har dålig precision då den gör det, med ett R2 värde på 0,12 (Hanhijärvi et al. 2005)

2.2 Testmetoder för hållfasthet av stockar och plankor

I nuläget hållfasthets sorterar virket i slutskedet av sågverkskedjan, med böjning eller akustiska metoder. Kan man flytta hållfasthets sorteringen till början av kedjan, och sortera redan på stockarna, skulle man styra produktionen mot en effektivare produktionskedja. Ross et al (1997) visade att det finns ett samband mellan stockens e-modul och de sågade produkternas e-modul. Röntgen används för att sortera virket men kan även användas för att indirekt mäta hållfasthet. Oja et al (2004) visade att röntgen samt böjmaskin predikterar böjstyrka till ett R² värde på 0,44 respektive 0,43. Kombinationen av dem båda gav en bättre överensstämmelse med ett R² värde på 0,56. I den studien undersökte man gran. Hanhijärvi et al (2008) visade att kombinationen av röntgendata för densitet och kvistar kan prediktera styrkan med ett R² värde på 0,7 för furu. För att kunna få så högt ekonomiskt utbyte som möjligt ur stocken är det viktigt att ha en uppfattning om egenskaperna hos stocken innan den sågas.

Det finns flera sätt att testa hållfastheten på, och metoderna kan delas in i icke förstörande tester och förstörande tester. Icke förstörande tester är sådana som används i produktion på sågverk medan förstörande tester oftast används i forskningssyfte. Den enda vägen att bestämma den faktiska hållfastheten i en plankor är genom ett förstörande test. Icke förstörande tester används för att prediktera hållfastheten men de olika metoderna ger bara en skattad hållfasthet. En fördel med att bestämma hållfasthetsparametrar med röntgen är att utrustningen idag finns på flera av de större sågverken.

2.2.1 Böjning av plankor

De första hållfasthetstestmaskiner som användes i produktion var böjmaskiner. En plankor skickas genom maskinen och sedan böjs plankan till ett förbestämt läge och kraften mäts, eller så utsätts den för en konstant kraft och böjningen mäts. Defekter som flatböj påverkar resultatet då den är olika svår att böja i de olika riktningarna, detta kan åtgärdas genom att man mäter i båda riktningarna. Böjmaskiner kan ibland knäcka plankorna den testas, något som inte behöver vara negativt då de annars hade kunnat hamna i en konstruktion. Böjmaskiner mäter E-modulen och omvandlar det värdet till brottgräns värde men relationen mellan brottgräns och e-modul är inte exakt och har en korrelation mellan R² 0,5-0,6 (Schajer 2001 och Brännström 2009) Hållfasthetstestning genom böjning predikterar hållfastheten till ett R² värde på 0,55 (Schajer 2001) . Vid böjning finns det även en viss osäkerhet i mätvärdena då man på grund av böjmaskinens konstruktion inte kan mäta längst ut på plankan.

2.2.2 Resonansanalys

Om man sätter en plankan i svängning med hjälp av ett slag med en hammare och sedan spelar in vibrationen med en mikrofon, eller mäter med laserinterferens, kan man bestämma E-modulen (E). Den globala E-modulen kan beräknas med resonansfrekvensen (f), densiteten (ρ) och längden (l) på plankan (Ohlsson et al. 1992). Lycken et al.(2009) visade att sambandet mellan resonansanalys och E-modulen har ett R2 värde på 0,6. Metoden är billig och instrumentet är lätt att installera för producenten.

$$E = 4 \cdot f^2 \cdot l^2 \cdot \rho \quad (\text{Ekvation 1})$$

2.2.3 Förstörende tester

Med ett fyrpunkts böjtest bestäms den faktiska e-modulen hos plankan. Plankan sätts fast i en rigg och vilar mot två stöd medan två punktlaster trycker ned plankan på mitten. Nedtryckningshastigheten och kraften mäts kontinuerligt och E-modulen kan beräknas. Enligt europeisk standard EN408 ska plankor testas på högkant med 4 punkts böjning. Densiteten bestäms sedan med en liten kvistren bit tagen i närheten av brottzonen.

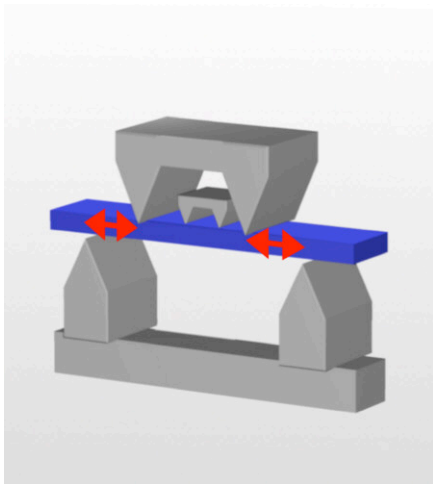


Bild 4. Schematisk bild över fyrpunkts-böjtest. (www.zwick.co.uk 2009)

2.3 Multivariat analys

PLS (Projection to Latent Structures eller Partial least square) är metoden som har använts för att analysera data. En PLS-modell är en projektionsmetod och kan geometriskt förklaras som en svärm med mätpunkter (x) som i ett flerdimensionellt rum projiceras till det hyperplan som bäst predikterar (y) och samtidigt och samtidigt beskriver variationen i x (Bild 5). Dessa riktningar kallas principalkomponenter.

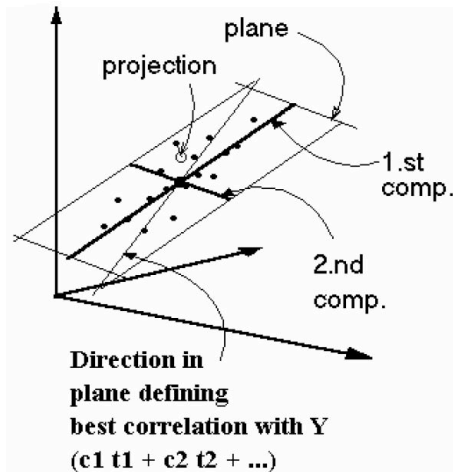


Bild 5. Projektion från flerdimensionellt rum till ett plan. (Wold et al. 2004)

Fördelarna med multivariat statistik jämfört med traditionella statistiska metoder är främst att multivariat statistik kan hantera samvariation på x, att den klarar av stora dataset och att multivariat statistik hanterar brus och saknade mätvärden.

Hur bra en modell är beskrivs av R²-värdet som är ett mått på hur väl de observerade värdena kommer att förutspå de predikterade värdena.

Q²-värdet är ett mått på hur väl modellen kommer att överensstämja med nya observationer. Värdet för R² ligger mellan 0 och 1, Q² kan vara negativt men inte högre än 1. R² värdet för en modell är alltid högre än Q² värdet. I en bra modell ska skillnaden mellan Q² och R² inte vara större än 0,2. Externvalidering av modellen sker genom att utelämna ungefär 20 % av mätvärdena då man kalibrerar modellen för att sedan testa modellen på de utelämnade mätvärdena. Ytterligare ett sätt att utvärdera modellen är med prediktionsfelet (RMSE) som är medelfelet för skillnaden mellan observerade och predikterade variabler (Eriksson et al. 2006).

3 Material och materiel

3.1 Material

Sammanlagt har ca 250 furustockar och 810 plankor testats.

När stockarna sönderdelas får man olika antal plankor beroende på sågmönster. Ett 3x sågmönster ger tre plankor, 4x ger fyra plankor och så vidare.

Virkesklasserna som har testats är: R70 (3x), R75 (3x), R100 (4x), R120 (4x) & R130 (4x). Toppdiameterintervallet i millimeter för de olika klasserna är: 167-174, 176-182, 199-208, 208-233 samt 232-248.

Målfukkvoten på plankorna efter torkning är 12 procent.

3.2 Materiel

SCA Munksund använder sig av RemaControl X-ray LogScanner som är röntgen-mättramen och MPM Engineering 3D Surface Scanner är 3D-mättramen som används i timmersorteringen. Mättrarnas data behandlas av Kvalitet On-Line.

I råsorteringen används en Boardmaster från Finscan för sorteringen av plankor.

En egenfrekvens mätare från Grindosonic har använts för att bestämma E-modulen.

Programmet Simca-P+ 12 har använts för att med PLS-regressionsanalys studera det insamlade datat.

4 Försöksupplägg

Försöken gjordes i två omgångar. I det första försöket ingick stockklasserna R75, R100, R120 samt R130. Det andra försöket gjordes med R70.

Inför det andra försöket gjordes en del förändringar i mätningarna. Skillnaden mellan försök ett och två var att utöver de automatiska mätningarna så mättes stockarnas längd innan de mättes i timmersorteringen samt plankornas längd mättes efter torkningen. I andra försöket las även plankorna ihop för att kunna avläsa numreringen i stock änden och på så sätt verifiera att de plankorna hörde ihop med den stocken. Plankorna från R100 lades senare även dem ihop för att verifiera vilka plankor som hörde ihop med vilken stock.

4.1 Mätning på stockar

För att få en god spridning av stockar vad det gäller olika uppväxtplatser samt rot, mellan och toppstockar från de olika virkesklasserna så togs stockarna från olika delar av timmervältan. Stockarna numrerades sedan i båda ändarna för att kunna identifiera dem då de passerade timmersorteringen och sågintaget. Ordningen på stockarna noterades och data från 3D-skannern och röntgenmättramen insamlades från Kvalitet On-Line.

Nästa steg var sönderdelningen av stockarna. Stockarnas ordning från timmerintaget noterades för att kunna matcha dem med den nya numreringen av plankor där första stockens plankor numrerades 1-3 eller 4 beroende på sågmönster. Längddata från Boardmaster samlades också in för att kunna verifiera plankdata med stockdata. Allt insamlat data fördes in

i Excel. Efter torkningen konditionerades virket för att minska fuktkvotsgradienter och inre spänningar.

4.2 Mätning på plankor

Efter konditioneringen av plankorna började mätningarna av densitet, egenfrekvens och fuktkvot. För att bestämma densiteten på plankorna så mättes längd, bredd, höjd och vikt. I försök ett användes längden från Boardmaster för att beräkna densiteten, i försök två mättes längden manuellt. Egenfrekvensen i varje plankor mättes med GrindoSonic. Mätning med GrindoSonic görs genom att slå med en hammare i ändytan av plankan och en piezoelektrisk givare hålls mot plankan, på en kvistfri yta, och känner av vibrationerna. Egenfrekvensen i varje plankor mättes tre gånger eller till dess att tre stabila frekvenser uppmättes, för att verifiera den uppmätta frekvensen så flyttades givaren till ett annat område på plankan för att hitta samma frekvens även där. Fuktkvoten mättes med en elektrisk resistansmätare. I försök 2 togs även torrviktsprover på ca 15 % av plankorna.

4.3 Modeller och beräkningar

E-modulen för plankorna har beräknats ur plankornas egenfrekvens, längd och densitet enligt *ekvation 1*. Alla värden har lagts in i Excel där de har sorterats efter stock med tillhörande plankor. Den multivariata analysen är gjord i Simca-P+ 12.

5 Resultat

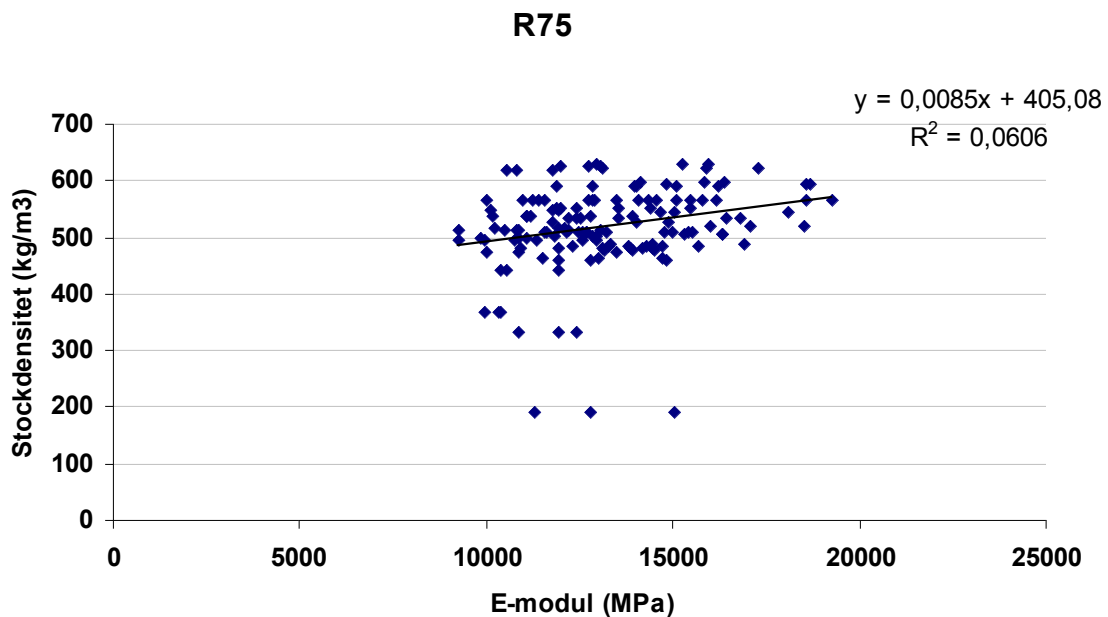
Mätningarna på R75, R100, R120 och R130, kallat första försöket, gav på grund av hopblandad indata nästintill obefintlig korrelation mellan E-modul och röntgenparametrarna. Ett andra försök gjordes med R70. För att vara helt säker på ursprunget av plankorna lades plankorna 1-2-3 (och så vidare) ihop för att matcha årsringar, kvistar och numreringen i ändarna och genom det verifiera att dem kom från samma stock. Data för R70 gav en satisfierande modell. Efter att det visat sig för R70 att hopläggning av plankorna var nödvändigt för att säkerställa att plankorna verkligen kom från samma stock kunde data för R100 ur första försöket användas, efter att plankorna passats ihop, för att ta fram en god modell. En skillnad i E-modul mellan inner- och ytterplankor upptäcktes under egenfrekvens testningen (se tabell 2).

5.1 Första försöket

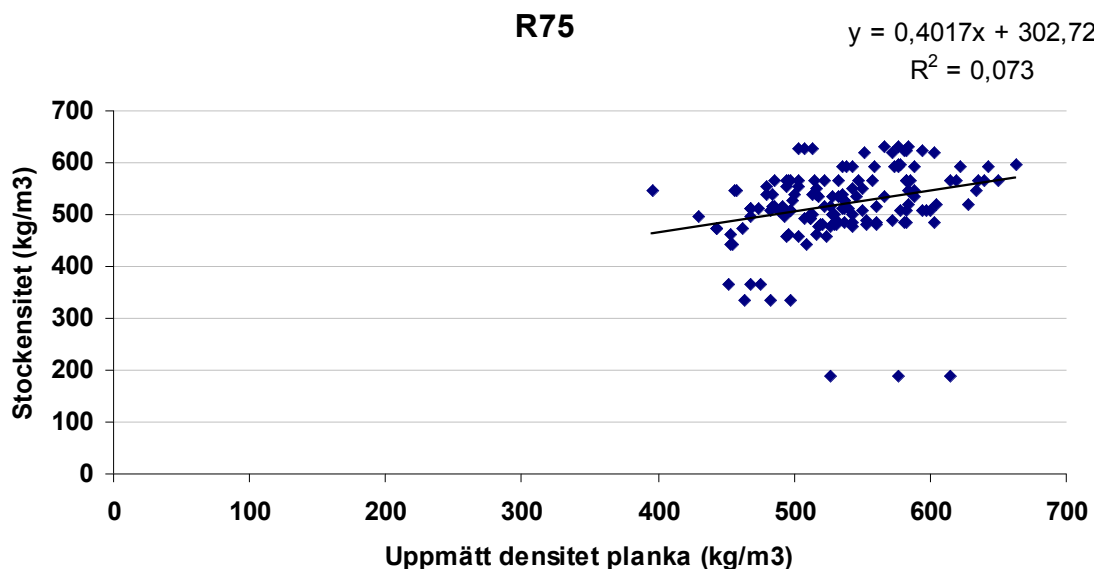
I det första försöket provsågades ca 50 stockar ur fyra virkesklasser. De testade virkesklasserna var R75, R100, R120 och R130 den första virkesklassen sågades med 3x sågmönster och de tre sista med 4x sågmönster. Efter sågning och mätning sorterades materialet i Excel och förbereddes för import till Simca-P där det analyserades. Varje stockklass behandlades separat i Simca-P för att hitta eventuella skillnader mellan de olika klasserna.

5.1.1 Resultat från första försöket; R75

PLS modellen som togs fram i Simca för R75 hade ett R2 värde på 0,39 och Q2 värde på 0,28. Medelfelet för modellen är 1743 MPa. I figur 1 är kärnvedsdensiteten för varje stock plottad mot den beräknade E-modulen. R2 värdet visar att korrelationen är nära obefintlig. Figur 2 visar stockens kärnvedsdensitet plottad mot densiteten i varje plankor och även här är korrelationen nästintill obefintlig. Modellerna för R100, R120 och R130 beter sig på samma sätt.



Figur 1. Korrelation mellan den i Kvalitet On-Line uppmätta kärnvedsdensiteten för stocken och den beräknade E-modulen för plankorna. Den dåliga korrelationen beror på felaktig indata.



Figur 2. Jämförelse mellan den i Kvalitet On-Line uppmätta kärnvedsdensiteten för stocken och den uppmätta densiteten för plankorna. Ingen korrelation på grund av hopblandat indata.

5.2 Andra Försöket

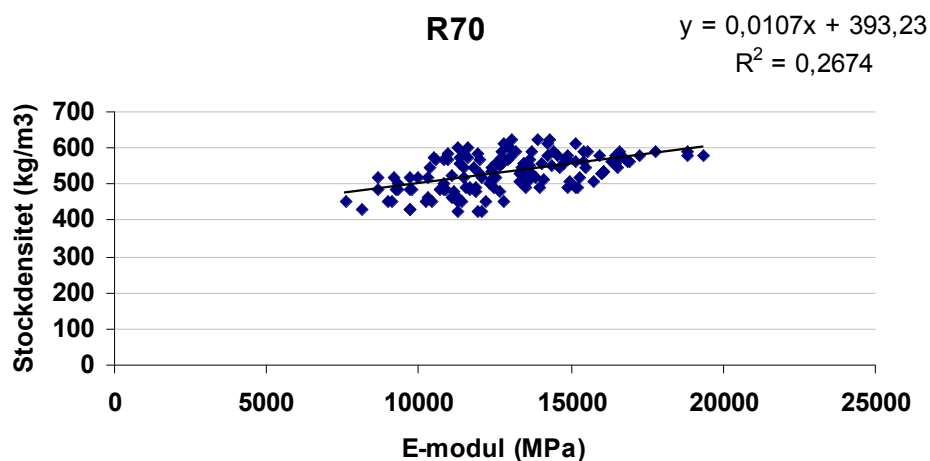
En andra provsågning genomfördes då den första inte gav ett tillfredställande resultat. Virkesklassen R70 användes till den andra provsågningen. Stockarnas längd mättes manuellt innan de mättes automatiskt i timmersorteringen. Längden för varje plankor mättes även manuellt utöver automatmätningen från Boardmaster i råjusteringen. Medelfuktkvoten uppmätt med både resistansmätaren och torrviktsprover var 12,8 %. R100 från första mätningen kunde användas efter att det verifierades att rätt plankor kom från rätt stock. Efter data justerats kunde en ny modell för R100 tas fram.

5.2.1 R70

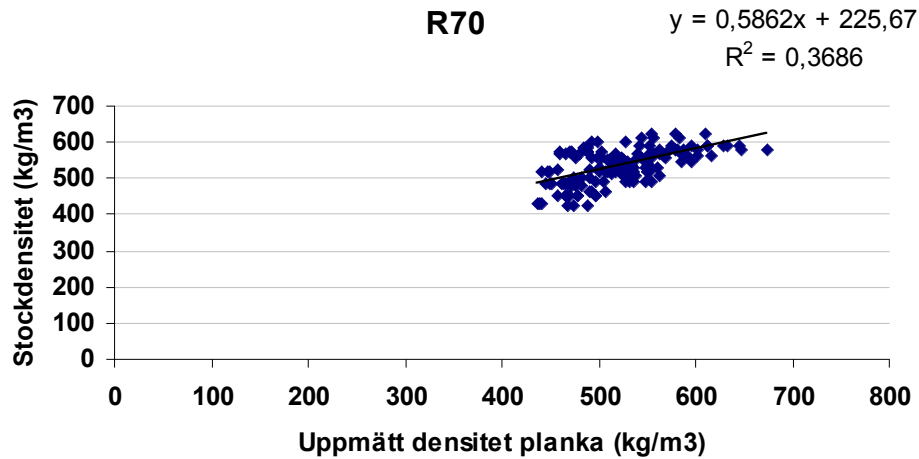
Simca modellen som togs fram för R70 gav ett R2 värde på 0,61 med ett Q2 värde på 0,55. Modellens medelfel var 1525 MPa och det predikterade medelfelet var 1538 MPa.

I figur 3 ser man en korrelation mellan stockens kärnvedsdensitet och E-modulen hos plankorna.

Figur 4 visar stockens kärnvedsdensitet plottad mot den uppmätta densiteten i plankorna, med en god korrelation.



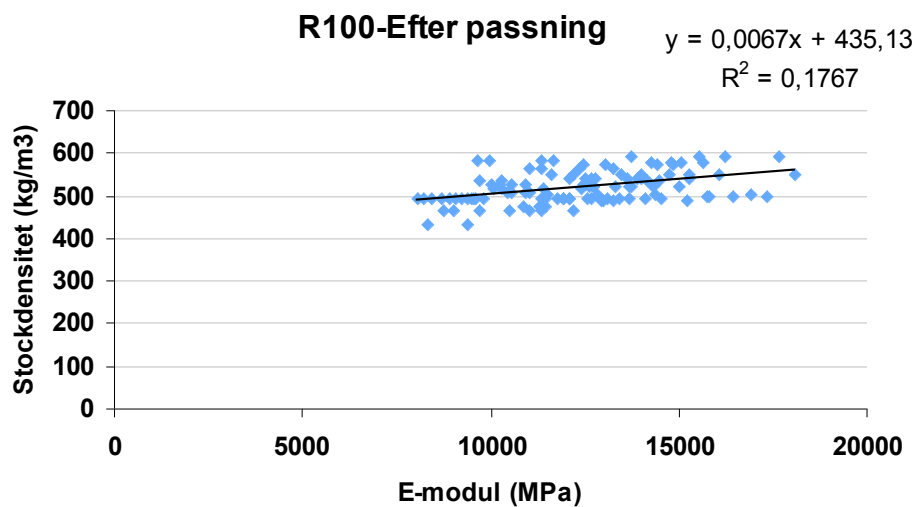
Figur 3. Korrelation mellan den i Kvalitet On-Line uppmätta kärnvedsdensiteten för stocken och den beräknade E-modulen för plankorna.



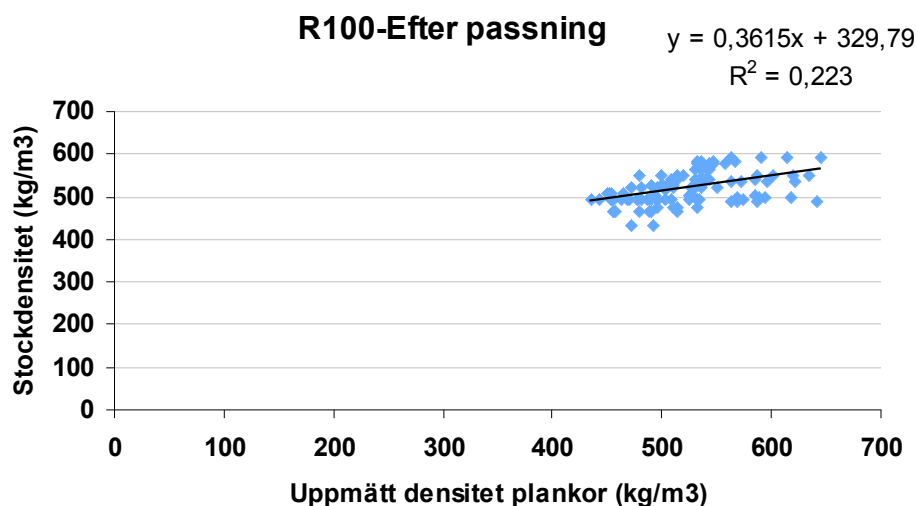
Figur 4. Jämförelse mellan den i Kvalitet On-Line uppmätta kärnvedsdensiteten för stocken och den uppmätta densiteten för plankorna.

5.2.2 R100

Den nya modellen gav ett R2 värde på 0,68 och Q2 för modellen är 0,61. Medelfelet för modellen är 1264 MPa och det predikterade medelfelet för modellen är 1486 MPa. Figur 5 och 6 visar att det finns en svag korrelation mellan både stockens kärnvedsdensitet och E-modul samt mellan stockens kärnvedsdensitet och plankornas densitet.



Figur 5. Korrelation mellan den i Kvalitet On-Line uppmätta kärnvedsdensiteten för stocken och den beräknade E-modulen för plankorna.

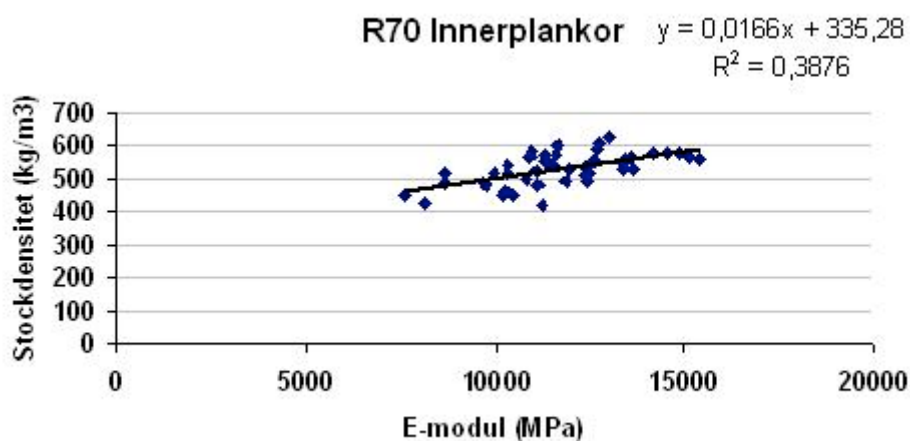


Figur 6. Jämförelse mellan den i Kvalitet On-Line uppmätta kärnvedsdensiteten för stocken och den uppmätta densiteten för plankorna.

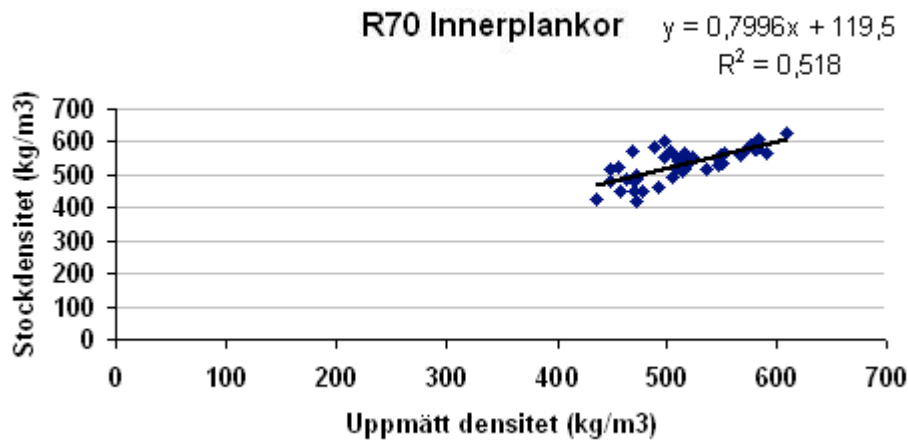
5.2.3 R70 Innerplankor

Efter att ha skiljt på inner- och ytterplankorna gjordes separata modeller för varje sort. Modellen för R70-Innerplankor hade ett R2 värde på 0,64 med ett Q2 värde på 0,57 samt medelfel på 1106 MPa och ett predikerat medelfel på 940 MPa.

Modellen för R70-ytterplankor gav ett R2 värde på 0,63 och Q2 värde på 0,54. Både medelfelet och det predikerade medelfelet är 1384 MPa. Figur 7-10 visar på en god korrelation mellan både stockens kärnvedsdensitet – uppmätt densitet och stockens kärnvedsdensitet – E-modul.

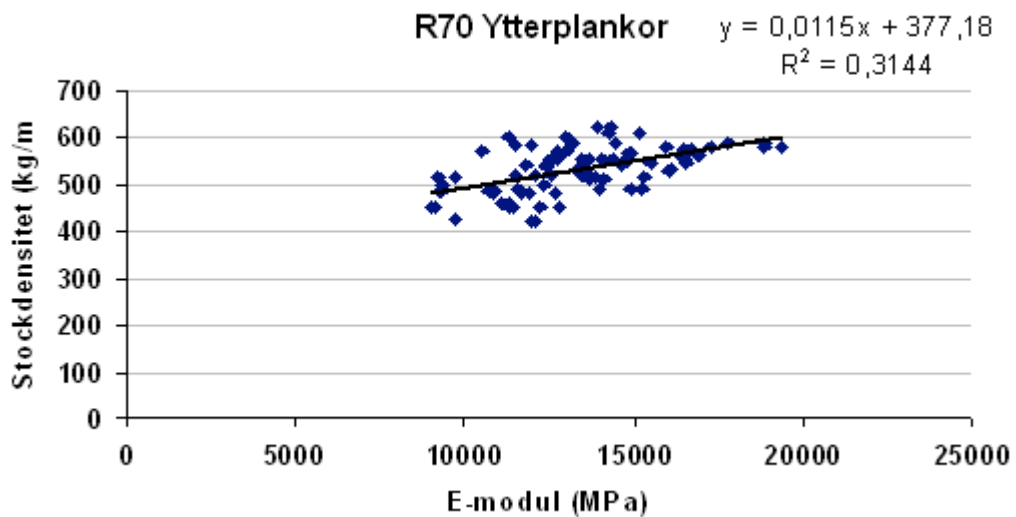


Figur 7. Korrelation mellan den i Kvalitet On-Line uppmätta kärnvedsdensiteten för stocken och den beräknade E-modulen för plankorna.

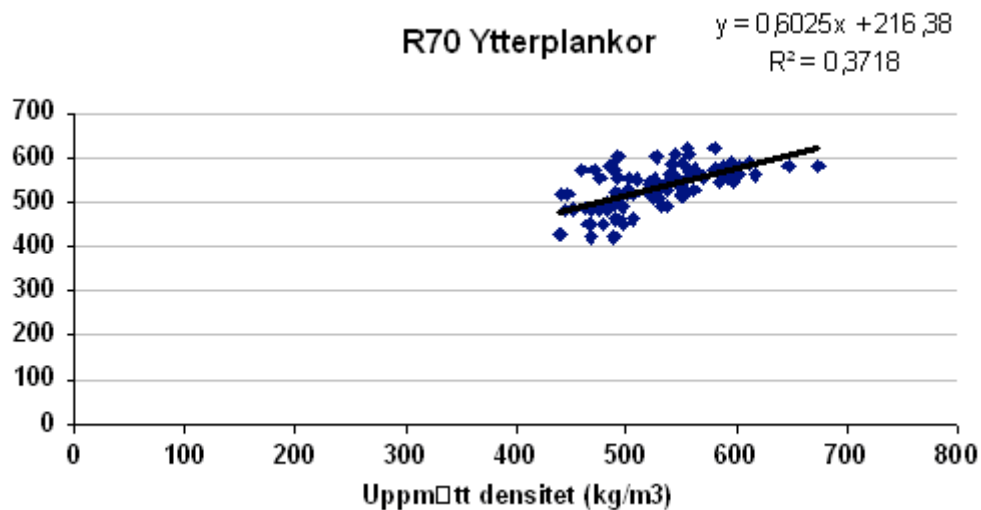


Figur 8. Jämförelse mellan den i Kvalitet On-Line uppmätta kärnvedsdensiteten för stocken och den uppmätta densiteten för plankorna.

5.2.4 R70 Ytterplankor



Figur 9. Korrelation mellan den i Kvalitet On-Line uppmätta kärnvedsdensiteten för stocken och den beräknade E-modulen för plankorna.

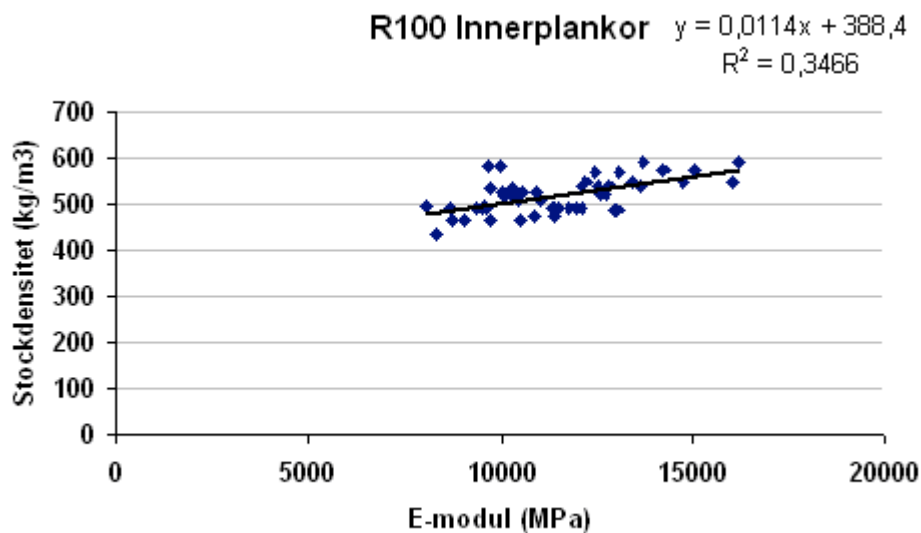


Figur 10. Jämförelse mellan den i Kvalitet On-Line uppmätta kärnvedsdensiteten för stocken och den uppmätta densiteten för plankorna.

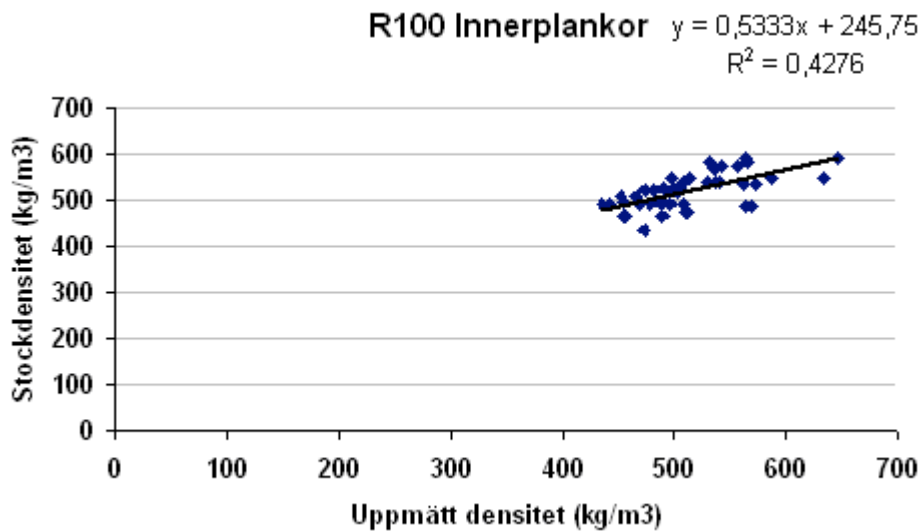
5.2.5 R100 Innerplankor

PLS modellen gav ett R2 värde på 0,78 och Q2 värde på 0,70. Medelfelet är 979 MPa och det predikterade medelfelet är 999 MPa

Figur 11 och 12 visar att korrelation finns mellan densiteten och E-modul samt uppmätt densitet.



Figur 11. Korrelation mellan den i Kvalitet On-Line uppmätta kärnvedsdensiteten för stocken och den beräknade E-modulen för plankorna.



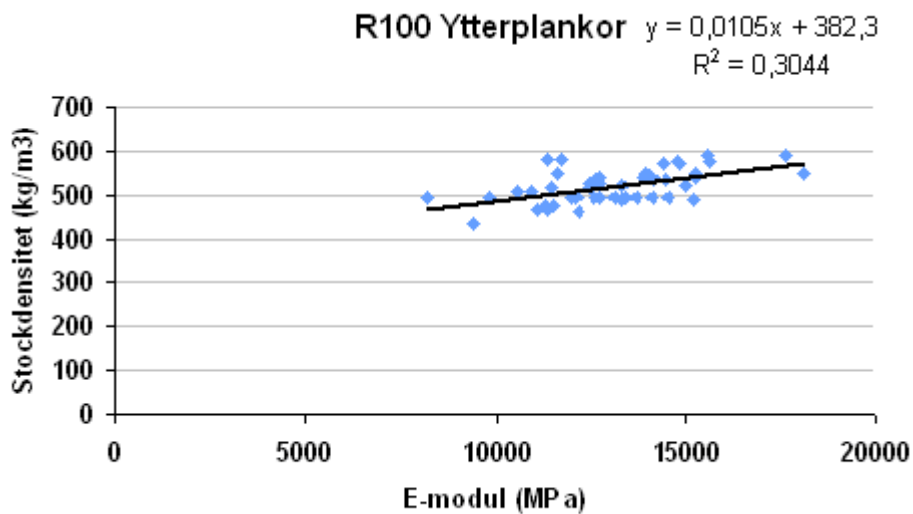
Figur 12. Jämförelse mellan den i Kvalitet On-Line uppmätta kärnvedsdensiteten för stocken och den uppmätta densiteten för plankorna.

5.2.6 R100 Ytterplankor

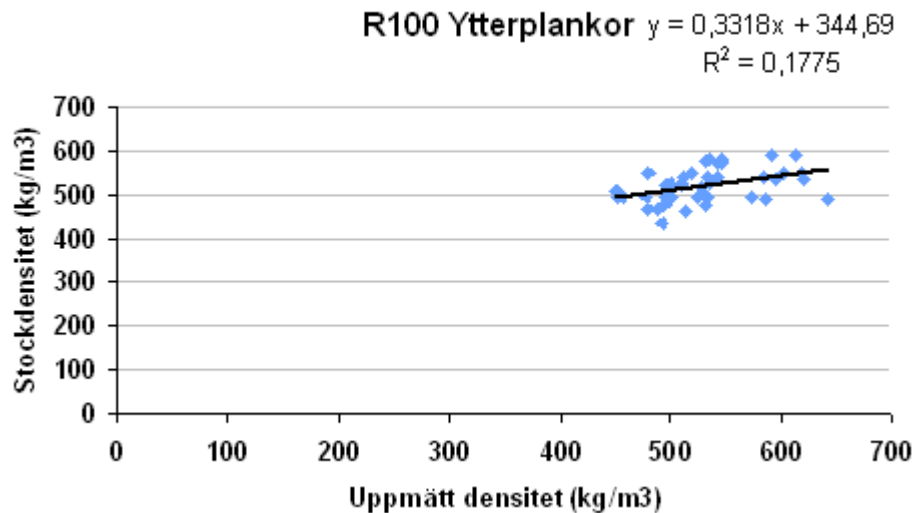
PLS modellen för R100 ytterplankor har R2 värde på 0,76 med ett Q2 värde på 0,71.

Medelfelet för modellen är 1031 MPa och det predikterade medelfelet är 904 MPa.

Figur 13 visar på en god korrelation mellan stockens kärnvedsdensitet och E-modul, i figur 14 ser man att stockens kärnvedsdensitet och den uppmätta densiteten har svag korrelation.



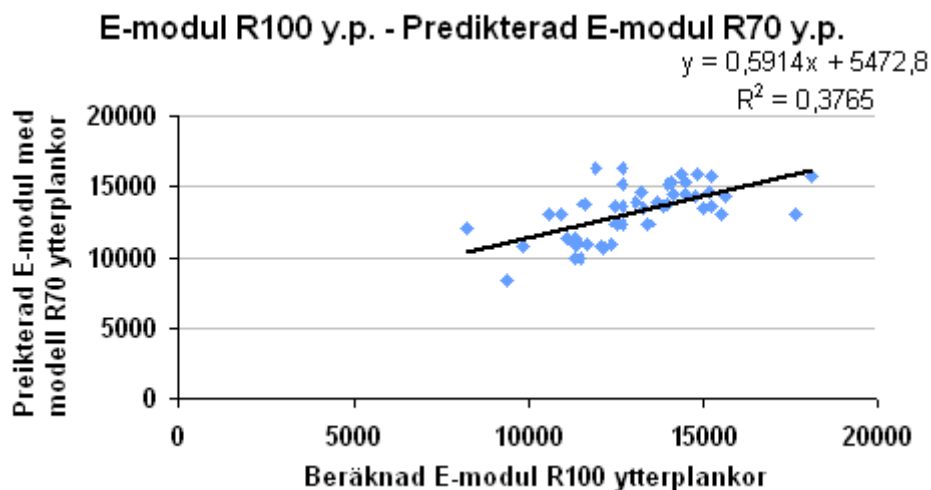
Figur 13. Korrelation mellan den i Kvalitet On-Line uppmätta kärnvedsdensiteten för stocken och den beräknade E-modulen för plankorna.



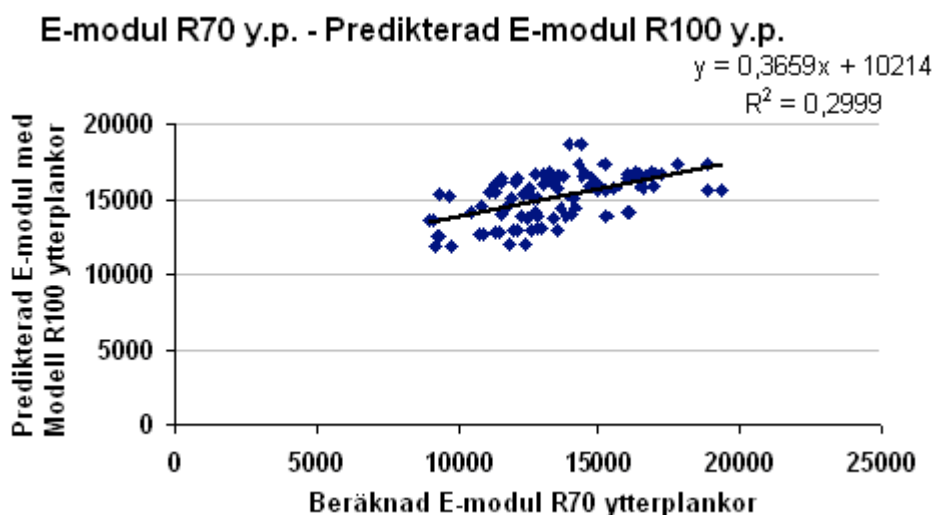
Figur 14. Jämförelse mellan den i Kvalitet On-Line uppmätta kärnvedsdensiteten för stocken och den uppmätta densiteten för plankorna.

5.3 Test av modellerna mot annan virkesklass

För att undersöka om modellerna för ytterplankor är allmängiltig beräknades E-modulen för ytterplankor från R100 med modellen för R70 ytterplankor och plottades mot den beräknade E-modulen och vice versa för ytterbrädor från R70. Figur 15 och 16 visar på en dålig korrelation då man predikterar E-modul med en modell baserad på mätdata från en annan virkesklass och man kan dra slutsatsen att det är för stor skillnad mellan 3x och 4x sågning för att modellerna ska vara allmängiltiga.



Figur 15. Den beräknade E-modulen för ytterplankor från timmerklassen R100 plottad mot de med modellen för R70 ytterplankor predikterade värdena för R100.



Figur 16. Den beräknade E-modulen för ytterplankor från timmerklassen R70 jämfört mot de med modellen för R100 ytterplankor predikterade värdena för R70.

5.4 Sorteringsresultat

För att avgöra vilken modell som sorterar bäst användes de framtagna modellerna på stockdata. Som tröskelvärde för sorteringen har E-modulvärdet för C30 använts (12000 MPa) samt medelfelet för varje modell (se tabell 1). Det är viktigt att poängtera att sorteringsresultaten är beroende på tröskelvärdet, och att en ändring av det kommer att förändra fördelningen av plankor i sorteringsmodellen. Ett höjt tröskelvärde kommer att resultera i att färre godkända stockar sorteras ut men i gengäld får de sågade plankorna en högre E-modul. Analogt kommer ett sänkt tröskelvärde resultera i fler godkända stockar men lägre E-modul. De värden som är fetmarkerade i tabellerna (figur 17-22) är antalet stockar som sorteras korrekt av modellen. För att kontrollera om modellen sorterar bättre än en slumpmässig fördelning utfördes ett Pearson test i programmet JMP. Prob>ChiSq värdena för sorteringsmodellerna ligger mellan 0,03 -0,0001 vilket innebär att slumpen sorterar bättre än sorteringsmodellerna mellan 3 gånger på 100 till 1 gång på 10000 (Anon. 2002). Kontingenstabeller som visar Prob>ChiSq värdena finns i Appendix 2. Modellen för R70 innerplankor sorterar enbart ut stockar som har uppfyllt tröskelvärdet, men missar samtidigt 70 % som uppfyller tröskelvärdet. Modellen är bra om man vill vara säker på att inte få med undermåliga stockar men det innebär även att väldigt mycket råvara kommer att bli utsorterat. Modellen för R70 ytterplankor fångar nästan upp alla stockar över tröskelvärdet men även en fjärdedel av stockar under det valda tröskelvärdet. Modellen nyttjar råvaran bättre men ger en större spridning av E-modulen. Modellen för R100 ytterplankor sorterar flest stockar rätt och fångar även upp flest rätt klassade stockar men fångar upp en fjärdedel stockar som inte klarar av tröskelvärdet.

5.4.1 Sorteringsresultat för R70 modeller

5.4.1.1 R70

Ett Pearson Chi square test visade att sorteringsmodellen var bättre än slumpen. Modellen för R70 fångade upp alla stockar som låg över tröskelvärdet men även 25 % av stockarna som ligger under tröskelvärdet.

	Sorteringsmodell	R70
Verkliga värden	>C30 + m.f.	<C30 + m.f.
>C30 + m.f.	9	0
<C30 + m.f.	10	30

Figur 17. Sorteringsresultat för R70. Modellen sorterar 39 stockar rätt och tio stockar som ligger under tröskelvärde sorterar felaktigt ut som C30.

5.4.1.2 R70 Ytterplankor

Även för denna modell kan man konstatera att den sorterar bättre än en slumpmässig sortering enligt Pearsons Chi square test. Nästan 90 % av stockarna över tröskelvärde fångas upp av modellen men även en fjärdedel av dem som ligger under tröskelvärde kommer att sorteras som C30.

	Sorteringsmodell	R70 ytterplankor
Verkliga värden	>C30 + m.f.	<C30 + m.f.
>C30 + m.f.	20	3
<C30 + m.f.	7	19

Figur 18. Sorteringsresultat för R70 ytterplankor. Modellen sorterar 39 stockar rätt, tre stockar som klarar C30 sorteras ut och sju stockar som inte uppfyller C30 sorteras ändå som C30.

5.4.1.3 R70 Innerplankor

Pearson Chi square test visar även här att modellen sorterar bättre än slumpen. Modellen fångar bara in 30 % av stockarna över tröskelvärde men inga av stockarna under tröskelvärde fångas av sorteringsmodellen.

	Sorteringsmodell	R70 innerplankor
Verkliga värden	>C30 + m.f.	<C30 + m.f.
>C30 + m.f.	8	21
<C30 + m.f.	0	20

Figur 19. Sorteringsresultat för R70 innerplankor. Modellen sorterar 28 stockar rätt och 21 stockar som uppfyller tröskelvärde missas av modellen.

5.4.2 Sorterings resultat för R100 modeller

5.4.2.1

Pearsons test visar att modellen sorterar bättre än slumpen. Modellen fångade upp alla av testmaterialets rätt klassade stockar, men även 70 % av de under tröskelvärde.

	Sorteringsmodell	R100
Verkliga värden	>C30 + m.f.	<C30 + m.f.
>C30 + m.f.	13	0
<C30 + m.f.	12	5

Figur 20. Sorteringsresultat för R100. Modellen sorterar 18 stockar rätt och tolv stockar som inte klarar kravet sorteras ut som C30.

5.4.2.2

Även modellen för R100 ytterplankor sorterar bättre än en slumpmässig sortering. Över 90 % av stockarna som har mätts in som C30 fångar modellen upp. Av de underklassade stockarna fångar modellen upp en fjärdedel.

	Sorteringsmodell	R100 ytterplankor
Verkliga värden	>C30 + m.f.	<C30 + m.f.
>C30 + m.f.	13	1
<C30 + m.f.	4	12

Figur 21. Sorteringsresultat för R100 ytterplankor. Modellen sorterar 25 stockar rätt, en stock som uppfyller kravet sorteras ut och fyra som inte uppfyller kravet kommer sorteras som C30.

5.4.2.3

Även för denna modell kan man konstatera att den ger ett bättre resultat än en slumpmässig sortering. Den fångar dock bara upp hälften av stockarna som ska sorteras som C30 men den fångar bara 5 % felaktiga stockar.

	Sorteringsmodell	R100 innerplankor
Verkliga värden	>C30 + m.f.	<C30 + m.f.
>C30 + m.f.	7	7
<C30 + m.f.	1	15

Figur 22. Sorteringsresultat för R100 innerplankor. Modellen sorterar 22 stockar rätt, sju stockar som uppfyller kravet för C30 sorteras ut och en stock som inte klarar C30 kravet kommer att sorteras ut som C30.

6 Diskussion/slutsatser

6.1 Diskussion

Efter resultaten från de första försöken hade behandlats i Simca-P var det tydligt att mätdatat inte stämde. Ett andra försök startades och den här gången mättes längden manuellt som även mäts automatiskt i timmerintaget och av Boardmaster i råjusteringen. Det visade sig under det första försöket att längderna skiljde sig en del mellan 3D-mätamen och planklängderna från Boardmaster. Detta ledde till problem vid sammanställningen av data då plankorna ibland bytte plats i elevatorerna mellan sågen och råjusteringen. När flera stockar av samma längd sönderdelades efter varandra kunde plankorna sinsemellan blandas ihop i elevatorerna vilket påverkar datat negativt. Men den viktigaste skillnaden mellan försöken var verifieringen av plankor-stock som skedde under frekvens mätningarna. De tre plankorna som sågats ur varje stock lades mot varandra för att finna numreringen som fanns på varje stocksida, även kvistarnas utseende hjälpte till att säkerställa att plankorna kom från rätt stock.

Det andra försöket var inte med i planeringen för projektet och skedde i slutfasen av det här examensarbetet. Men då det visade sig ge ett väldigt gott resultat att lägga ihop plankorna till ”ursprungsstocken” för verifiering så kontrollerades även R100 från det första försöket. Vad som förmodligen var ett skrivfel i Boardmaster gjorde att efter de första 40 plankorna försvann en plankor vilket innebar att en plankor ur varje stock blev förskjutet till nästkommande stock i rådatat. Efter den upptäckten kunde modellen för R100 förbättras avsevärt. Tyvärr finns det inte tid inom ramarna för det här examensarbetet att gå igenom plankorna i R75, R120 och R130 då det är ett väldigt tidskrävande arbete. Man kan anta att modellerna för dem skulle gå att förbättra om man hittar stocknumreringen genom att lägga samman plankorna.

En intressant upptäckt gjordes under frekvensmätningarna, innerplankan (eller innerplankorna för 4x sågning) hade ofta en något lägre frekvens. Så alla innerplankor markerades i rådatat. Då E-modulen hade beräknats kunde man även då se en skillnad mellan inner- och ytterplankorna. Tabell 2 (sida III) visar medel E-modulen för ytterplankorna respektive innerplankorna hos R70 och R100, ytterplankorna har i båda fallen 14 % högre E-modul. Kliger et al. fann att en plankor nära barken har 30 procent högre E-modul än plankan närmast mörgen (Kliger et al. 1998). En annan studie av Kliger et al. visar också på en avtagande E-modul ju närmare mörgen man kommer. Dem fann att årsringsbredden var den viktigaste parametern för det beteendet. Båda studierna var gjorda på gran virke.

Efter att ha provat modellerna på det insamlade datat ser man att modellerna för ytterplankor ger flest rätt sorterade stockar och fångar även upp flest stockar som ligger över tröskelvärde. Detta beror på att medelfelet är lägre för modellerna där man skiljer på ytter- och innerplankor.

I ett första försök implementerades modellen för R70 ytterplankor i produktionen på Munksund. Med den modellen får man störst volym som sorteras ut till önskad hållfasthet. Varje stocks röntgendata måste uppfylla ett tröskelvärde och det tröskelvärde kommer att bli lägre för modellen med ytterplankor vilket innebär att fler stockar kommer sorteras som R70. Tröskelvärde är den önskade E-modulen plus medelfelet för modellen.

6.2 Felkällor och Förbättrings idéer

För att underlätta märkningen av stockarna skulle man kunna såga stockändarna rena för att med större säkerhet kunna avläsa numreringen. En del stockar var missfärgade av lera vilket kunde göra det svårt att avläsa numreringen. Stockarna märktes med sprayfärg och det kunde ibland vara svårt att komma åt att skriva på stockarna då de låg bredvid varandra på timmerplanen. Att använda en stämpeldyna skulle också ge en större säkerhet vid avläsningen, med sprayfärgen kunde det rinna så mycket att en del siffror blev svåra att tyda.

Om man väntar med att släppa in en ny stock i sågen tills den förra har passerat Boardmaster i råjusteringen kan man garantera att det inte sker någon hopblandning. Men då alla stockar har sågats under luncherna för att inte störa produktionen är det inte säkert att det skulle kunna köras så långsamt.

Modellerna skulle troligtvis kunna förbättras om man använde sig av en destruktiv testmetod av E-modulen. Det skulle ge den verkliga E-modulen istället för en skattning av den. Men att testa med 4-punkts böjtest är väldigt tidskrävande och innebär därmed även en högre kostnad.

Facit, det vill säga den uppmätta E-modulen är bestämd med egenfrekvensmätning, och är ju i sig en skattning av E-modulen. Säkerheten i metoden har ett förklaringsvärde på 0,6 (Lycken 2009) och den osäkerheten kommer att influera modellens förmåga att prediktera E-modul.

6.3 Förslag på framtida arbeten

Det vore intressant att studera uppväxtplatserna för timret som gav sänkningen i hållfasthet som föranledde detta examensarbete för att se om man kan därifrån dra några slutsatser om anledningen till den lägre E-modulen på virket.

Att para ihop plankorna till stockarna på virkesklasserna som inte gav någon modell är nödvändigt för att kontrollera om det räcker med en modell för 3x sågning och en för 4x sågning eller om det krävs olika modeller för de olika timmerklasserna med samma sågmönster.

Skillnaden mellan E-modul hos inner- och ytterplankor är intressant och bör studeras mer.

6.4 Slutsatser

Det kanske mest intressanta av resultaten som togs fram var skillnaden i E-modul mellan innerplankorna och ytterplankorna där ytterplankorna hade i genomsnitt nästan 15 % högre E-modul än innerplankorna. Skillnaden i E-modul kan nog härledas till juvenilveden i innerplankorna. Det går inte att använda modellen som är gjord på data från R70 för att prediktera R100 eller vice versa, detta kan bero på att den ena är 3x sågad och den andra är 4x sågad. Modellerna har implementerats vid SCA Munksund och de första indikationerna tyder på en mindre spridning av E-modulen hos de sågade plankorna.

Referenser

Anon. (2000). *Kompendium i virkesmätning Del VIII Automatmätning*.
www.virkesmatningsradet.org hämtad 09-06-09

Anon. (2002). *Introductory Guide – JMP The Statistical Discovery Software*. ISBN 1-59047-070-2

Anon. (2009). *Sågverkstjänster*.
<http://www.sp.se/SV/INDEX/SERVICES/SAWMILL/Sidor/default.aspx> hämtad 09-11-17

Brännström, M., (2009). *Integrated strength grading*. Doktorsavhandling Luleå Tekniska Universitet.

Eriksson, L., Johansson, E., Kettaneh-Wold, N., Trygg, J., Wikström, C., Wold, S. (2006) *Multi- and Megavariate Data Analysis Part 1 Basic Principles and Applications*. ISBN-10: 91-973730-2-8 ISBN-13: 978-91-973730-2-9

European standard EN338:2003:E. Structural timber – Strength classes.

Grundberg, S., Grönlund, A. (1995) *The Development of a Log-scanner for Scots Pine*. 2nd International Workshop/Seminar on Scanning and Image Processing on Wood.

Hanhijärvi, A.; Ranta-Maunus A., Turk, G. (2005) *Potential of strength grading of timber using combined measurement techniques*. Report of the Combigrade-project – phase 1
<http://www.vtt.fi/publications/> hämtad 09-06-09

Hanhijärvi, A.; Ranta-Maunus A. (2008). *Development of strength grading of timber using combined measurement techniques*. Report of the Combigrade-project – phase 2
<http://www.vtt.fi/publications/> hämtad 09-06-09

Kliger, I. R., Perstorper, M., Johansson, G., - Pellicane P. (1995) *Quality of timber products from Norway spruce*. Wood Science and Technology 29 (6) pp. 397-410.

Kliger, I. R., Perstorper, M., Johansson, G. (1998) *Bending properties of Norway spruce timber. Comparison between fast- and slow-grown stands and influence of radial position of sawn timber*. Ann. Sci. For. 55. pp. 349-358.

Lycken, A., Oja, J., Lundahl, C. *Kundanpassad optimering i såglinjen - Virkeskvalitet On-line*. SP Rapport 2009:05

Oja, J., Kallsner, B., Grundberg, S. (2004). *Predicting the strength of sawn wood products: A comparison between x-ray scanning of logs and machine strength grading of lumber*. Forest Products Journal, 55:9, 55-60.

Ohlsson, S., Perstorper, M. (1992). *Elastic wood properties from dynamic tests and computer modelling*. Journal of structural Engineering 118 (109): 2677-2690

Ross, R., McDonald, K., Green, D., Schad, K. (1997). *Relationship between log and lumber modulus of elasticity*. Forest Products Journal, 47:2, 89-92.

Schajer, G. (2001) Lumber strength grading using x-ray scanning. Forest Products Journal, 51:1, 43-50.

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.

Skog, J. (2009) *Gångvägskompenserad Röntgen*. Workshop Munksund 2009-04-29

http://www.ltu.se/polopoly_fs/1.48413!johan%20skog%20-%20karnvedsmatning%20gangvagskomp.pdf hämtad 09-08-12

Wold, S., Eriksson, L., Trygg, J., Kettaneh, N. (2004) *The PLS method -- partial least squares projections to latent structures-- and its applications in industrial RDP (research, development, and production)*.

http://www.umetrics.com/pdfs/events/prague%200408%20_%20PLS_text_wold.pdf hämtad 09-11-06

Zwick.co.uk http://www.zwick.co.uk/images/biege_la.jpg hämtad 09-08-12

Appendix 1

PLS modeller för Kvalitet On-Line

Var ID (Primary)	M64.Coeff[3](e-mod)
\$constant	-595,044
Par_17	-0,00889819
Par_36	30,8709
Par_59	-0,516696
Par_66	0,0183302
Par_68	-0,231603
Par_95	0,00927665
Par_107	0,0428645
Par_108	-0,0208281
Par_113	0,0695532
Par_116	-0,0312518
Par_139	5,95096

Var ID (Primary)	M10.Coeff[3](e-mod)
\$constant	10715,8
Par_0	-0,0145275
Par_16	0,00299139
Par_17	0,00319193
Par_18	0,000955821
Par_22	0,0030391
Par_23	0,0100069
Par_37	-0,0375591
Par_45	-1,7713
Par_59	-0,130876
Par_66	0,00947484
Par_68	-0,0776015
Par_84	0,241441
Par_85	0,00338421
Par_86	-0,253637
Par_87	-0,488304
Par_94	0,00043564
Par_95	0,000609164
Par_97	0,0261736
Par_99	0,00379055
Par_101	0,00754934
Par_107	-0,0124649
Par_108	-0,0393102
Par_113	0,00992874
Par_114	-0,0149335
Par_116	-0,0230752
Par_127	0,0240724
Par_133	0,0138091
Par_139	0,69585
Par_141	1,63226
Par_150	8,88E-05

R2	0,61
Q2	0,55
RMSE (MPa)	1525
RMSEP (MPa)	1538
Modell	R70

	0,68
	0,61
	1264
	1486
	R100

Var ID (Primary)	M11.Coeff[2](e-mod)
\$constant	15781,8
Par_0	-0,0226404
Par_16	0,0036256
Par_17	0,00208873
Par_18	0,00093966
Par_37	-0,0296654
Par_45	-1,55515
Par_59	-0,133087
Par_66	0,00990968
Par_68	-0,0684558
Par_83	-0,415979
Par_84	0,212305
Par_87	-0,52413
Par_95	0,00159598
Par_97	0,0267236
Par_107	-0,00943144
Par_108	-0,0355497
Par_114	-0,0241632
Par_116	-0,033667

Var ID (Primary)	M10.Coeff[2](e-mod)
\$constant	10243,5
Par_0	-0,0223057
Par_16	0,00175857
Par_17	0,00299893
Par_18	0,000722751
Par_22	0,00363344
Par_37	-0,0378867
Par_59	-0,0967556
Par_66	0,0107286
Par_68	-0,187923
Par_84	0,209793
Par_87	-0,474965
Par_94	0,00124102
Par_97	0,0169988
Par_107	-0,0101211
Par_108	-0,0221152
Par_114	-0,017989
Par_116	-0,0296529
Par_139	2,28393
Par_141	2,46719

R2	0,76
Q2	0,71
RMSE (MPa)	1031
RMSEP (MPa)	904
Modell	R100-Y.P.

	0,78
	0,7
	979
	999
	R100-I.P.

Var ID (Primary)	M22.Coeff[2](e-mod)
\$constant	7238,83
Par_36	13,1892
Par_45	-1,8585
Par_59	-0,289567
Par_66	0,00947488
Par_68	-0,0900286
Par_84	-0,366325
Par_85	-0,0243796
Par_114	-0,0147347
Par_116	-0,0237087
Par_139	1,70912

Var ID (Primary)	M10.Coeff[2](e-mod)
\$constant	5161,84
Par_0	0,0258023
Par_36	25,8075
Par_39	1,52452
Par_59	-0,453779
Par_66	0,0118561
Par_68	-0,166678
Par_86	-0,440066
Par_95	0,00312881
Par_114	-0,014086
Par_116	-0,0168056
Par_139	2,12436

R2	0,64
Q2	0,57
RMSE (Mpa)	1106
RMSEP (Mpa)	940
Modell	R70-I.P.

	0,63
	0,54
	1384
	1384
	R70-Y.P.

Appendix 2

Kontingens tabeller för sorteringsmodellerna

R70

Contingency Analysis of verkl. Uf By pred u.f

Mosaic Plot

Contingency Table

		verkl. Uf		
		0	1	
pred u.f	Count			
	Total %			
	Col %			
	Row %			
	Expected			
	Deviation			
	Cell Chi^2			
	0	30	0	30
		61,22	0,00	61,22
		75,00	0,00	
	100,00	0,00		
	24,4898	5,5102		
	5,5102	-5,5102		
	1,2398	5,5102		
1	10	9	19	
	20,41	18,37	38,78	
	25,00	100,00		
	52,63	47,37		
	15,5102	3,4898		
	-5,5102	5,5102		
	1,9576	8,7003		
	40	9	49	
	81,63	18,37		

Tests

	N	DF	-LogLike	RSquare (U)
	49	1	10,225527	0,4376

Test	ChiSquare	Prob>ChiSq
Likelihood Ratio	20,451	<,0001*
Pearson	17,408	<,0001*

Fisher's Exact Test

Exact Test	Prob	Alternative Hypothesis
Left	1,0000	Prob(verkl. Uf=1) is greater for pred u.f=0 than 1
Right	<,0001*	Prob(verkl. Uf=1) is greater for pred u.f=1 than 0
2-Tail	<,0001*	Prob(verkl. Uf=1) is different across pred u.f

R70 Ytterplankor

Contingency Analysis of verkl. Uf By pred u.f

Mosaic Plot

Contingency Table

		verkl. Uf		
		0	1	
pred u.f	Count			
	Total %			
	Col %			
	Row %			
	Expected			
	Deviation			
	Cell Chi^2			
	0	19 38,78 73,08 86,36 11,6735 7,32653 4,5983	3 6,12 13,04 13,64 10,3265 -7,3265 5,1981	22 44,90
	1	7 14,29 26,92 25,93 14,3265 -7,3265 3,7468	20 40,82 86,96 74,07 12,6735 7,32653 4,2355	27 55,10
		26 53,06	23 46,94	49

Tests

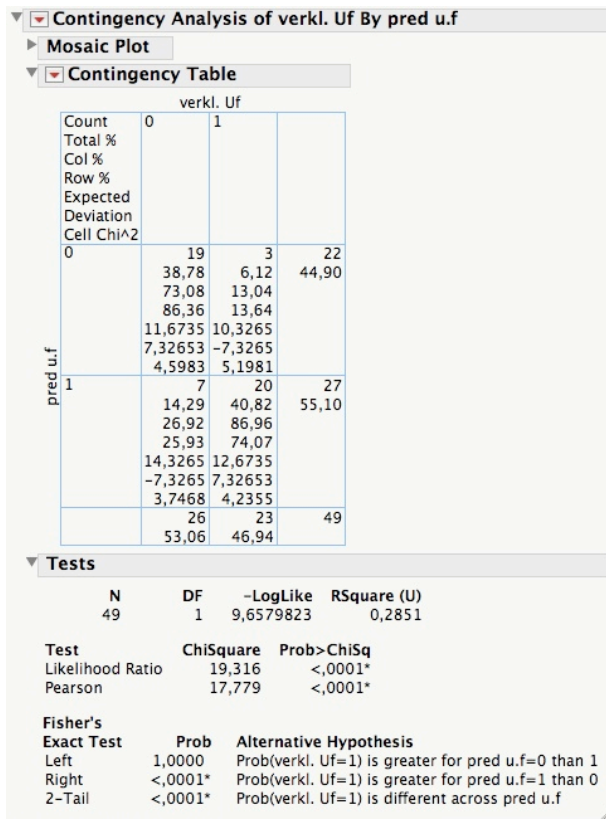
	N	DF	-LogLike	RSquare (U)
	49	1	9,6579823	0,2851

Test	ChiSquare	Prob>ChiSq
Likelihood Ratio	19,316	<,0001*
Pearson	17,779	<,0001*

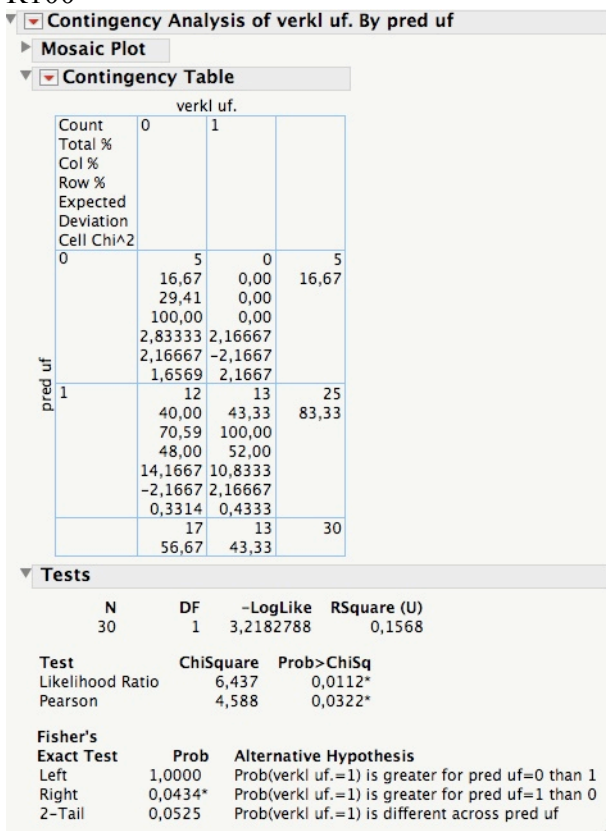
Fisher's Exact Test

Exact Test	Prob	Alternative Hypothesis
Left	1,0000	Prob(verkl. Uf=1) is greater for pred u.f=0 than 1
Right	<,0001*	Prob(verkl. Uf=1) is greater for pred u.f=1 than 0
2-Tail	<,0001*	Prob(verkl. Uf=1) is different across pred u.f

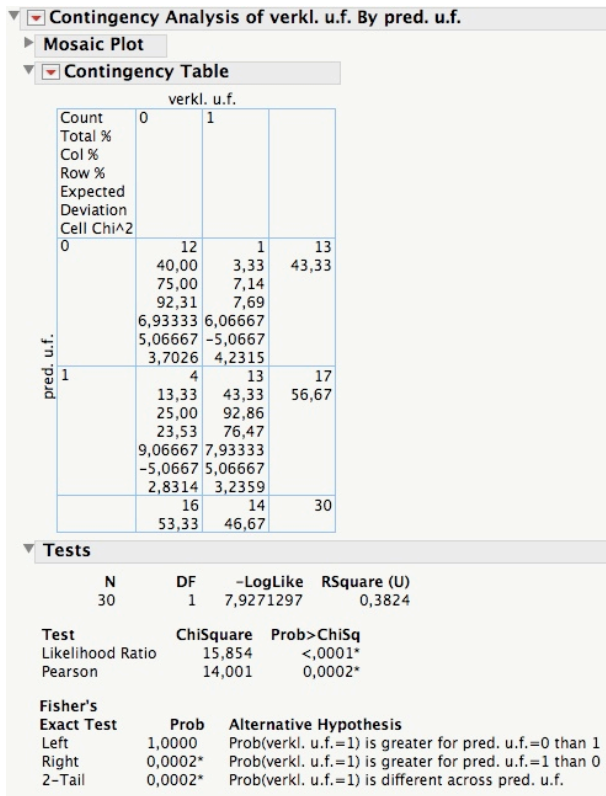
R70 Innerplankor



R100



R100 Ytterplankor



R100 Innerplankor

