



Norsk Treteknisk Institutt
The Norwegian Institute of
Wood Technology

RAPPORT



Årringer som uttrykk for tømmerkvalitet

Dr. ing. Wei Han og siv. ing. Håkon Toverød

Årringer som uttrykk for tømmerkvalitet.

Saksbehandler: Dr. ing. Wei Han og siv. ing. Håkon Toverød
Dato: 1994-12-15
Oppdragsgiver: Norsk Treteknisk Institutt
Kontaktperson: Carl Fr. Lindeman
Oppdragsgivers ref: Referat fra NTI styremøte 14. januar 1993.

Sammendrag

Prosjektet hadde til hensikt å finne fram til et system for måling av årringer i forbindelse med tømmermåling i trelastindustrien. I tillegg skulle man også se på sammenhengen mellom tømmerkvalitet og årringmønsteret.

Et synssystem bestående av linjekamera, belyningsanlegg og en PC med koblingselektronikk ble satt opp i laboratoriet. Målinger ble utført på stammeskiver av gran og furu.

Et orienterende skurforsøk ble utført på 60 stokker av gran og furu. Tømmeret ble målt av tømmermålingen og saget med 2 sentrumsplanker som ble sortert etter NS 3080 og Nordisk Tre. I tillegg ble stammeskiver målt både med synssystemet og manuelt.

En rekke sammenhenger mellom årringer og tømmerkvalitet ble testet. Svake direkte sammenhenger ble funnet, men det er sannsynligvis i sammenheng med andre, ytre kvalitetstrekk at årringmåling lettest kan tolkes.

Synssystemets nøyaktighet ble målt ved å sammenligne med manuelle målinger som hadde høy nøyaktighet. Trekk ved synssystemet viste lovende resultater, men det må legges mer arbeid i programvaren. Hovedproblemet syntes å være at kontrastene som leses er meget små. Høy oppløsning er nødvendig.

Prosjektet vil bli ført videre i samarbeid med Norsk Institutt for Skogforskning og Papirindustriens Forskningsinstitutt i prosjektet "Måling av tømmerkvalitet".

Stikkord: Tømmerkvalitet, årringer, maskinsyn.
Keywords: Log quality, annual rings, machine vision.

Summary

The objective of this project was to develop a system for measuring the annual ring pattern of logs and to study the relationship between log quality and ring pattern. A machine vision system consisting of a line-camera, lighting equipment and a PC was set up in the laboratory. Measurements were conducted on stem discs of Norway spruce and Scots pine.

A preliminary investigation was carried out by sawing 60 logs of Norway spruce and Scots pine. The logs were measured by log graders according to Norwegian standards for visual log grading. Thereafter the logs were sawn and the two central planks were graded in terms of Norwegian standard NS 3080 and the Nordic standard "Nordisk Tre". The annual ring pattern on stem discs cut from the logs was measured manually and with the vision system.

A series of relations were tested between annual rings and the log quality. Only weak direct correlation was found. When combined with other external characteristics in multiple regressions, correlations between log quality and annual rings were found.

The accuracy of the vision system was measured by comparing it with the highly accurate manual measurements. The testing showed promising results, but the control program must be improved. The main problem is recognised as resulting from the fact that ring contrast was very low. High measuring resolution is necessary.

The project will be continued in a co-operation with NISK (Norwegian Institute for Forestry) and PFI (Paper Research Institute) in the project "Measuring log quality".

Innhold

Sammendrag.....	3
Summary.....	4
Innhold.....	5
1. Mål og bakgrunn.....	7
2. Litteraturstudium.....	7
3. Automat for måling av årringer.....	9
3.1. Maskinvare.....	9
3.1.1. Linjekamera med A/D-kort for avbildning.....	9
3.1.2. Belysningsanlegg.....	11
3.2. Bildeanalyse.....	12
3.2.1. Analyseprinsipp og programstruktur.....	12
3.2.2. Kantdeteksjon og profilmåling.....	13
3.2.3. Grovanalyse.....	14
3.2.4. Detaljanalyse.....	15
4. Arbeidshypoteser og skurforsøk.....	16
4.1. Skurforsøk.....	16
4.2. Hypoteser om trelastkvalitet.....	17
4.3. Hypoteser om tømmerkvalitet.....	18
5. Resultat og diskusjon.....	19
5.1. Sammenhengen mellom tømmer- og trelastkvalitet.....	19
5.2. Testing av hypoteser om trelastkvalitet.....	20
5.3. Testing av hypoteser om tømmerkvalitet.....	21
5.4. Nøyaktigheten av automatisk årringmåling.....	22
6. Konklusjoner.....	23
7. Litteratur.....	25

1. Mål og bakgrunn.

Prosjektet har som mål utvikle et industrielt anvendbart system for måling av årringer som redskap for bedre kvalitetssortering av tømmer. Prosjektet bygger på erfaringene fra et tidligere prosjekt, "Automatisk årringmåling" (NTI-nr.: 511068), som studerte mulighetene for å bruke kamerasyn til å måle årringer. Som utvidelse av disse idéene skal prosjektet forbedre nøyaktigheten til målesystemet og undersøke sammenhengen mellom årringmønster og tømmerkvalitet.

Prosjektet er et internt forskningsprosjekt ved Norsk Treteknisk Institutt, foreslått og bevilget i instituttets styre 14. januar 1993. Styret har dessuten tjent som styringsgruppe. Prosjektet er finansiert gjennom medlemsavgifter og den generelle støtten som er gitt av Norges forskningsråd ved Norwood.

2. Litteraturstudium.

Årringtetthet er for de fleste treslag en indikasjon på virkesdensitet som gir underlag for vurdering av virkets mekaniske egenskaper. Årringmønsteret er en beskrivelse av treets oppvekst hvor man får et grovt inntrykk av kvistkranser og kvistmengde.

Type feil	Kvalitetsklasser		
	Spesial	Prima	Sekunda
Årringbredde	Jevne og minst 20 stk. i intervallet 2 til 8 cm fra marg i rotende.	Middel høyst 4 mm i toppende 2 cm fra marg og ut. Største årring 6 mm.	Middel høyst 6 mm i toppende 2 cm fra marg og ut. Største årring 10 mm.

*Tabell 1: Årringbredde og tømmerkvalitet.
Forskrift for måling av skogsvirke - mai 1990.
Annual ring width and log quality.*

At årringer ses på som en faktor med stor betydning for trevirkets kvalitet, er akseptert i norsk tretradisjon. I "Forskrift for måling av skogsvirke" [4] er årringbredde en av kvalitetsfaktorene som vist i tabell 1. Dette er ført videre i Norsk standard NS 3080 [5] som stiller de krav til årringbredde i styrkeklassene for konstruksjonslast som vist i tabell 2.

NS 3080 Virkesfeil	Kvalitetsklasser			
	T30	T24	T18	T12
Årringbredde	Middel høyst 4 mm. Enkeltring begrenset til 6 mm.	Middel høyst 6 mm. Enkeltring begrenset til 10 mm.		Ubegrenset

*Tabell 2: Årringbredde og trelastkvalitet ifølge NS 3080.
Annual ring width and lumber quality according to NS 3080.*

Sammenhengen mellom årringer og virkesegenskaper er ellers undersøkt i mange forskjellige sammenhenger. Ved hjelp av metoden dendrokronologi brukes årringmønsteret som et unikt "fingeravtrykk" som er typisk for treets voksested og den tidsperiode det levde. Dette brukes for å aldersbestemme trevirke funnet i historiske bygninger. Også innenfor klimatologi brukes årringmønstre som et uttrykk for klimavariasjon.

For vårt formål er det av interesse å se på hva årringmønsteret røper om individuell kvalitet for enkeltstokker. Sammenhengen mellom årringer og virkets egenskaper er blitt undersøkt og rapportert i flere forskningsarbeider.

Yang og Hazenberg [1] undersøkte sammenhengen mellom kjerne og yteved i *Pinus Banksiana*. De fant en ikke uventet lineær sammenheng mellom treets alder og ytevedens og kjernevedens utstrekning. Imidlertid viser de at treets yteved målt i antall årringer er konstant når treet er eldre enn 70 år.

Varmola [2] undersøkte noen faktorer som kunne påvirke årringbredden. Undersøkelsen viste at årringbredde hos furu var en funksjon av stammens brystdiameter, rotavsmalning, beliggenhet og densitet.

Nylinder [3] studerte forholdet mellom årringbredde, tømmerkvalitet og trelastkvalitet. Studiet viste at gjennomsnittlig årringbredde i en sone 2-4 cm fra margin var en viktig indikasjon for både tømmer- og trelastkvaliteten. Lineære sammenhenger ble observert mellom årringbredden og kvaliteten til stokkens sentrum-, side- og kantutbytte. Kvaliteten kunne uttrykkes som en funksjon av stokkens overflatejevnhet, avsmalning, toppdiameter og årringbredde.

Flere målemetoder er utviklet for laboratoriuundersøkelse av bore- og skiveprøver. Lenz & al. [6] utviklet en metode for automatmåling av virkesdensitet og årringbredde ved bruk av røntgendensitometri på boreprøver fra stående furu- og granbestand. Metoden identifiserte årringer og skilte mellom sommerved og vårved.

Canada's National Optics Institute sammen med the University of Quebec [7] utviklet et system, MacDendre, som er et kamerabasert interaktivt avbildings-system som kunne identifisere årringer for tresnitt og boreprøver.

Når det gjelder automatisk årringmåling på tømmerstokker ble en undersøkelse utført av Jonsson [8]. Et system basert på et 512x512-matrisekamera koblet til en PC målte margposisjon, antall årringer, årringbredde og endeflateprofil. Systemet hadde god nøyaktighet, spesielt for margens beliggenhet, men beregningstiden var lang.

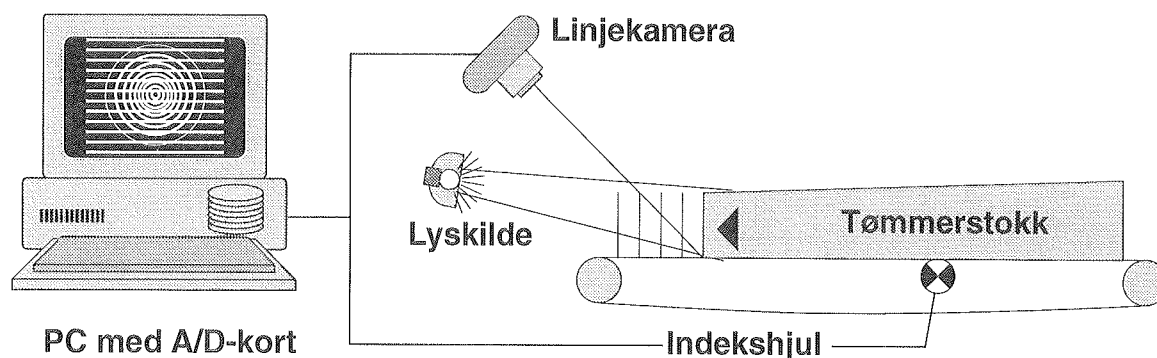
Han [9] benyttet maskinsyn til å måle årringer i et orienterende forsøk ved NTI. Systemet benyttet fourieranalyse til å plukke ut dominerende årringbredder fra kamerabildet.

Litteraturen viser at automatisk måling av årringer kan være mulig og at denne informasjonen i så fall forteller noe om kvaliteten på virket. Dette er utgangspunktet for den fortsatte studien av målesystemet for årringer.

3. Automat for måling av årringer.

Dagens industrielle anvendelse av kunnskap om årringer baserer seg på at årringene vurderes manuelt. Vurderingen er grov, men de viktige detaljene i årringmønsteret ikke tilgjengelige. Et automatisk målesystem må kunne måle detaljene i årringmønsteret. Dette vil gi mer informasjon tilgjengelig for vurderingen av tømmerets industrielle potensial.

3.1. Maskinvare.



Figur 1: Laboratoriesystem for årringmåling.
Laboratory set-up for measuring annual rings.

En prinsippsskisse for målesystemet som ble brukt i laboratoriet er skissert i figur 1. Systemet bestod av fire hovedelementer:

Delsystem	Fabrikat/ type
• Linjekamera med 1024 bildepunkter	Reticon/LC 0310
• A/D-kort for avbildning.	ComputerBoards inc./DAS 16-330
• Belysningsanlegg.	2 halogen fotolamper.
• PC med styreprogram.	
• Indekshjul som måler stokkens bevegelse.	

3.1.1. Linjekamera med A/D-kort for avbildning.

Et linjekamera brukes til avbildningen. Det som kjennetegner et slikt kamera er at sensoren (som tilsvarende film i et normalt kamera) består av en linje av separate, lysfølsomme dioder. Hvert bilde fra kameraet sendes ut som en serie av spenningspulser, en for hver diode. Disse signalene mottas av PC-en via en analog-til-digital omvandler (A/D-omvandler) som overfører analoge spenningspulser til digitale (tallmessige) gråtoneverdier. Hvert bilde fra kameraet kommer derfor til å bli representert i datamaskinen som en serie av gråtoneverdier, én for hver diode.

Kameraets oppløsning, det vil si hvor stor del av virkeligheten som representeres av hvert bildepunkt, er avgjørende for hvor små detaljer det går an å skille fra hverandre. Vårt kamera hadde 1024 bildepunkter. Et av de spørsmål

som må undersøkes er hvor god oppløsning som er nødvendig for å skille årringer fra hverandre.

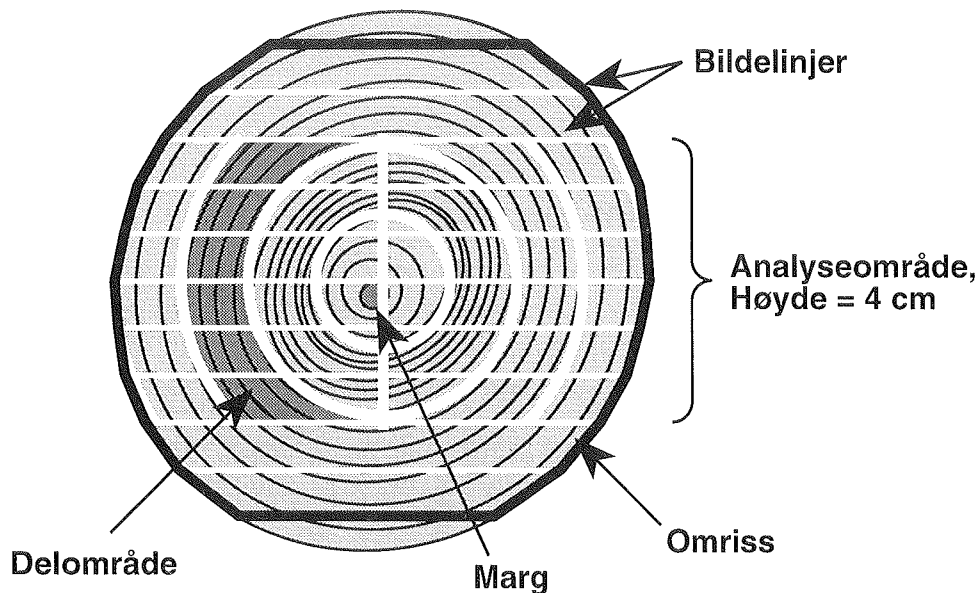
Avbildning med linjekameraet oppnås ved at stokken som avbildes beveger seg i synsfeltet slik at systemet kan sette sammen mange linjebilder til ett komplett bilde. Den nødvendige bevegelsen kan oppnås ved hjelp av sideveis eller langsgående transport. Begge transportmåtene har fordeler og ulemper som vist i tabell 3.

	Sideveis	Endveis
Fordeler	konstant oppløsning enkel avbildning enkel belysning	enkelt å avbilde begge ender enkelt å tilpasse produksjonanlegg
Ulemper	vanskelig å tilpasse produksjonsanlegg. vanskelig å avbilde begge ender	varierende oppløsning komplisert avbildning vanskelig belysning

*Tabell 3: Sammenligning mellom to transportmåter.
Comparing longitudinal and transverse transportation of logs.*

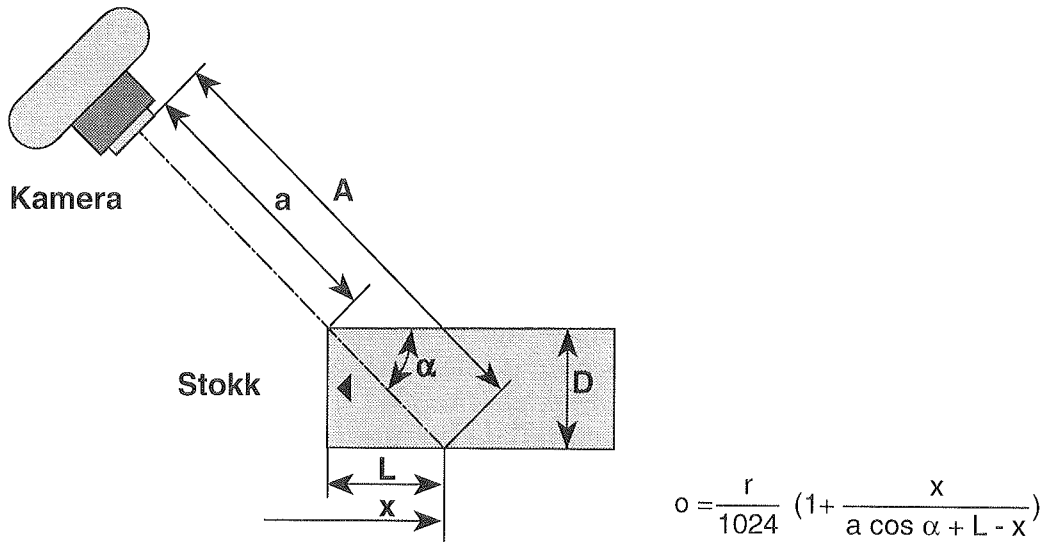
Avbildningsprinsippet er vist i figur 2. De hvite linjene representerer linjebilder. Disse brukes først til å finne fram til kantene for stokkflaten. Disse kantpunktene settes deretter sammen til et omriss for stokken. Dette omrisset inneholder flere detaljer enn man kan oppnå med målerammer.

Området fra 2 cm over til 2 cm under margen, brukes til å analysere årringer. Dette er det enkleste området for denne analysen, siden årringene er mest mulig stående. Området deles forøvrig inn i en rekke delområder. Årringmønsteret angis med gjennomsnitt årringbredde for hvert delområde.



*Figur 2. Prinsipp for avbildning og resultatpresentasjon.
Principle for imaging and presentation of results.*

Under lengdevegs transport oppstår en del problemer i forbindelse med avbildningen som vist i tabell 3. Et av problemene er at fokusavstanden varierer mellom avstandene A og a som vist i figur 3. Dersom kameraet står nær objektet slik at A blir mye større enn a , får vi problemer med å få skarpt bilde i hele intervallet.

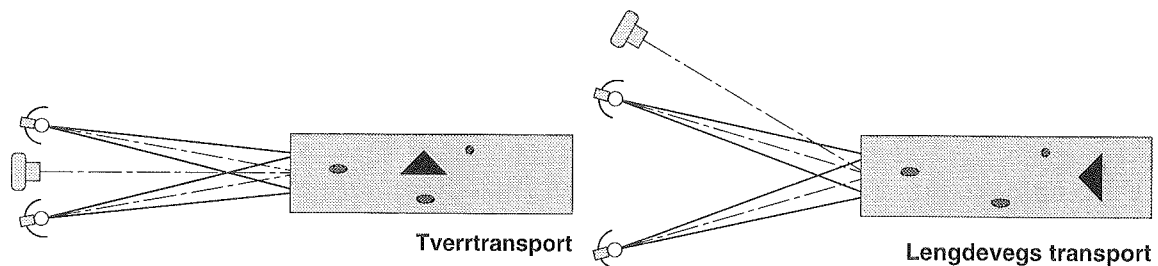


Figur 3. Avbildning ved lengdeveis transport.
Imaging geometry with longitudinal transportation of logs.

Et annet fenomen som skaper problemer, er at avstanden til kameraet og dermed oppløsningen varierer over opptakslengden L . Dette må tas hensyn til ved bildeanalysen. Figuren viser at oppløsningen, o , varierer med stokkens posisjon som vist i figur 3.

3.1.2. Belysningsanlegg.

Belysning er et av de viktigste forholdene man må ta hensyn til ved konstruksjon av et synssystem. I vårt tilfelle er vi interessert i å få fram årringbildet uten å bli forstyrret av endeflatens form. I tillegg er vi avhengig av tilstrekkelig kontrast mellom ende- og barkflate på stokken, slik at det blir mulig å finne endeflatens kantpunkter.



Figur 4: Belysning ved tverrgående og langsgående transport.
Light set-up with transverse and longitudinal transportation.

Teoretisk sett må lysstrålen falle sammen med kameraets optiske akse for å eliminere ruhetsvirkningen, siden alle skygger da blir liggende i områder som

kameraet ikke ser. Imidlertid er vi avhengig av kontrast mellom endeflaten og barkflaten, slik at lyset stilles litt skjevt for å skape den nødvendige skygge. For å oppnå disse effektene samtidig brukes to lyskilder.

Under langsgående transport må kameraet i tillegg monteres slik at det oppstår tilstrekkelig vinkel mellom kameraets optiske akse og materetningen. Dette er en forutsetning for at kameraet skal få inntrykk av en sidevegs bevegelse i forhold til stokken, slik at hele endeflaten kan avbildes.

3.2. Bildeanalyse.

3.2.1. Analyseprinsipp og programstruktur.

Et program i PC-en utførte kontroll av bildeopptak, bildeanalyse og presentasjon av måleresultater. I programmet har vi forsøkt å imitere hvordan et menneske kan tenkes å gripe an arbeidet med årringtelling. Naturlig vil man først finne begrensningen av det objektet som skal undersøkes. I maskinsyn tilsvarer dette først å finne når en endeflate befinner seg i kameraets synsfelt, deretter finne kantene til endeflaten i hvert linjebilde som blir tatt opp. Den lengste linjen antas å være diameterlinjen.

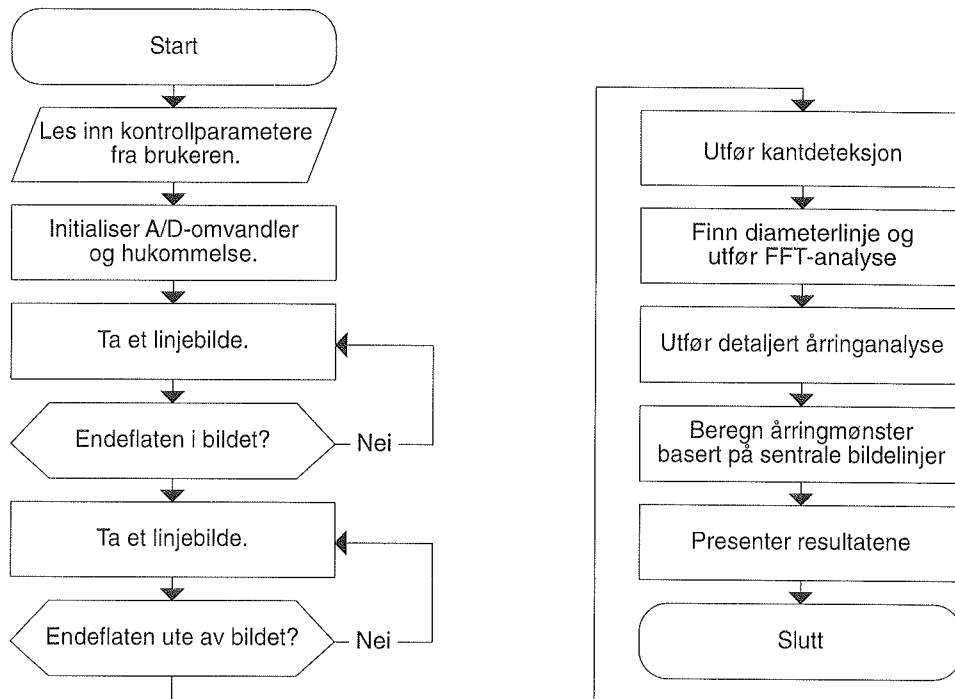
Etter å ha funnet objektet, vil et menneske se teksturen i objektet, det vil si et generelt inntrykk av det mønsteret som skal analyseres. Med dette er vi i stand til å "se" også den delen av mønsteret som er skjult av forurensninger på overflaten. Programmet utfører denne oppgaven ved å gjøre en FFT-analyse på gråtonebildet for diameterlinjen. Fra dette kan systemet plukke ut de hyppigst forekommende årringbreddene på endeflaten.

Det tredje elementet i analysen er detaljundersøkelsen. Manuelt går dette ut på å måle hver enkelt årring. Maskinelt er dette meget krevende, men ved å la informasjonen fra FFT-analysen tjene som retningslinje om hvilke årringbredder som kan forventes, blir målingen mer robust mot forstyrrelse som skyldes optisk støy.

Manuell metode	Maskinsyn
Finn objektet	Utfør kantdeteksjon
Finn teksturen	Utfør FFT-analyse
Finn enkeltårringer	Finn enkeltårringer

*Tabell 4: Naturlig og kunstig intelligens for årringmåling.
Comparing natural and artificial intelligence when measuring annual rings.*

Et årringmønster er naturlig definert som årringenes breddefordeling over stokkens radius. Ideelt må årringbredden presenteres år etter år, men dette er meget krevende. Vi valgte derfor å måle årringmønsteret som gjennomsnittlig årringbredde i delområder over stokkens radius. Dette er med på å eliminere den optiske støyen. I tillegg måler systemet gjennomsnitt årringbredde av flere linjebilder. For å øke presisjon blir dessuten årringmønsteret målt over hele diameteren. Delområdene som brukes i analysen er skissert i figur 2.



Figur 5: Programstruktur.
Program structure.

3.2.2. Kantdeteksjon og profilmåling.

For å oppdage når endeflaten er i synsfeltet, brukes et bilde av bakgrunnen som referanse. Hver linje som kameraet tar opp sammenlignes med denne referansen på følgende måte:

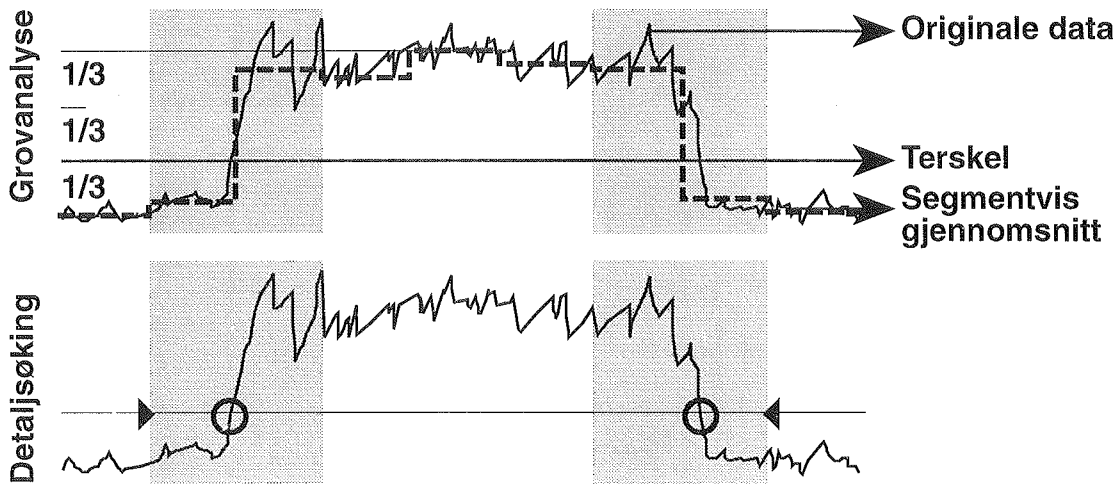
Gråtonedata fra bakgrunnen antas å følge en normalfordeling, dvs. at 99,9% ligger i et gråtoneomfang som avviker ± 3 ganger standardavviket fra middelverdien. Hvert linjebilde sjekkes mot disse grensene. Når antall punkter som ligger utenfor omfanget stiger over en terskel, antar vi at endeflaten har ankommet.

For å finne når endeflaten forsvinner ut av synsfeltet, benyttes den samme metoden ved tverrtransport. Ved langsgående transport er man avhengig av tilstrekkelig kontrast mellom endeflaten og barkflaten på stokken. Dette er ikke alltid tilfellet, fordi stokkene ofte mister barkflak nær enden.

Fra denne prosessen har vi oversikt over hvilke linjebilder som tilhører endeflaten. Hver av disse linjebildene må deretter analyseres for å finne profilen på endeflaten og diameterlinjen. Metoden for kantdeteksjon, som er vist i figur 6, gjennomføres på denne måten.

- Linjebildet deles opp i et antall segmenter. Gjennomsnittlig gråtoneverdi beregnes for hvert segment. I disse verdiene vises segmenter fra endeflaten som lysere gråtonenivåer enn de fra bakgrunnen.
- De høyeste og laveste gjennomsnittsverdier finnes. En terskel settes lik det laveste nivået pluss en tredjedel av avstanden mellom den høyeste og det laveste.

- De segmentene der gråtonenivået først overskrider terskelen når en søker utenfra mot midten, brukes som tilnærmelser til kantpunktene. Dette gjør at detaljsøkingen etter kantene begrenses til disse to segmentene.
- Til slutt av søkes de to kantsegmentene i det originale datasettet. Vi bruker den samme terskelen som før. De første punktene der gråtoneverdien overskrider terskelen brukes som kantpunkter for linjebildet.



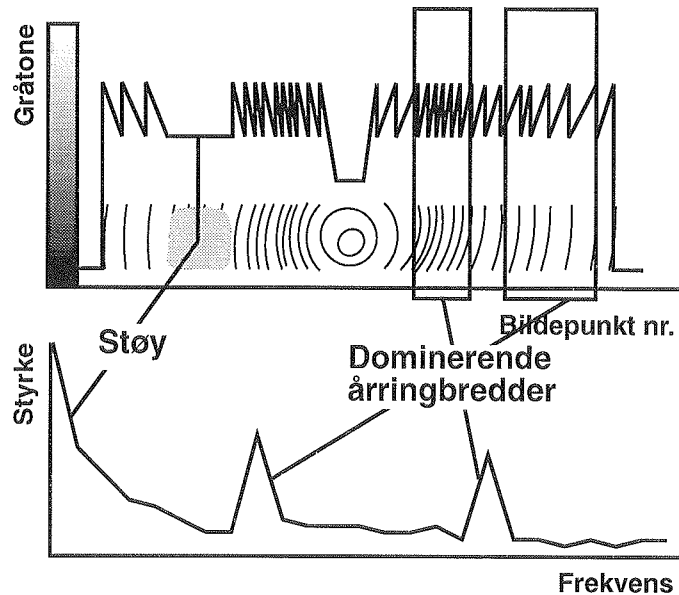
Figur 6: Metode for kantdeteksjon.
Method for edge detection.

3.2.3. Grovanalyse.

Grovanalysen har til hensikt å finne ut hvilke årringbredder som dominerer bildet. Dette danner et inntrykk som brukes til å styre detaljletingen etter årringer i neste fase av analysen.

Fourier-transformasjon (Fast Fourier Transform - FFT) er en matematisk metode for å plukke ut repetitive fenomener i et signal. Uregelmessigheter og støy blir undertrykket. Hvis en årringbredde dominerer hele endeflatebildet vil en tilsvarende frekvens framtre sterkt i bildets frekvensspektrum. Ofte inneholder et bilde et fåtall (1-3) dominerende årringbredder som framtrer i frekvensspekteret med hver sin respons. (Se figur 7.) Siden de fleste stokker er runde eller ovale, er det tilstrekkelig å fokusere på et område nær diameterlinjen. Om analysen blir utført linje etter linje, vil de dominerende årringbredder som måles på alle disse linjene ligge nær hverandre.

Ifølge Nylinder [3] er årringer i et område 2 cm til 4 cm bort fra marginen de som sier mest om virkeskvaliteten. Størrelsen på analyseområdet er valgt slik at hele dette området analyseres. (Figur 2.)



Figur 7: Oversiktanalyse ved hjelp av FFT-teknikken.
Overview analysis using fast fourier transform.

3.2.4. Detaljanalyse.

Detaljanalysen omfatter to oppgaver:

- Årringtelling.
- Sprekkdeteksjon.

Som nevnt tidligere, skal vi måle årringmønsteret ved å måle antall årringer i hvert enkelt av en rekke delområder over stokkens diameter. Hvert delområde er gitt en fast bredde. De to midterste områdene deler den siste biten etter at alle de andre har fått en hel bredde. Slik deling gjør det lettere å slå sammen delområder fra forskjellige linjebilder.

Sommerved har den mørkeste gråtonen i en årring hvis ikke sprekk, skygger, forurensninger eller virkesfeil forstyrrer. Om det sannsynlige omfanget av en årring er kjent, kan årringen finnes ved den mørkeste gråtoneverdien i et slikt omfang.

Grovanalysen gav et innblikk i de dominerende årringbredder i bildet. Dette gir en antydning om hvilke årringbredder bildet inneholder. Bredden av naboårringen gir ytterligere en ledetråd, siden årringbredden i to påfølgende år avviker lite fra hverandre. Begge disse ledetrådene kombineres til et anbefalt søkeomfang for neste årring. Ved søking etter den første årringen bruker systemet bare de dominerende årringbreddene som en ramme. Denne søkemethoden er teoretisk støyresistent.

Ved sprekkdeteksjon brukes en tersklingsteknikk lik den som ble brukt ved kantdeteksjon. Terskelen baserer seg på statistiske parametre som blir beregnet fra gråtonedata for "feilfri ved", der disse verdiene antas å følge en normal fordeling. Et mørkt punkt der gråtoneverdien ligger langt under det som forventes, tolkes som sprekk. Sprekkinformasjon presenteres pr. delområder sammen med årringmønsteret.

4. Arbeidshypoteser og skurforsøk.

For å skaffe et godt materiale til å teste systemets målenøyaktighet, og for å se nærmere på hva årringmønsteret sier om tømmerkvalitet, ble det gjennomført et orienterende skurforsøk. Tømmeret ble hentet fra prosjektet "Tømmer-vanning", som også hadde satt opp forsøksmetodikk og gjort nødvendige avtaler med et sagbruk, tømmermåler og for transport.

Forsøket var orienterende. Prøveutvalget, 60 stokker, er altfor lite til å få sikre opplysninger om årringmønster og tømmerkvalitet, så de konklusjoner som følger av forsøket kan ikke sies å være vitenskapelig bevisførsel. Allikevel er et slikt forsøk nyttig for blant annet å prøve ut metoder for videre studier i et utvidet prosjekt.

4.1. Skurforsøk.

Prøvematerialet utgjorde 45 granstokker og 15 furustokker. Følgende eksperimenter ble utført.

Tømmermåling.

Stokkene ble innmålt av en kompetent tømmermåler. "Forskrift for måling av skogsvirke" fra 1990 ble brukt. Samtidig ble tømmeret vurdert i forhold til forskriftens revisjon av 1993. Avsmalingen ble målt på et 2 m toppsegment, og ovaliteten ble målt på de to endeflatene.

Skurforsøk.

Skurforsøk ble utført ved et lite sagbruk med enkel sirkelsag. Ved oppdeling av stokkene ble de vurdert av sagmesteren og orientert slik at de to sentrumsplankene fikk best mulig kvalitet. Plankene ble deretter sortert i henhold til Norsk Standard NS 3080 og den daværende prøveutgaven av Nordisk Tre.

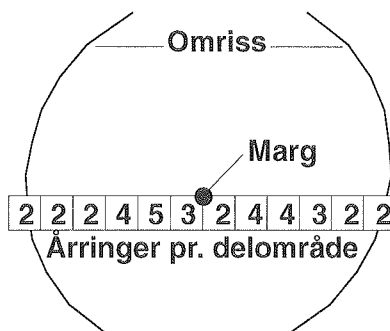
Hver sentrumsplanke ble tildelt en kvalitetsindeks som simpelthen var T-verdiene i NS 3080. Kvalitetsindeksen for Nordisk Tre ble basert på at de 7 kvalitetsklassene A1, A2, A3, A4, B, C og Utlegg ble gitt tallverdier fra 1 til 7. Dette betyr at høy kvalitet korresponderer med høy indeks for NS 3080, mens det er motsatt for Nordisk Tre. Årsvekster ble målt på plankene som avstanden mellom kvistkranser. Spesielle, synlige feil ble registrert.

Årringmåling.

Et sett av stammeskiver, én skive fra hver ende av stokken, ble målt med en densitometrisk og manuell metode ved Botanisk institutt ved Universitetet i Trondheim. Årringene ble registrert fortløpende fra margin med posisjonsangivelse med en nøyaktighet på 1/100 mm.

Ytterligere et sett stammeskiver ble målt i NTI's laboratorium med måle-systemet for årringer. Under målingen ble et område rundt margin registrert. Området var begrenset med en sort maske som hadde en åpning med diameter 128 mm. Skivene var sopp- og råtefrie, og hadde forholdsvis rene flater uten markeringer.

For å presentere årringmønsteret ble diameteren i det avbildede området delt i 14 delområder hvor bredden var 10 mm. Kameraets måleomfang ble justert til 200 mm og oppløsningen var 5 punkter pr. mm. Systemet målte og presenterte årringmønster, diameter, endeprofil og margens beliggenhet.

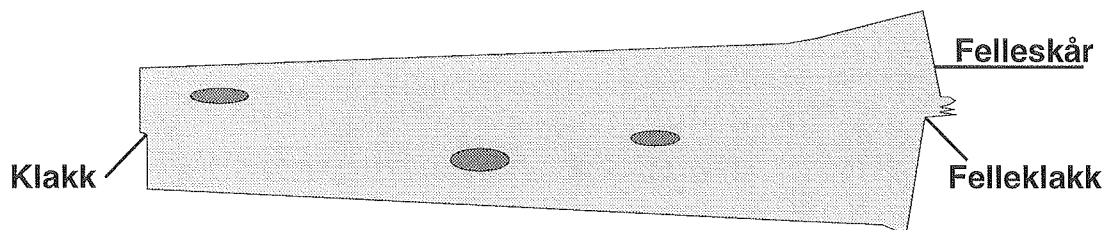


*Figur 8: Presentasjon fra målesystemet.
Presentation of data from the measuring system.*

Nøyaktighet av målesystemet for årringer.

Alle stammeskivene ble målt uten forbehandling. I tillegg ble noen stammeskiver målt etter at de var fuktet. Dette for å teste hvorvidt fuktige endeflater ville gi bedre kontrast enn tørre.

Trær som felles og apteres med motorsag, kan ha meget store, geometriske forstyrrelser på endeflatene. Felleklakk i rotenden og klakk fra apteringen er vanlige feil (se figur 9). Hugstmaskiner danner normalt flate snitt, selv om kuttene kan være grove. For å få et inntrykk av effekten av slike forstyrrelser ble et antall rotskiver med felleskår testet.



*Figur 9: Geometrifeil på en manuelt hugget rotstokk.
Geometric faults on manually harvested log.*

Til slutt ble systemet testet med forskjellige oppløsninger. Oppløsning er antall bildepunkter som dekker en lengdeenhet på stokkens endeflate. Dette angir antall bildepunkter som kameraet henter fra hver en årring. Ved testing av oppløsningen ble det brukt en stammeskive som ble flyttet trinnvis bort fra kameraet. Manuell årringmåling på stammeskiven ble brukt som referanse.

4.2. Hypoteser om trelastkvalitet.

Nylinder [3] viste en del interessante sammenhenger mellom målbare størrelser på tømmer og trelastkvalitet. Nylinder har testet meget grundig, så om vi finner fram til tilsvarende resultater i vårt prøvemateriale, får vi en kontroll

på om vårt materiale er rimelig representativt. Vi velger de relasjonene fra Nylinder som omhandler effekten av årringer og bruker disse som hypoteser.

Sentrumutbyttets kvalitet:

$$Y_c = c_1 + c_2 x_1^2 + c_3 x_6 + c_4 x_2 x_3. \quad (5-1)$$

Side- og kantutbyttens kvalitet:

$$Y_s = c_5 + c_6 x_1^2 + c_7 x_2 x_1^2 + c_8 x_6. \quad (5-2)$$

c. Sentrum-, side- og kantutbyttens kvalitet:

$$Y_{cs} = c_9 + c_{10} x_1^2 + c_{11} x_6 + c_{12} x_2 x_3. \quad (5-3)$$

Y_c = Kvalitetindeks for sentrumutbytte.

Y_s = Kvalitetindeks for side- og kantutbytte.

Y_{cs} = Kvalitetindeks for sentrum-, side- og kantutbytte.

$c_1 \dots c_{12}$ = Linjærfaktorer.

x_1 = Toppdiameter [cm].

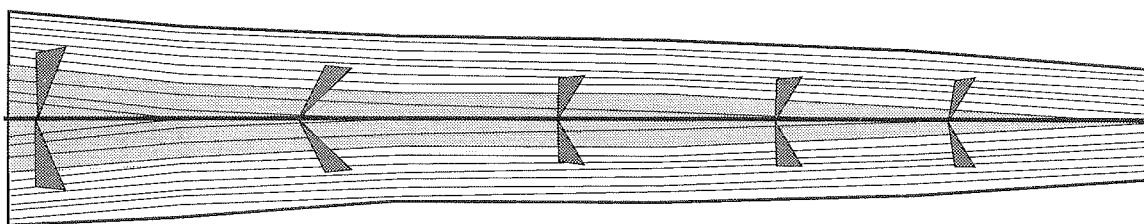
x_2 = Bulighet, antall kuler pr. løpende meter.

x_3 = Avsmaling [mm/m].

x_6 = Årringbredde.

4.3. Hypoteser om tømmerkvalitet.

Tømmerkvalitet er i stor grad bestemt av kvistmengde: antall, størrelse og beliggenhet. Vi antar som en hypotese at årringsveksten er et mikrobilde av lengdeveksten. Med store årringer forventer vi lang avstand mellom kvistkransene, det vil si at stor diametervekst følger stor lengdevekst. Vi antar videre at det er sammenheng mellom stor vekst og store kvister.



Figur 10: Årringer og kvistkranser.
Annual rings and knot clusters.

Den første hypotesen handler om sammenhengen mellom en enkelt årrings størrelse og den tilhørende kvistkransens kvistmengde. Den første årringen fra marginen antas å tilhøre kvistkransen nærmest roten i stokken, og de øvrige følger på hverandre med én kvistkrans for hver årring:

$$\text{Kvistmengde} = F(\text{avsmaling, årringbredde, årstall}) \quad (5-4)$$

Vår andre hypotese er at årringveksten er sammenhengende med årsveksten. Denne sammenhengen uttrykkes som funksjon H.

$$\text{Årsvekst} = H(\text{årringbredde, årstall, avsmaling}) \quad (5-5)$$

5. Resultat og diskusjon.

5.1. Sammenhengen mellom tømmer- og trelastkvalitet.

Tabell 7 viser noen av de sammenhengene (korrelasjonene) som ble tatt ut av forsøket, uten at dette hadde vesentlig betydning for prosjektet. De sammenhengene som ble testet var stort sett velkjente.

Sammenhengen mellom variabel 1:	variabel 2:	Gran rotstokk	Gran toppstokk	Furu blanding
Tømmer 90	Tømmer 93	0,87	0,74	0,16
Tømmer 90	NS 3080	0,06	-0,40	0,07
Tømmer 93	NS 3080	0,01	-0,36	-0,29
Tømmer 90	Nordisk Tre	-0,09	0,19	-0,36
Tømmer 93	Nordisk Tre	-0,02	0,16	-0,21
NS 3080	Nordisk Tre	0,13	-0,74	-0,34

*Tabell 5: Sammenhengen mellom tømmerkvalitet og trelastkvalitet.
Correlation between log quality and lumber quality.*

Korrelasjon er et statistisk mål på sammenheng mellom to tilfeldige variable. Hvis variablene er slik at når den ene endres, så endres også den andre på tilsvarende måte, da er de korrelert. Korrelasjonen er et tall mellom -1 og 1. Korrelasjon = 1 viser perfekt positiv korrelasjon, -1 perfekt negativ korrelasjon og 0 ingen korrelasjon.

Prøvematerialet er meget lite i forhold til det som er nødvendig for å trekke sikre konklusjoner. Dette gir også en del merkelige utslag som ikke må tillegges vekt. Merk også at Nordisk Tre og tømmerkvalitet er gitt lav kvalitetsindeks for høy kvalitet, mens dette er motsatt for NS 3080. Det gjør at negative fortegn når NS 3080 er med i sammenligningene betyr positiv kvalitetssammenheng.

I tabell 5 står de to faktorene som sammenlignes i de venstre kolonnene, og korrelasjonene som ble funnet i de forskjellige tømmergruppene følger i de tre neste kolonnene. Sammenhengen mellom de to målereglementene for tømmer viser høy, positiv korrelasjon som ventet. Dette antyder at endringen i reglementet gir marginale utslag i sortsutfallet for tømmer.

Korrelasjonene mellom tømmerkvalitet og trelastkvalitet er meget svake for gran rotstokker og utydelige forøvrig. For gran toppstokker er det positiv kvalitetssammenheng mellom tømmerkvalitet og trelastkvalitet. Sammenhengene er så utydelige at (lave korrelasjoner) tømmerarteringen synes å gi et minimalt bidrag til kunnskapen om trelastkvalitet.

Til slutt viser sammenhengen mellom kvalitet i henhold til NS 3080 og Nordisk Tre seg å være og negative. (Grunnet forskjellig kvalitetsindeks.)

5.2. Testing av hypoteser om trelastkvalitet.

I kapittel 5 ble det trukket opp tre arbeidshypoteser, 5-1, 5-2 og 5-3 som omhandlet sammenhengen mellom fysiske egenskaper målt på tømmeret og kvalitetsutfallet for sentrumsplanker. Tabell 6 viser resultatet av en analyse der sammenhengene mellom toppdiameter, årringbredde, avsmalning og ovalitet er testet mot trelastkvalitet etter NS 3080 og Nordisk Tre for 4 forskjellige grupper av tømmerstokker.

Parameterliste:

$c_1 \dots c_{12}$ = Linjærfaktorer.

x_1 = Toppdiameter [cm].

x_3 = Avsmalning [mm/m].

x_4 = Ovalitet.

x_6 = Årringbredde.

Serie	Kval Y=	Toppdiameter $C_{11} X_1 + C_{12} X_1^2 +$		Årring $C_2 X_2 +$	Avsm. $C_3 X_3 +$	Ovalitet $C_4 X_4 +$	Konst. C_5	Korre- lasjon
Furu	NS	-4,55	0,10	-0,26	0,14	95,34	161,92	0,93
	P:		0,34	0,06	0,35	0,03		
	NT	0,86	-0,02	-0,02	-0,02	1,15	-4,81	0,87
	P:		0,09	0,14	0,24	0,75		
Gran- rot	NS	3,09	0,07	0,08	-0,15	12,99	-18,00	0,85
	P:		0,09	0,64	0,56	0,88		
	NT	-0,02	0,00	0,00	0,08	-5,58	7,50	0,67
	P:		0,60	0,96	0,29	0,81		
Gran- topp	NS	-2,87	0,07	-0,18	-0,24	-83,85	138,40	0,71
	P:		0,82	0,35	0,50	0,55		
	NT	-1,59	0,04	-0,01	-0,01	21,81	-1,97	0,85
	P:		0,01	0,75	0,73	0,12		
Gran- mix	NS	1,70	-0,04	-0,16	-0,24	-106,26	116,00	0,69
	P:		0,08	0,10	0,19	0,05		
	NT	-0,11	0,00	0,01	0,04	1,32	2,83	0,46
	P:		0,35	0,71	0,47	0,90		

Tabell 6: Modeller for trelastkvalitet og tømmervariabler.
Models for lumber quality and log description variables.

Tabell 6 viser strukturen i ligningen som er brukt i linje 2. For hver enkelt test inneholder tabellen to linjer. Den øverste med normal skriftstørrelse angir de konstantene i ligningen som gir best korrelasjon etter minste kvadraters metode. Den neste linjen angir en statistisk testparameter som brukes til å anslå virkningen av variablene i analysen. Jo større verdien er, jo mindre virkning har den tilhørende variabelen. De variablene som er angitt med *kursiv* har så liten betydning at vi kan se bort fra dem.

Resultatene indikerer at toppdiameter, gjennomsnittlig årringbredde, avsmalning og ovalitet alle er viktige for å vurdere kvalitetutbyttet for senteruttaket i

forhold til NS 3080. Ovalitet betyr mindre når en skal vurdere kvaliteten i henhold til Nordisk Tre. Sammenhengene er sterkere for furu enn for gran, og best kvalitetsvurdering oppnås om rot- og toppstokker vurderes hver for seg. Resultatene tyder på at årringbredden gir informasjon om plankekvaliteten. Noen variable har liten virkning i modellene. Når disse plukkes bort og konstantene korrigeres, blir sammenhengene som vist i tabell 7.

Tømmer	Kvalitet	Modell	R
Furu-	NS	$Y = -4,55 X_1 + 0,10 X_1^2 - 0,26 X_2 + 0,14 X_3 + 95,34 X_4 + 161,92$	0,93
	NT	$Y = 0,87 X_1 - 0,02 X_1^2 - 0,02 X_2 - 0,02 X_3 + 1,16 X_4 - 4,81$	0,87
Gran, rot	NS	$Y = 2,96 X_1 - 0,07 X_1^2 + 0,06 X_2 - 0,15 X_3 - 3,80$	0,84
	NT	$Y = 0,04 X_1 + 0,07 X_3 + 1,48$	0,66
Gran, topp	NS	$Y = -2,87 X_1 + 0,07 X_1^2 - 0,18 X_2 - 0,24 X_3 - 3,85 X_4 + 138,40$	0,71
	NT	$Y = -1,67 X_1 + 0,04 X_1^2 + 22,76 X_4 - 2,63$	0,85
Gran	NS	$Y = 1,70 X_1 - 0,04 X_1^2 - 0,16 X_2 - 0,24 X_3 - 106,26 X_4 + 116,00$	0,69
	NT	$Y = -0,11 X_1 + 0,01 X_2 + 0,04 X_3 + 2,63$	0,46

Tabell 7: Sammenhengen mellom trelastkvalitet og tømmervariabler.
Correlation between lumber quality and log variables.

På grunn av vårt minimale prøvemateriale ville det vært en ren tilfeldighet om vi hadde fått komplett samsvar med Nylinders resultater [3]. Det som imidlertid er interessant, er at våre resultater i hovedsak viser de samme karakteristikkene, noe som var forventet og som bekrefter at prøvematerialet er rimelig representativt.

5.3. Testing av hypoteser om tømmerkvalitet.

Tabell 8 viser en flervariabel regresjon som tester hypotesene 5-4 og 5-5 som handlet om sammenhengen mellom avsmalning, årringmønster og kvistmengde. Kvistmengden ble beregnet som antall kvister med diameter over 10 mm multiplisert med største kvistdiameter. Årringmønsteret viste en god korrelasjon med kvistmengden, når både årstall og årringbredde inngikk i ligningen.

Modell	$Y = a_0 + a_1 \cdot \text{årstall} + a_2 \cdot \text{årstall}^2 + a_3 \cdot \text{årringbredde}$ der $a_1, a_2, a_3 =$ linjefaktorer.		
	Korrelasjonsfaktor, gjennomsnitt og standardavvik.		
	Årsvekst	Største kvistdiameter	Kvistmengde
Furu, topp- og rotstokker	0,75 0,16	0,71 0,16	0,70 0,20
Gran, rotstokker	0,63 0,22	0,50 0,24	0,48 0,24
Gran, toppstokker	0,59 0,14	0,66 0,23	0,54 0,23

Tabell 8: Korrelasjon mellom årringmønster og kvistmengde på planker.
Correlation between annual ring pattern and amount of knots on planks.

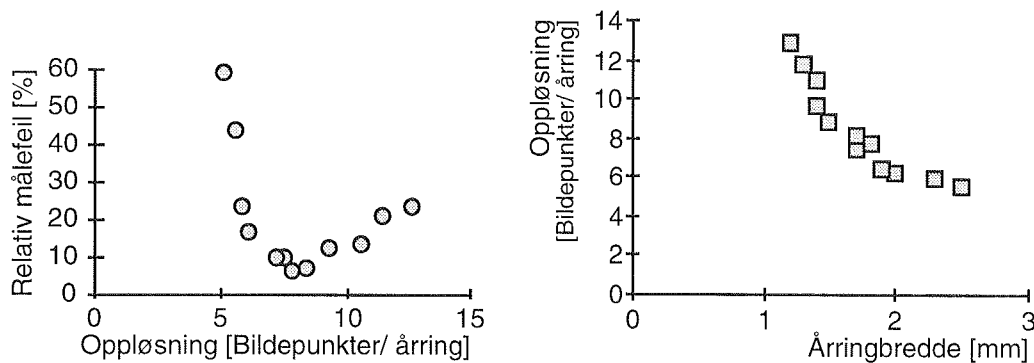
Med hypotesen 5-5 var vi interessert i å se på sammenhengen mellom lengdevest og årringbredde. Følgende korrelasjoner ble funnet:

- Furu: 0,75
- Gran rotstokker: 0,63
- Gran toppstokker: 0,59

Det viste seg vanskelig å måle hver enkelt årsvekst. Når man mister en enkelt årring eller årsvekst ved målingen, bryter sammenhengen med årringmønsteret sammen.

5.4. Nøyaktigheten av automatisk årringmåling.

En viktig del av forsøksserien var å skaffe grunnlag for å undersøke målesystemets nøyaktighet og potensial. Gjennom den manuelle årringmålingen hadde vi skaffet oss en nøyaktig fasit for årringmålingen på hver av stammeskivene (118 stk).



*Figur 11: Opplysning og målefeil.
Picture resolution and measuring accuracy.*

Figur 11 viser to kurver der den relative målefeilen er vist. Kurven til venstre viser feilen som funksjon av oppløsningen. Som forventet synker den relative målefeilen raskt når oppløsningen øker mot 7-8 bildepunkter pr. årring. Dette skyldes at tette årringer blir slått sammen av systemet ved lav oppløsning. Teoretisk er det nødvendig med minst 2 bildepunkter pr. årring. I praksis må oppløsningen være vesentlig høyere, som kurven viser.

Det var derimot overraskende at feilraten steg når oppløsningen økte ut over dette nivået. Dette viste seg å komme av at fargedifferanser mellom årringer ble feiltolket som årringer ved stor årringbredde. Kurven til høyre, hvor årringbredden minsker med oppløsningen forklares av kombinasjonen av disse effektene.

Absolutt målefeil på gjennomsnitt årringbredde av 118 tømmerkiver ble testet statistisk. Testen gir det resultat at det ikke er signifikant forskjell mellom de automatisk og de manuelt målte resultatene.

Faktor	Furu	Gran rot	Gran topp	Gran mix	Alle stokker
Antall prøver	29	24	28	37	118
r-verdi for årringbredde	0,30	0,37	0,38	0,33	0,34
r-verdi for antall årringer	0,53	0,43	0,62	0,48	0,52
Beste r-verdi	0,56	0,51	0,65	0,53	0,56
Abs. breddefeil [mm]	0,80	0,65	0,56	0,48	0,61
Rela. breddefeil [%]	36	29	23	32	15
feil m. retning [mm]	0,37	0,10	0,02	0,26	0,20
Rela. feil m. retn. [%]	22	10	2	22	15

*Tabell 9: Korrelasjon mellom automatisk og manuelt målt
årringmønstre (delområde = 1 cm).*

Correlation between automatic and manual measurement of annual ring pattern.

Tabell 9 viser at den automatiske målingen har et korrelasjonsforhold $r = 0,52$, og absolutt målefeil for årringbredde er 0,6 mm. Nøyaktigheten er dermed relativt lav. Dette skyldes først og fremst at strategiene for årringdeteksjon ikke er gode nok eller inneholder feil. Styreprogrammet må derfor forbedres.

6. Konklusjoner.

Generelt om skurforsøket.

Skurforsøket var orienterende og hadde til hensikt å skaffe erfaringer med målesystemet for årringmåling, samt å teste ut forsøksmetodikk for videre arbeid. Prøveutvalget bestående av 60 stokker var klart for lite til å kunne trekke vitenskapelig holdbare konklusjoner.

Forsøksmetodikken viste seg velegnet for formålet. Generelt var det også vellykket å flette forsøkene sammen med et annet forsøk (prosjektet tømmervanning). Besparelsene i begge prosjekter var betydelige.

Om tømmerkvalitet.

Det ble funnet tydelig sammenheng mellom kvalitetklassene for tømmer sortert etter reglementene fra 1990 og 1993.

Tydelig sammenheng ble også funnet mellom kvalitetsstandardene for trelast, NS 3080 og Nordisk Tre. En planke med høy kvalitet i den ene standarden har også høy kvalitet i den andre.

Det finnes ikke tydelig sammenheng mellom tømmerkvalitet sortert etter tømmerreglementene og trelastkvalitet, enten når de er sortert etter NS 3080 eller Nordisk Tre.

Det eksisterer gode multilinjære forhold mellom gjennomsnittlig NS-kvalitet av sentrumplanker og ytre karakteristika hos gran-rotstokker, og mellom gjennomsnittlig NT-kvalitet av sentrumplanker og ytre karakteristika for gran-toppstokker.

Gode sammenhenger finnes også for en blanding av topp- og rotstokker av furu. De viktigste ytre karakteristika er toppareal, avsmaling og ovalitet og gjennomsnitt årringbredde målt ved sentrum av rotenden.

Om årringer og kvistmengde.

I selve årringmønsteret fant vi bare en svak indikasjon for årsvekst. Enkelte ting kan tyde på at målemetoden for årsvekst ikke var tilstrekkelig god for formålet.

Svak sammenheng ble funnet hos furu og toppstokker av gran når toppdiameter, ovalitet og avsmaling tas hensyn til.

Visse svake korrelasjoner ble også funnet for kviststørrelse. Begge hypotesene 5-4 og 5-5 bør undersøkes nærmere i videre forsøk.

Om målesystemet for årringer.

Det finnes en minimal oppløsning for å kunne telle årringer på tømmer. Systemet har et minimum på 7 bildepunkter pr. årring for å få tilstrekkelig nøyaktighet. Dette samsvarer med Jonssons resultater [8].

Vi fant at nøyaktigheten gikk ned ved bedre oppløsning enn dette. Det skyldes begrensninger av de metodene som ble brukt.

Endeflatene av tømmer må være rene og plane for at systemet skal være i stand til å måle årringer. Motorsagsnitt er godt nok for dette formålet.

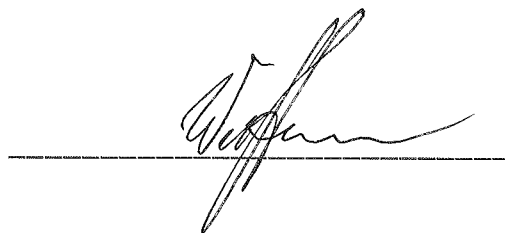
Gjennomsnitt årringbredde ble målt med en målefeil på 0,2 mm og standardavvik på 0,76 mm. Korrelasjonen med manuelle målinger var 0,52 og relativ målefeil ved 22% for furustokker og 15% for granstokker. Dette betyr at dataprogrammet må forbedres.

Oslo, 1994-12-15

Norsk Treteknisk Institutt



Siv. ing. Håkon Toverød
Prosjektansvarlig



Dr. ing. Wei Han
Prosjektleder

7. Litteratur.

- [1]. Yang, K.C. & G. Hazenberg. 1991. Sapwood and heartwood width relationship to tree age in *Pinus banksiana*. *Can. J. For. Res.* 21: 521-525.
- [2] Varmola, M. 1989. [A model for ring width of planted Scots pine.] Männyn istututstaimikoiden lustonleveysmali. *Silva Fennica* 23(4): 259-269.
- [3] Nylinder, M. 1990. Automatic Grading of Pine Logs. Raport No. 215. Dept. of For. Prod., Swedish Univ. of Agri. Sci.
- [4] Tømmermålingsrådet. 1990. Forskrift for måling av skogvirke. Norge.
- [5] Norges Byggstandardiseringsråd (NBR). 1988. Kvalitetskrav til trelast for konstruktive formål. NS 3080. Norge.
- [6] Lenz, V.O.; E. Schär & F.H. Schweingruber. 1976. Methodological problems relative to the measurement of the density and width of growth rings by X-ray densitogrammes of wood. *Holzforschung* 30(4): 114-123.
- [7] Vigne, P.L. 1991. Tree-ring analyzer aids ecology, climatology studies. *Photonics Spectra* 87(8).
- [8] Jonsson, L. 1992. Recording Annual Ring Development Using Image Analysis. Raport No. 228. Dept. of For. Prod., Swedish Univ. of Agri. Sci.
- [9] Han, W. 1992. Automatisk årringmåling. NTI-rapport nr. 511068. Norsk Treteknisk Institutt

Rapporter

1. Energisparing og energiøkonomisering ved trelasttørking. Magnar Eikerol. 1981.
2. Oppvarming og rengjøring av skurtømmer før barking. Per Skogstad og Sverre Tronstad. 1982.
3. Betydningen av å kappe skurtømmeret etter kvalitet. Bjørn Lier. 1982.
4. NTI's simuleringsprogram for skur. Andreas Garnæs. 1982.
5. Metalldetektorer. Bjørn Lier. 1983.
6. Bruk av tre i svømmehaller. Håkon Bergsrud og Hans-Kristian Ellingsen. 1983.
7. Kvalitetskrav til skurlast av lauvtre. Bohumil Kucera. 1983.
8. Skurnøyaktighet ved råskur. Bjørn Lier og Magnar Müller. 1983.
9. Emneproduksjon. Markeder og produksjonsanlegg. Rolf Birkeland og John Rønningen. 1985.
10. Skurnøyaktighetsundersøkelser '86. Nye sirkelsagmaskiner - råskur med sagbladstyringer og tørkløyving. Magnar Müller og John Rønningen. 1987.
11. Fingerskjøting av konstruksjonslast.
Undersøkelser av forhold ved produksjon og styrke. Per Lind. 1987.
12. Skjærforhold i sagblad. Håkon Toverød. 1988.
13. MPS i trelastindustrien. Andreas Garnæs, Per R. Nordby og Håkon Toverød. 1988.
14. Trevirke. Prosjekt fasader - fornyet overflatebehandling. Redigert av Eirik Raknes. 1989.
15. Støydemping av sorterverk og internt transportutstyr.
Samarbeidsprosjekt Odden Verksted A/S og NTI. Andreas Garnæs. 1992.
16. Arbeidsmiljø ved båndkløyve. Endring av avsug og demping av støy. Andreas Garnæs. 1992.
17. Tørking - trekvalitet. Resultater fra 4 tørkeforsøk. Sverre Tronstad. 1993.
18. Tørking av stolper. Resultater fra litt.studier, forsøk og økonomiske kalkyler
vedr. kunstig tørking av stolper. Marie-Louise Edlund og Sverre Tronstad. 1993.
19. Nordisk samkalibrering av styrkesorteringsmaskiner. Kjell Solli. 1993.
20. Sammenliming av gulvbord ved lakking. Blocking tendency of floor seals. Eirik Raknes. 1993.
21. Medoder for destruksjon/deponering av avfall fra impregneringsindustrien.
En litteraturstudie. Fred G. Evans. 1994.
22. Miljø ved produksjon og bruk av trykkimpregnert tre. Sluttrapport. Fred G. Evans. 1994.
23. Årringer som uttrykk for tømmerkvalitet. Dr. ing. Wei Han og siv. ing. Håkon Toverød. 1994.