

Litteraturredport i SSFF-prosjektet:

**"Norsk trevirke som råstoff – Verdiskapingspotensial
og industrielle muligheter"**

Terje Birkeland, Skogforsk
Per Johan Houen, PFI
Erlend Ystrøm Haartveit, Skogforsk
Vegard Kilde, NTI
Per Lind, NTI
Knut Magnar Sandland, NTI
Kjell Vadla, Skogforsk
Audun Øvrum, NTI

Litteraturredport i SSFF-prosjektet:

Norsk trevirke som råstoff – Verdiskapingspotensial og industrielle muligheter

Literature survey in the SSFF-project:

Norwegian timber as raw material – Added value and industrial possibilities

Prosjektledere: Kjell Vadla, delprosjektleder SKOG
Per Johan Houen, delprosjektleder PAPIR
Vegard Kilde, delprosjektleder TRE
Knut Magnar Sandland, prosjektleder

Dato: 2002-07-03

Prosjektnr: 370021

Sammendrag

SSFF-prosjektet "Norsk trevirke som råstoff – Verdiskapingspotensial og industrielle muligheter" omfatter elementer innen hele næringskjeden, fra skog til ferdig produkt, og industri og næringsliv innenfor hele skognæringen vil bli involvert i prosjektet, fra skogeiersiden til skogbasert industri (både treforedling og tremekanisk industri).

For den trebaserte industrien blir det stadig viktigere å ha bedre kontroll på hva som inngår i produksjonen. Hvilke egenskaper virket har, og hvordan dette påvirker sluttproduktet, blir mer og mer sentralt i denne sammenhengen. En forbedret råstoffutnyttelse krever også at tømmeret apteres og kappes med utgangspunkt i hvordan det skal videreforedles. Dette setter krav til spesifisering av både de fysiske mål som lengde og diameter, i kombinasjon med riktige og funksjonelle sorteringskriterier som er tilpasset den videre foredlingen. I tillegg blir en effektiv logistikk i hele kjeden fra råstoff til sluttprodukt viktig i tiden som kommer, for å danne et best mulig grunnlag for bedre lønnsomhet i næringen.

Denne litteraturredporten er et resultat av at prosjektmedarbeiderene har gått gjennom den mest aktuelle litteraturen for å finne "state-of-the-art" innenfor hovedområdene av prosjektarbeidet. Dette arbeidet har vært nødvendig i oppstarten av prosjektet, og det er valgt å sette sammen de ulike bidragene fra prosjektmedarbeiderene til en felles litteraturredport som publiseres. Det er lagt ned en stor innsats for å innhente opplysninger fra en betydelig mengde referanser, og forhåpentligvis vil denne rapporten være til nytte også i andre sammenhenger enn i arbeidet med SSFF-prosjektet.

Stikkord: SSFF-prosjekt, litteraturredport, norsk virkesråstoff

Keywords: SSFF-project, literature survey, Norwegian timber as raw material

Summary

The main objective of the SSFF-project “Norwegian timber as raw material – Added value and industrial possibilities” is to increase the knowledge concerning the influence of wood properties, when producing various wood based products. The attaining of an optimal distribution of raw material to the wood based industries through optimal logistics and suitable assortments are important aspects in the project. One aim is therefore a better utilisation of the Norwegian wood raw material. In addition to raw material, our project also includes pulp/paper and mechanical wood. Thorough studies of wood properties of importance for both of these main areas will be done. We are looking for the improvement of existing products and new applications. All this will then be related to the raw material supply and possibilities for a better utilisation of the variation in raw material properties.

This literature survey is a result of the work done by several persons, who are involved in the project. The aim of this work has been to study the most important literature of the various topics in the project to find the state-of-the-art. This work has been necessary in the beginning of the project to make a platform for the continuing project work.

The different contributions have been put together in this common literature survey report. A lot of work has been done to obtain information from a considerable number of references. This work will hopefully also be useful in several projects, in addition to the SSFF-project.

Forord

SSFF-prosjektet "Norsk trevirke som råstoff – Verdiskapingspotensial og industrielle muligheter" er initiert av Skogbrukets og skogindustrienes forskningsforening (SSFF). Det er et kompetanseprosjekt med brukermidvirkning, der det inngår gjennomføring av tre dr.gradsarbeider.

I oppstarten av prosjektet er det gjennomført litteraturstudier der prosjektmedarbeidere har foretatt en gjennomgang av aktuell litteratur innen sentrale områder i prosjektarbeidet. Målet med dette arbeidet har vært å sette seg inn i hva som er status for de ulike fagområdene, slik at det kan bygges videre på dette i prosjektgjennomføringen.

Det viktige med litteraturgjennomgangen er at personer som skal arbeide innenfor prosjektet, har skaffet seg verdifulle kunnskaper innenfor sitt respektive fagfelt. Når det først er lagt ned så mye innsats på dette, er det imidlertid viktig at det blir dokumentert og publisert slik at det også kan komme andre til gode. Bidragene fra de ulike prosjektmedarbeiderne er samlet i denne rapporten.

Rapporten bærer preg av at det er mange forfattere, med hver sin måte å uttrykke seg på, samt at det ikke er lagt opp til noen "stram" redigering av manuskriptene. Vi håper imidlertid at den likevel kan være til nytte i ulike sammenhenger, i og med at den omfatter en betydelig mengde dokumentasjon innenfor sentrale områder av den skogbaserte næringen.

SSFF-prosjektet er finansiert av Norges forskningsråd, Skogtiltaksfondet, norsk treforedlingsindustri og Fondet for treteknisk forskning. Videre bidrar mange aktører innenfor skogbruk og skogbasert næring med en betydelig egeninnsats.

Vi takker alle for innsatsen!

Ås/Trondheim/Oslo, 2002-07-03

Kjell Vadla, delprosjektleder SKOG
Per Johan Houen, delprosjektleder PAPIR
Vegard Kilde, delprosjektleder TRE
Knut Magnar Sandland, prosjektleder

Innhold

1.	Innledning.....	9
2.	Markedskrav til skogindustriens produkter.....	10
2.1	Hel- og laminerte treprodukter	10
2.1.1	Dimensjoner og form	10
2.1.2	Kvalitet/homogenitet.....	12
2.1.3	Fuktighet.....	13
2.1.4	Overflate	14
2.1.5	Emballering/produktpresentasjon	15
2.1.6	Miljø.....	15
2.2	Treforedlingsprodukter.....	15
2.2.1	Skrive- og trykkpapir.....	16
2.2.2	Liner.....	19
2.2.3	Fluting.....	21
2.2.4	Greaseproof.....	21
2.2.5	Derivatmasse (dissolvingmasse)	22
3.	Virkesegenskaper og deres variasjon	24
3.1	Anatomiske egenskaper	25
3.1.1	Kvist.....	25
3.1.2	Kvistmodeller	30
3.1.3	Ungdomsved.....	36
3.1.4	Tennarved.....	37
3.1.5	Fiberhelling	38
3.1.6	Kvaelommer.....	39
3.1.7	Kjerneved.....	40
3.2	Fysiske egenskaper.....	41
3.2.1	Densitet.....	41
3.2.2	Andre egenskaper	46
3.3	Geometriske egenskaper	47
3.3.1	Avsmalning.....	47
3.3.2	Ovalitet	48
3.4	Mekaniske egenskaper	49
3.4.1	Diverse styrkeegenskaper	49
3.4.2	Variasjoner.....	51
3.4.3	Sammenheng mellom ulike egenskaper	52
3.5	Kjemiske egenskaper.....	53
3.5.1	Vedens kjemiske sammensetning	53
3.5.2	Cellulose	54
3.5.3	Hemicellulose.....	55
3.5.4	Lignin.....	55
3.5.5	Ekstraktivstoffer.....	56
3.5.6	Variasjoner i vedens kjemiske sammensetning	56
3.6	Estetiske egenskaper	57
3.6.1	Gran og furu.....	57
3.6.2	Bjørk og osp	61

4.	Forholdet mellom virkesegenskaper, produksjonsprosesser og sluttproduktene egenskaper	64
4.1	Hel- og laminerte treprodukter.....	64
4.1.1	Skur	64
4.1.2	Høvling og videreforedling	66
4.1.3	Utnytte råstoffet ved hjelp av liming.....	68
4.2	Treforedlingsprodukter.....	71
4.2.1	Generelt	71
4.2.2	Veddensitet	73
4.2.3	Vedens fuktighetsinnhold.....	75
4.2.4	Andel sommerved/vårved, årringbredde	76
4.2.5	Andel ungdomsved	77
4.2.6	Vedens kjemiske sammensetning	78
4.2.7	Fibermorfologi.....	80
5.	Aptering og sortering.....	84
5.1	Dagens sorteringssystem for tømmer	84
5.2	Objektiv måling av tømmerkvalitet.....	85
5.2.1	Sortering ut fra kvistegenskaper	85
5.2.2	Sortering etter ytre form.....	87
5.2.3	Andre sorterings- og apteringsmetoder	88
5.3	Simulering av oppdeling	88
5.3.1	Aptering.....	88
5.3.2	Skur	90
5.3.3	Utbytte ved tynning	91
5.4	Systemer for virkesstyring.....	92
5.5	Sortering av skurlast	94
5.5.1	Handelssortering	94
5.5.2	Sortering av konstruksjonslast.....	95
6.	Logistikk	96
6.1	Lagerfunksjonen.....	96
6.2	Informasjon	97
6.3	Optimeringssystemer	98
7.	Erfaringer fra organisering og gjennomføring av større virkesundersøkelser	99
7.1	”Wood Wisdom”	99
7.2	”Skog – Massa – Papper”	101
7.3	”EUROFIBER”	104
7.4	”Marknadskrav og råvareutnyttjande”	104

1. Innledning

SSFF-prosjektet "Norsk trevirke som råstoff – Verdiskapingspotensial og industrielle muligheter" omfatter elementer innen hele næringskjeden fra, skog til ferdig produkt, og industri og næringsliv innenfor hele skognæringen vil bli involvert i prosjektet, fra skogeiersiden til skogbasert industri (både treforedling og tremekanisk industri). På denne måten vil FoU-miljøene arbeide i nær kontakt med industri og næringsliv i alle prosjektets faser. I sum vil dette føre til at en oppnår en optimal og koordinert forskning innenfor de gitte prosjektrammene.

For den trebaserte industrien blir det stadig viktigere å ha bedre kontroll på hva som inngår i produksjonen. Hvilke egenskaper virket har, og hvordan dette påvirker sluttproduktet, blir mer og mer sentralt i denne sammenhengen. En forbedret råstoffutnyttelse krever også at tømmeret apteres og kappes med utgangspunkt i hvordan det skal videreforedles. Dette setter krav til spesifisering av både de fysiske mål som lengde og diameter, i kombinasjon med riktige og funksjonelle sorteringskriterier som er tilpasset den videre foredlingen. I tillegg blir en effektiv logistikk i hele kjeden fra råstoff til sluttprodukt viktig i tiden som kommer, for å danne et best mulig grunnlag for bedre lønnsomhet i næringen.

Gjennom prosjektarbeidet vil ulike problemstillinger innenfor de nevnte områdene bli behandlet, og målet er at dette arbeidet skal gi kunnskap til næringen, slik at fundamentet for en bedre lønnsomhet blir bedret.

Denne litteraturred rapporten som her foreligger, er et resultat av at prosjektmedarbeiderene har gått gjennom den mest aktuelle litteraturen for å finne "state-of-the-art" innenfor hovedområdene av prosjektarbeidet. Dette arbeidet har vært nødvendig i oppstarten av prosjektet, og det er valgt å sette sammen de ulike bidragene fra prosjektmedarbeiderene til en felles litteraturred rapport som publiseres. Det er lagt ned en stor innsats for å innhente opplysninger fra en betydelig mengde referanser, og forhåpentligvis vil denne rapporten være til nytte også i andre sammenhenger enn i arbeidet med SSFF-prosjektet.

2. Markedskrav til skogindustriens produkter

2.1 Hel- og laminerte treprodukter

Markedskravene vil være varierende mellom de ulike heltreproduktene, men en del basiskrav vil alltid være tilstede. Kravene vil være skiftende med tiden, ikke minst på bakgrunn av den konkurransen treprodukter til enhver tid utsettes for fra andre produkter. For industrien er det ikke så lett å hele tiden være i forkant med kunnskap når det gjelder hvilke krav som kommer til å stilles til deres produkter i fremtiden. Opp gjennom årene har det imidlertid blitt utført ulike undersøkelser som har satt fokus på dette (Stuenes 1973a, 1973b, Westerbø 1973, Øy 1974, Carelius & Co 1984, Elowson & Rydell 1987, Johansson *et al.* 1990, Rydell 1992, Johansson *et al.* 1993, Perstorper 1994, Bunkholt 1992, 1994, Bergman *et al.* 1997).

2.1.1 Dimensjoner og form

Tre til byggeformål vil stadig bli stilt overfor krav til dimensjonsnøyaktighet. Dette fordi konkurrenter som metall og plastprodukter ofte kan skilte med stor grad av nøyaktighet på produktene. Moderne bruk av tre innebærer i de fleste tilfeller industrielle prosesser der det ikke er akseptabelt med store avvik i dimensjoner. Det er mer eller mindre slutt på den tiden at bruken av trevirket var knyttet til håndverksmessige tradisjoner, der det kunne foretas mer tilpassninger av virkesråstoffet underveis i produksjonen. Dette illustreres ved at dimensjonskravene har gått fra hele tommer, eller deler av tommer, over til hele eller deler av mm. Vanskeligheten med å få visse aktører til å innse denne forandringen, kan eksemplifiseres med at angivelser som 2"x4" fortsatt forekommer (Bergman *et al.* 1997).

Ved bestilling og levering av virke med nøyaktige krav til tverrsnittsdimensjon, er det viktig å spesifisere hvilken trefuktighet dette skal gjelde for. Likeledes er det i de fleste tilfeller en minste dimensjon som gjelder absolutt, for at det skal være mulig å ha stor nok virkesbit for å fremstille det ferdige produktet. Dette innebærer at sagbrukene må ta hensyn til dette ved beregning av nødvendig overmål ved skurprosessen. Visse sagbruk kjører generelt med undermål, andre generelt med overmål. Dette har virkeskjøperne gode kunnskaper om, og velger til en viss grad sagbruk etter hvilken betydning en dimensjonsavvikelse har i forhold til anvendelsesområdet for virkesleveransen (Bergman *et al.* 1997).

Retthet er og vil være et sentralt krav for de fleste treprodukter som leveres i dag. Dette betyr at tørketeknikken må utvikles for å gi minst mulig deformasjoner i trevirket, i tillegg til at råstoffet må differensieres for å få skilt ut trelast med stor tilbøyelighet for deformasjoner. Virkesegenskaper som reaksjonsved og stor andel ungdomsved spiller en sentral rolle i denne sammenhengen.

For konstruksjonsvirke er det spesiell fokus på lengdevise deformasjoner, der vridning og til dels kantkrok representerer de største utfordringene. Dette blir

utdypet i ulike undersøkelser (bl.a. Johansson *et al.* 1990, Perstorper 1994). Flatbøy er ikke så skadelig, i og med at den er lettere å rette opp ved montering. For tiden arbeides det med ulike prosjekter for å redusere problematikken omkring deformasjoner i trelasten etter tørking. En viktig angrepsvinkel er å påvirke dette under tørkeprosessen. Flere undersøkelser (bl.a. Tronstad *et al.* 2001, Sandland & Tronstad 2001) viser at rettheten til trelasten kan forbedres betydelig ved å benytte belastning på trelastpakkene under tørkeprosessen. Dersom dette i tillegg kombineres med tørking ved høye temperaturer, ligger forutsetningen enda bedre til rette for å oppnå rett virke etter tørking.

I tverrsnittet opptrer den tradisjonelle kuvingsdeformasjonen i større eller mindre grad, avhengig av årringmønsteret. For anvendelse av trevirke er det ikke ønskelig med kuving i de fleste tilfeller, og den må derfor fjernes ved høvling. Dette innebærer imidlertid at utbyttet når det gjelder heltrevirke går tapt under denne høvlingen. Et annet tenkelig alternativ er å utsette hele virkesbitene for press under tørking, slik at kuving mer eller mindre forhindres i å utvikle seg under tørkeprosessen. Sandland & Tronstad (2002) har gjennom enkle forsøk vist at det er mulig å utsette trelasten for et optimalt trykk som reduserer/eliminerer kuvingen, samtidig som virket ikke presses så mye sammen at utbyttet går ned på grunn av dette. I tillegg til at utbyttet etter tørking og høvling kan heves, vil dette også gi trelast som er lett å håndtere i produksjonsprosessen etter tørking.

Kuving i trelast kan også skyldes yteherding. Dette vil eventuelt gjøre seg gjeldende i trelast som er oppdelt etter tørkeprosessen (råstoff til panel, kledning, gulvbord, etc.). Det er derfor viktig at slikt virke gjennomgår en kondisjonering i sluttfasen av tørkeprosessen for å redusere/eliminere dette (Fløtaker *et al.* 1996). Det er også vist at deformasjoner grunnet yteherding kan gjøre seg gjeldende i trelastens lengderetning (Sandland 1999).

Det er for tiden under utarbeidelse nye standarder for tørkekvalitet. Når det gjelder yteherding, vil det foreløpig bare bli utarbeidet standard for hvordan dette skal måles, og ikke for ulike krav som bør stilles. Kravene som er foreslått av EDG (1994) blir derfor ofte benyttet når det gjelder yteherding.

Spesifiserte lengder fra sluttkunde blir stadig vanligere, og produksjon av en eller annen form for standardlengder eller produktlengder vil tvinge seg frem. Dette er til dels tilfellet i Sverige. En ser eksempler i Norge på paneler og stendere, og dette vil ganske sikkert bre seg til de fleste produkter. Utstrakt bruk av fingerskjøting eller en mer standardisert oppdeling av tømmeret, vil være veier å gå for å takle denne utfordringen.

Etter hvert ser en større krav til lengder på konstruksjonslast. Særlig for stendere blir det av enkelte sluttforbrukere satt krav om rett lengde tilpasset rommet. Dette etterkommes som regel med en "pølseproduksjon" av stenderdimensjoner som fingerskjøtes og kappes på ønsket lengde. Dette vil komme mer og mer, og det bør undersøkes om ikke en homogenisering av lengden på tømmer bør gjennomføres. Flere videreførelser av skurlast hevder at det er

mye enklere å få tak i faste lengder i Sverige. En tilpasning av lengde til antatt sluttprodukt bør det jobbes mer med i fremtiden.

2.1.2 Kvalitet/homogenitet

Når det gjelder krav til kvalitet og virkesegenskaper, er det viktig å skille mellom konstruksjonslast, der det visuelle inntrykket ikke har noen betydning, og visuelle produkter. I grensesjiktet mellom disse vil det være en del produkter som innehar begge funksjoner, det vil si at de både har en konstruksjonsmessig og en visuell funksjon.

Med konstruksjonsprodukter menes i hovedsak vanlig konstruksjonslast og sammenlimte treprodukter som brukes med hensyn til styrke. I Norge er det i dag stort sett furu og gran som benyttes i konstruksjonsprodukter. Når det gjelder vanlig konstruksjonsvirke, er gran det vanligste, siden det blir sortert på samme måte som furu, men har en lavere vekt slik at konstruksjonene blir lettere. Det brukes riktignok en del furu også, og i impregnerte konstruksjoner må det benyttes furu, siden det ikke finnes gode industrielle systemer for impregnering av gran.

Sorteringsreglene for konstruksjonsvirke (NS-INSTA 142 og NS-EN 519) er fastsatt ut fra testing, og er godt dokumentert og etablert i markedet. Den norske trelasten holder såpass høyt nivå styrkemessig at den egner seg bra for konstruksjonsmessige formål. Det er stort sett ikke virkesegenskapene som er et problem for disse produktene, i og med at kravene er temmelig absolutte og lite påvirkelige. For høy veksthastighet kan imidlertid gi problemer i enkelte områder, da lav densitet gir dårligere styrke på trevirket. For ordinær konstruksjonslast har utseendet heller ikke noen betydning, det er styrke, dimensjoner og form som er viktig.

For visuelle produkter (paneler, gulv, listverk m.m.) er ikke styrken det førende for kvaliteten. Felles for dem alle er at det er utseendet som bestemmer kvaliteten. Det finnes standarder for sortering av slike produkter (se kap. 3.6), men de blir brukt i liten utstrekning. Ofte har produsentene sine egne kvalitetsbetegnelser som Natur, Select osv. At kvaliteten er homogen, er som regel det viktigste kravet. Tørre kvister er som regel uønsket både av produksjonsmessige og visuelle grunner. Lengde er også her en viktig faktor for interiørprodukter. I alle tider har paneler blitt levert i de lengder tømmeret spesifiserte. En ser imidlertid tendenser til en stadig større lengdesortering. Skal en sette opp en vegg som er 2,4 meter høy, har en lite bruk for panelbord på 4,5 meter!

Jevn forekomst av friske kvister er som regel regnet som den beste kvaliteten hos en sluttforbruker. Det er å få frem slike sorteringer som er viktig for den enkelte produsent. Dette jobbes det intensivt med i lauvtrebransjen som sannsynligvis er kommet lenger når det gjelder kundetilpasning av visuelle produkter.

For laminerte produkter kan både styrke (limtre) og utseende være det førende element, hver for seg eller i fellesskap. Laminerte produkter vil ha krav til utseende på limfuger og oppbyggingen av limkonstruksjonen, og krav til limfugens utseende kan ofte føre til at det teknisk optimale limet ikke kan benyttes.

2.1.3 Fuktighet

På grunn av trevirkets hygroskopiske evner, vil det hele tiden forsøke å innstille seg på en trefuktighet i takt med vekslingen i det omgivende klimaet. Dette innebærer at trefuktigheten vil veksle gjennom året for de fleste treprodukter i bruk. Både gjennomsnittlig nivå og svingningene i trefuktighet vil imidlertid avhenge av hvor trevirket benyttes. Produkter som skal benyttes innendørs i helårsoppvarmede boliger, innstiller seg på en betydelig lavere gjennomsnittlig trefuktighet gjennom året enn trevirke som er eksponert for uteluft.

Det å levere forskjellige treprodukter med rett tilpasset trefuktighet vil bare bli viktigere og viktigere, og gode tørkeprosesser vil derfor være sentralt i moderne produksjon av treprodukter. For mange produkter, for eksempel råstoff til limtre, møbler, gulv, interiør, etc., er det i mange tilfeller behov for en utjevningssfasen i et kontrollert klima etter tørkeprosessen, i og med at slike produkter har strenge krav både med hensyn til nivå for gjennomsnittsfuktighet og liten spredning mellom enkeltbiter.

Det er en trend for at det ønskes stadig lavere trefuktighet for en del treprodukter. Spesielt gjelder dette for produkter som skal benyttes innendørs i helårsoppvarmede boliger. Da kan krymping være svært ødeleggende, og derfor er det hensiktsmessig å tørke trevirket lenger ned før montering. For gulv med gulvvarme er dette en stor utfordring. Det er imidlertid viktig å være klar over at dersom trevirket tørkes for langt ned, kan svelling føre til skader på konstruksjonen i den fuktige delen av året.

Innvendig panel og listverk blir per i dag som oftest levert med en gjennomsnittlig trefuktighet på 16-17 %, selv om likevektsfuktigheten i helårsoppvarmede hus som oftest svinger i området 6-12 % gjennom året i Norge. Grunnen til dette er imidlertid at høvlingsresultatet og -utbyttet blir dårligere ved høvling av trevirket ved lave trefuktigheter, spesielt gjelder dette gran, som er svært utsatt for kvistutslag dersom det blir for tørt. Det er imidlertid liten tvil om at det beste hadde vært å fremstille panel og listverk ved en lavere trefuktighet, slik at uheldig krymping og formendring i større grad kunne unngås både før og etter montering.

For ordinært konstruksjonsvirke har det ikke vært så sterk fokus på trefuktighet, verken når det gjelder nivå eller spredning. For konstruksjoner som skal være eksponert for inneluft, er det imidlertid viktig å tørke trevirket lenger ned enn det som er vanlig for ordinær konstruksjonslast (som oftest en gjennomsnittlig trefuktighet på 16-17 %). Dette gjelder for eksempel

synlige bærekonstruksjoner som skal ha både en visuell og en konstruksjonsmessig funksjon. En betydelig uttørking etter montering vil kunne gi skader som er ødeleggende for begge disse aspektene.

En del av konstruksjonsvirket brukt i ordinær boligbygging vil også bli utsatt for en midlere likevektsfuktighet gjennom året, som ligger betydelig lavere enn det trevirket er produsert ved (i etasjeskiller mellom oppvarmede rom kan trefuktigheten komme ned i 8 % i bjelkelaget). Dette er i mange tilfeller ikke noe kritisk, men i en del sammenhenger kan det føre til uheldige konsekvenser. Det samme gjelder for høy spredning i trefuktighet mellom virkesbitene, som blant annet er en medvirkende årsak til svikt og knirk i gulvbord eller parkett. Det aller beste ville selvfølgelig være å tørke virket ned til en fuktighet som det i middel ville få i praktisk bruk. Dette vil imidlertid kreve ekstra tørkekostnader og en nitidig oppfølging av fuktigheten frem til montasje.

Hvilke krav som settes til trefuktighet for det enkelte produkt, både når det gjelder middelerverdi og spredning, er en optimalisering med utgangspunkt i hva som er ønskelig, hva produsenten kan klare å levere, og hvilke kostnader dette innebærer. Det har imidlertid blitt satt mer og mer fokus på tørkekvalitet i den siste tiden, og nye europeiske standarder er under utarbeidelse på dette området, både når det gjelder regler for prøvetaking og ulike klasser for middelfuktighet og spredning i sluttluftighet (prEN 13183-1, prEN 13183-2, prEN 14298). De ulike kravene som er gitt i disse standardene er basert på ulike erfaringer i industrien, med hensyn til hvilke krav som er realistiske å stille, der blant annet registreringer i norsk trelastindustri har inngått i vurderingsgrunnlaget (Tronstad 1998, Tronstad *et al.* 2001).

Det er også viktig å ta vare på tørkekvaliteten, helt fra produsent til produktet er ferdig montert i det aktuelle klimaet. I denne kjeden vil det i mange tilfeller være nødvendig både med aklimatiserte lagerrom og god emballering. Spesielt for treprodukter som er tørket langt ned, er det viktig med god emballering slik at trevirket ikke tar til seg fuktighet igjen. Dette vil bli viktigere og viktigere i tiden som kommer.

2.1.4 Overflate

Ønsket overflatekvalitet avhenger av hvilken bruk trelasten er beregnet for. For konstruksjonsvirke er det tilstrekkelig at skurlasten blir justerhøvlet. For visuelle produkter settes det imidlertid mye strengere krav til overflatens beskaffenhet. Ulike overflatebehandlinger "avslører" ujevnheter i overflaten nokså raskt, og dette setter høye krav til "høvlingsfinish". Spesielt viser det seg at ved industriell overflatebehandling må det settes høye krav til trevirkets overflate. Dette er et område som det må arbeides videre med.

I tiden fremover vil det også bli stadig viktigere å kunne levere treprodukter som er ferdig overflatebehandlet fra produsent. Dette blir spesielt viktig for produkter som listverk, panel og kledning.

2.1.5 Emballering/produktpresentasjon

Ofte kan emballering være helt nødvendig for at treproduktet skal beholde sin fuktighet som er beregnet for sluttbruken. Tid er et minimum i de fleste byggeprosesser i dag, og treprodukter må tåle å bli neglisjert oppbevaringsmessig. Dette betyr at emballasjen treproduktene kommer i, må tåle de belastningene den blir utsatt for i håndteringen på både lager og byggeplass før den endelige monteringen.

Hensiktsmessig emballering er også viktig for å presentere produktet overfor sluttbruker på en bra måte. Her er det viktig å tenke i ulike nivåer, slik at både emballasje og ”pakkestørresler” tilpasses de ulike brukergruppene (profesjonelle kunder, detaljhandel, etc.). For å fremme bruken av treprodukter, vil det i fremtiden bli helt avgjørende at produktene presenteres overfor kundene i tiltalende og hensiktsmessig form.

2.1.6 Miljø

Ulike miljøaspekter vil bli stadig viktigere i fremtiden, og i utgangspunktet bør treprodukter ligge godt an i konkurranse med andre produkter på dette området. Det er imidlertid en del utfordringer også for treprodukter. Etter hvert må det blant annet kunne dokumenteres at produktene er fremstilt fra et råstoff som stammer fra en miljøsertifisert skogsdrift. Det må derfor være full sporbarhet mellom råstoffets opprinnelse og det ferdige produktet. Dette må igjen ivaretas gjennom ulike sertifiserings- og kontrollordninger.

Andre viktige aspekter omkring miljø ved bruk av tre, er trebeskyttelse. Det er for tiden en mer eller mindre negativ fokus på bruk av ulike tilsetningsstoffer i trevirket for å få det mer motstandsdyktig mot biologiske skader, og derfor er det satt i gang mye utprøving av nye impregnerings- og overflatemidler som er mer miljøvennlige. Av samme grunn har bruk av trevirke med naturlig holdbarhet (kjerneved) fått et oppsving i det siste.

For bruken av tre i fremtiden er det viktig at det profileres på de fortrinnene trevirket har når det gjelder ulike miljøaspekter.

2.2 Treforedlingsprodukter

Omtalen her begrenses til papirtyper som produseres i Norge. Krav til ulike papirtyper beskrives i en rekke håndbøker og lærebøker. Denne oversikten er hovedsakelig basert på boken ”Paper Science and Paper Manufacture” av John D. Peel (Peel 1999). Dessuten er det gjennomført en rundspørring blant nøkkelpersoner i norsk treforedlingsindustri.

2.2.1 Skrive- og trykkpapir

Den viktigste gruppen her er såkalt treholdig trykkpapir, laget hovedsakelig av mekanisk masse, så som trykkslipmasse (PGW) og termomekanisk masse (TMP). De viktigste kvalitetene er nevnt her.

Avispapir

Avispapir lages normalt av 100 % termomekanisk masse i flatevekker fra 38 g/m² til 48,8 g/m². For tynne kvaliteter tilsettes av og til kjemisk masse for å øke papirets styrke. De viktigste kravene til papiret er de noe uklare begrepene *trykkbarhet* og *kjørbarhet* (i hurtiggående trykkpresser). Begrepene er uklare fordi de egentlig innbefatter flere egenskaper hos papiret. For eksempel vil trykkbarheten avhenge av papirets overflatejevnheter, overflatestyrke, porestruktur og absorpsjonsevne overfor trykkfarge. Kjørbarheten registreres vanligvis som antall papirbrudd i trykkeriet, og avhenger av papirets styrke, primært slitstyrke, og også av dets seighet. Seigheten henger sammen med papirets tøybarhet, eller egentlig kombinasjonen av slitstyrke og tøybarhet. Denne oppgis vanligvis som papirets bruddarbeid (engelsk: TEA – Tensile Energy Absorption). Bruddarbeidet er et mål på papirets evne til å motstå sjokkerte påkjenninger, og sier også noe om hvor godt papiret vil motstå at en defekt, for eksempel et rift, vil spre seg og forårsake brudd. Papirets jevnhet er også viktig for kjørbarheten. Med jevnhet menes her at papiret har en jevn flatevekts-, tykkelses- og fuktighetsprofil på tvers av banen, og at rullene ikke inneholder skjevspenninger, som kan føre til at banen løper ustabil ("vandrer") i trykkpressene.

Kravene til overflatejevnheter og overflatestyrke avhenger av hvilken trykkeprosess som benyttes. I dag trykkes aviser vanligvis i *offsettrykk*. Dette er en litografisk prosess hvor trykkbildet overføres til en gummiduk som så overfører trykket videre ved at duken presses mot papiret. I og med at gummiduken er elastisk, vil trykkfargen komme i god kontakt med papiret, selv om dets overflatejevnheter ikke er spesielt gode. Likevel vil grove, ikke-kollapsede fibre gi problemer. Det er altså viktig at overflatejevnheten er lik over hele papiroverflaten. Trykkfargen er viskøs, og det benyttes også fuktevann på områder som ikke skal trykkes. Dette vannet skal hovedsakelig sørge for at trykkfarge ikke fester seg der gummiduken ikke skal overføre noe trykkbilde. Noe av vannet vil imidlertid emulgeres inn i trykkfargen og svekke bindingene i papiroverflaten også i de trykte områdene. Alt i alt vil dette kreve at papiret har god overflatestyrke, for at man skal unngå utnapping av fibre når fargefilmen splittes idet gummiduken og papiret skiller lag etter trykkingen.

Offsettrykk finnes i to varianter, såkalt *coldset* og *heatset*. I coldset skal trykkfargen "tørke" ved at oljen i fargen trekker hurtig inn i papiret, slik at trykkfargen på overflaten fester seg og ikke smitter av når avissidene føres sammen. Dette krever gode absorpsjonsegenskaper for oljen og en optimal, men ikke svært høy, overflatejevnheter. I heatset skal, som navnet antyder, fargen tørkes ved at papiret føres inn i et varmekammer umiddelbart etter trykkingen. Her er det viktig at papiret har en lav hygroskopisk koeffisient, det vil si at det krymper minst mulig når det tørker i varmekammeret. Dette

krever at fibrene i seg selv har liten tendens til krymping. Fibre i mekanisk masse vil på grunn av det høye lignininnholdet ha liten tendens til å krympe, hvilket altså er gunstig. Papir for heatset skal være så glatt som mulig, her er det da spesielt viktig å unngå grove fibre.

I tillegg til kjørbarhet og trykkbarhet kreves det at avisepapir har en viss lyshet. Hvis man lager den mekaniske massen av ferskt granvirke, vil lysheten oftest være bra nok uten bleking, eventuelt benyttes en enkel bleking med tilsetning av hydrosulfit til en massepumpe før et massekar. Hvis virket er mørkt på grunn av lang lagringstid, råteskader eller annen misfarging, kan det bli nødvendig med en kraftigere bleking, enten som en mer effektiv hydrosulfitbleking eller med hydrogenperoksid. Lyshetskravet til vanlig avisepapir ligger rundt 60 % ISO.

Alt i alt hevdes det at gjennomsnittlig nivå for de enkelte egenskapene er av mindre betydning enn lokale variasjoner. For å unngå høyfrekvente variasjoner i glans i heldekkende trykk ("mottling") og i gjennomtrykk, er det viktig at fibernettsstrukturen er jevn, med små lokale variasjoner i flatevekt (god "formasjon"), og at man har minst mulig høyfrekvente variasjoner i overflate-ruhet. I slutten av papirmaskinen glittes papiret ved at det føres gjennom en maskinkalander med flere nip mellom harde valser. Ved ujevn flatevekt, og dermed ujevn tykkelse på papiret, risikerer man at papiret knuses i glitten, slik at det oppstår transparente flekker i papiret. Maskinglitten gir papiret jevn tykkelse, men ujevn overflatejevnheter, ved at tykke deler av papiret glittes mer enn tynne.

Forbedret avisepapir

Dette er avisepapir med noe høyere lyshet enn vanlig avisepapir, og også noe høyere flatevekt. Vanligvis tilsettes det noe kjemisk masse som armeringsmasse. Det benyttes ofte til reklamebilag i aviser, enkle brosjyrer o.l. Også her er det krav til kjørbarhet og trykkbarhet, med de samme kommentarer som for avisepapir. Det er viktig med jevne tverrprofiler for fuktighet, flatevekt og tykkelse. Mer nyansert bruk av papiret gjør at det vil kunne bli trykket med forskjellige trykkeprosesser. Boktrykk vil stille større krav til overflatejevnheter og densitet enn offset. Dyptrykkprosessen stiller de største kravene til overflatejevnheter. Her er imidlertid ikke kravene til overflatestyrke så store som ved offsettrykking, fordi trykkfargen er svært tyntflytende (har lav viskositet).

Forbedret avisepapir får ofte en lett pigmentbestrykning for å forbedre overflatejevnheten. Denne påføres i papirmaskinen, for eksempel i en såkalt "film presse". I en slik presse blir ikke belegget så jevnt som i en bladbestryker (som normalt benyttes for LWC, se nedenfor). Pigmentbelegget er tynt, 4-6 g/m² per side.

Magasinpapir

Det er to hovedtyper av magasinpapir: ubestrøket og bestrøket. I Norge produseres bare ubestrøket magasinpapir, såkalt "SC-papir". SC står for at papiret er "superkalandret", det vil si glittet i en separat prosess etter papirmaskinen. I superkalanderen kjøres papiret gjennom en rekke pressnip.

I hvert nip presses papiret mellom en myk og en hard vals, noe som gir papiret høy glans uten at det risikerer å bli knust i tykke områder i samme grad som i en maskinkalander. Superkalanderen gir papiret mindre variasjon i "mikroruhet", men mer variasjon i papirtykkelse sammenlignet med en maskinkalander. Som råstoff for superkalandrert papir, benyttes mekanisk masse (TMP) med noe tilsetning av kjemisk masse som armering (10-15 % av fibermengden). I tillegg tilsettes en god del fyllstoff (i Norge opp til 35 % "porselensleire" = china clay = kaolin) for å gi papiret bedre opasitet (mindre gjennomskinnelighet). Kalsiumkarbonat kan også benyttes som fyllstoff i SC-papir.

Kravene til papiret går også her i første rekke på kjørbarhet og trykkbarhet. Bruddfrekvensen i trykkeriene må holdes nede.

Den andre hovedtypen magasinpapir er papir hvor overflatens jevnhet er forbedret ved at det er bestrøket med mineralske pigmenter, vanligvis kaolin eller kalsiumkarbonat. Til dette benyttes normalt en bladbestryker som "sparkler" papiret med en blanding av pigmenter og bindemidler. Avhengig av beleggets tykkelse, karakteriseres papiret som "LWC" (light weight coated), "MWC" (medium weight coated) og "HWC" (heavy weight coated). Beleggs-tykkelsene ligger normalt på 4-15 g/m², 15-25 g/m², respektive > 25 g/m² per side. Total flatevekt vil være 42-80 g/m², respektive 70-135 g/m² (for de to tyngste klassene). Det produseres også "ultralett" LWC (= ULWC) i flatevekter under 40 g/m².

Selv om overflaten på LWC og beslektede kvaliteter dekkes mer eller mindre fullstendig av pigmentbestrykningen, er kravene til råpapiret svært store. Når overflaten takket være bestrykningen blir svært jevn, vil ujevnheter bli lettere å oppdage. Reklamasjonsmengden per tonn produkt sies å øke jo glattere papiroverflaten er. Det er nødvendig å glitte råpapiret i papirmaskinen før off-line bestrykning.

Bestrøket magasinpapir lages vanligvis av 50-70 % mekanisk masse, helst trykkslip, eventuelt iblandet noe TMP. TMP benyttes ikke som eneste komponent i mekanisk masse. Raffineringen/slipingen er drevet svært langt, med freeness nede rundt 40 ml CSF. 30-50 % kjemisk masse tilsettes for styrke. Bestrykningsprosessen stiller relativt store krav til papirstyrken. Noe fyllstoff tilsettes vanligvis, normalt 10-15 % av fibervekten.

Finpapir

Se for eksempel Sveriges Skogsindustrieförbunds yrkesbok Y-304 (Gavelin, 1991).

Finpapir var opprinnelig en betegnelse for papir som skrivepapir, seddelpapir, dokumentpapir, boktrykkspapir og andre spesialprodukter laget av gode råvarer, helst i form av kjemisk masse, under streng kvalitetskontroll. I dag vil vi også regne med tekniske papirtyper som kopieringspapir og papir for datamaskinskrivere til denne kategorien. Det finnes i dag mekaniske masser som kan brukes i finpapir, uten at kvaliteten blir lidende.

Det finnes knapt generelle spesifikasjoner for finpapir. I visse lands tollbestemmelser finnes det krav som har til hensikt å gjøre det lettere å fastlegge tollsatser, for eksempel at det settes en øvre grense for papirets innhold av mekanisk masse. Dette er uheldig, fordi dagens mekaniske masser kan forbedre produktets kvalitet. Det ville være bedre om spesifikasjonene i hvert enkelt tilfelle ble fastsatt i forhandlinger mellom kjøper og selger.

Kravene til papiret går på lyshet, opasitet og trykkbarhet. Lyshetskravet gjør at bare blekte masser er aktuelle. Jevn og høy opasitet krever god formasjon, og lauvvedsmasser, for eksempel av eukalyptus, er høyst aktuelle som råstoff på grunn av sine korte fibre, som gir mindre flokking av fibre i arket. God formasjon gir også god styrke og dimensjonsstabilitet. God dimensjonsstabilitet innebærer at arkskåret papir beholder sin planhet og sine dimensjoner under lagring og konvertering med moderate endringer i luftens fuktighet. God dimensjonsstabilitet er betinget av god formasjon, riktig fiberorientering og jevne fordelinger i z-retningen, normalt på papirplanet.

I finpapir er det viktig å unngå tosidighet. Tosidighet kan være strukturell, med forskjellig fiberorientering i arkets to overflater, hvilket kan gi krummingsproblemer hvis arket utsettes for varierende luftfuktighet. Finstoff og fyllstoff bør være jevnt fordelt i arkets tykkelsesretning (z-retningen). Fiberorienteringen angis oftest indirekte, som forholdet mellom arkets slitstyrke målt i lengderetningen (papirmaskinens løperetning) og i tverretningen. For finpapir vil dette forholdstallet ligge rundt 2. Forholdet mellom slitstyrke på langs og på tvers kan styres på mange måter gjennom produksjonsprosessen.

Kravene til overflatejevnhet vil variere med hva papiret skal brukes til. Overflatedefekter som vire- og sugevalsmarkering bør unngås. God overflatejevnhet er betinget av fleksible fibre som lett kollapser. Lav fiberveggtykkelse er ønskelig. Fibre i kjemiske masser kollapser lettere enn fibre i mekaniske masser på grunn av deres lave lignininnhold som gir en lettere deformerbare fibervegg.

2.2.2 Liner

Liner brukes som ytterlag i bølgepapp. Det lages enten av ren sulfatmasse av barved eller helt eller delvis av returfiber, helst da fra resirkulert papir med lange fibre, slik som gammel bølgepapp (OCC = old corrugated containers). Liner av kraftmasse og bare liten tilsetning av resirkulert fiber betegnes *kraftliner*, mens liner som består hovedsakelig av resirkulert fiber betegnes *testliner*. Det stilles i dag ikke spesielle krav til vedråstoffet, ut over at det skal være jevnest mulig. Flis fra ulikt virke blandes for å holde jevnheten, for eksempel egenhugget flis og flis fra sagbruk.

Hovedkravene til denne papirtypen er god kantkompresjonsstyrke, god slitstivhet og god sprenghetsstyrke. Sprengstyrken korrelerer bra med bøyestivhet. Tøybarheten skal være lav, men ikke lavere enn at rilling og bretteing av den ferdige bølgepappen kan gjøres uten at linerens brister. Linerens overflate bør ha god friksjon og god gnidningsmotstand. Videre stilles krav til linerens

spaltingsmotstand, altså evnen til å motstå delaminering ved påkjenninger normalt på papirplanet. Slike påkjenninger kan man for eksempel få når limte skjøter i en bølgepappkasse belastes. Spaltingsmotstanden kan økes ved tilsetning av stivelse til massen, eller ved at massen behandles ("males") mer, slik at fibrene sveller mer før arkforming, noe som øker deres bindingsevne. Dette vil samtidig øke arkets densitet, og dermed reduseres bøyestivheten, samtidig som hygrostabiliteten også reduseres.

Det stilles forskjellige krav til overflatene på liner. Den siden som skal vende ut på den ferdige bølgepappen må ha en viss motstand mot inntrengning av vann, noe som oppnås ved at papiret gjøres noe hydrofobt, ved at massen tilsettes et harpikslim som felles ut på fiberoverflaten. Absorpsjonshastigheten av vann blir dermed redusert, typisk 28 °Cobb. °Cobb angir hvor mange gram vann 1 m² papiroverflate vil absorbere på en viss tid (vanligvis 1 minutt) og under et spesifisert vanntrykk. Den overflaten som skal vende inn mot selve bølgen i bølgepappen må absorbere vann hurtig. Dette er nødvendig for å få en hurtig binding mellom bølge og liner i bølgepappmaskinen. Vannabsorpsjonsevnen vil ligge i området 40-60 °Cobb.

Rent utseendemessig skal bølgepappens ytterside være jevn, med bra formasjon og fri for grove urenheter. Dette fordi bølgepapp ofte benyttes som displayemballasje med reklametrykk (vanligvis trykket i flexo, som er en form for høytrykk, i prinsipp som linoleumstrykk).

Den andre overflaten kan være grovere, fordi den ikke vil være synlig i ferdig bølgepapp.

De ulike krav til linerens to sider gjør at den i dag vanligvis lages i flere sjikt som består av forskjellig masse. På oversiden (utsiden av ferdig bølgepapp, ca. 25 % av fibermengden i arket) benyttes vanligvis en ren sulfatmasse med god bindingsevne. Normalt vil dette være en ubleket masse av barved, men det hender at kortfibret lauvvedsmasse tilsettes for å bedre formasjon og overflatejevnhet. Det lages også spesiell "White top"-liner, med bleket masse i toppsjiktet.

Ved bruk av kjemisk masse vil overflatestyrken bli god, men dimensjonsstabiliteten (hygrostabiliteten) kan bli noe dårlig. På linerens andre side, eller i midtsjiktet hvis pappen er laget i tre lag, benyttes en grovere masse som gir bedre dimensjonsstabilitet og noe lavere densitet enn i toppsjiktet. Lav densitet gir et mer "bulky" ark, noe som øker arkets bøyestivhet. I dette grovere sjiktet benyttes en sulfatmasse i relativt høyt utbytte, eventuelt tilsatt noe resirkulert fiber (OCC). Testliner lages utelukkende av resirkulert fiber, i enkelte tilfeller farges toppsjiktet brunt slik at lineren ligner mer på en kraftliner.

Lagdelingen kan skapes allerede når massen sprøytes ut på formeringsviren på papirmaskinen. Dette er mulig ved en spesiell utforming av papirmaskinens innløpskasse, slik at denne kan tilføres to, eller til tider tre, ulike masser som sprøytes i en lagdelt massestråle ut på viren. Alternativt kan papirmaskinen

utstyres med flere arkformingsenheter, slik at det lages flere tynne ark som presses sammen til et ark, før papirbanen går inn i papirmaskinens tørkeparti.

I og med at liner oftest er en flersjikts struktur er det fare for at de to sidene vil ha forskjellig hygrostabilitet, slik at lineren krummer når den kommer ut av papirmaskinen og utsettes for fuktendringer. Dette kan være et problem, men det er mer relatert til papirstruktur og tørkespenninger fra papirmaskinen enn råstofftype.

2.2.3 Fluting

Dette er papiret som benyttes i selve bølgen i bølgepapp. Det lages normalt i flatevekter fra 105 g/m² til 240 g/m². Bølgepapp leveres i en rekke kvaliteter, med spesifiserte krav til flutingens og linerens flatevekt og størrelsen på bølgene. Hovedkravet til flutingen er at den skal være svært stiv og ha god kantkompresjonsstyrke på tvers av maskinretningen. Dessuten skal det ha god vannabsorpsjonsevne av hensyn til klistringen mellom bølge og liner i bølgepappmaskinen.

For å lage et stivt papir trengs en stiv fiber med god bindingsevne. Den beste flutingen lages av lauvved, helst bjørk, ved hjelp av en massefremstillingsmetode som benytter en lett "koking" av vedflisen med en sulfitholdig kokevæske ved nøytral pH, før defibrering av flisen i en skiveraffinør. Metoden kalles "NSSC" (neutral sulfite semi chemical), og massen lages med et utbytte (regnet på ved) på omlag 75 %. Fibrene blir stive på grunn av et høyt lignininnhold, samtidig som kokemetoden bevarer hemicelluloseinnholdet i fibrene. Hemicellulosen er selve klisteret når fibre bindes til hverandre i papir, og man får derved sterke interfiberbindinger i papiret. Papiret får nærmest en flatbrødlignende karakter. Under produksjonen av bølgepappen må derfor flutingen mykgjøres ved damppåføring umiddelbart før bølgen formes, for å unngå at flutingen brister.

Simplere typer fluting kan lages helt eller delvis av resirkulert fiber. Det tillates da å gå noe opp i flatevekt i forhold til spesifiserte krav. For å øke stivheten påføres oftest stivelsesløsning i en limpresse, som er en form for bstryker i papirmaskinens tørkeparti.

2.2.4 Greaseproof

Greaseproof ("smørpapir") ble tradisjonelt benyttet til emballasje for smør og andre fettholdige stoffer. Papiret ble da laget av så godt malt kjemisk masse at det nærmest ble å betrakte som en polymerfilm. Massen var en spesiell sulfitmasse kokt under betingelser som ga svært liten utløsning av hemicellulose. I dag benyttes greaseproof mer og mer til produksjon av *release papir*. Dette er for eksempel bakepapir og backing papir for selvklebende etiketter. Slikt papir påføres silicon eller andre materialer som gir det gode slippegenskaper. Disse materialene er svært kostbare, og det er viktig at de

holdes tilbake på overflaten og ikke trenger for mye inn i papiret. Papiret må derfor være svært tett og ha god overflatejevnhet, men kravene til tetthet er ikke så høye som til tradisjonell greaseproof. Dette gjør at kravet til massen ikke er så spesielle som før, og greaseprooffabrikkene benytter i dag både vanlig sulfitmasse og sulfatmasse. Massene er basert på barved, i spesielle tilfeller benyttes tilsetning av opptil 25 % lauvvedsmasse hvis det er krav om dimensjonsstabilitet, for eksempel for backing papir for selvklebende gulvflis av vinyl. For bakepapir er varmestabilitet et krav som best oppfylles ved å bruke sulfatmasse, i motsetning til sulfit. Man vet imidlertid ikke hvorfor sulfatmassen er best i dette henseende.

For å oppnå "greasing" er barved klart best. Helst skal massen aldri ha vært tørket (over 70 % tørrstoff) før den kommer til papirmaskinen. Hvis fabrikken ikke er integrert med både masse- og papirproduksjon, er det dermed en fordel om massen bare presses (kan oppnå ca. 40 % tørrstoff) før transport til papirfabrikken.

Det lar seg etter sigende ikke gjøre å oppnå greasing på kortfiber, som for eksempel osp.

Norske greaseprooffabrikker har ingen preferanse til virket, ut over at det skal være tilgjengelig og mest mulig økonomisk i bruk. Man bruker derfor stadig mer sagbruksflis, mest for å slippe å barke og hugge selv. De lange fibrene i sagbruksflisen er ikke spesielt fordelaktig. Det vil nok gi noe høyere styrke på papiret, spesielt må man tro de lange fibrene vil gi bedre rivstyrke som etterspørres i konverteringsmaskinene, men styrke er ikke noe problem. Ut over dette har man ikke sett noen spesiell kobling mellom fibermorfologi og papiregenskaper, eller andre koblinger mellom virkeskvalitet og papirkvalitet.

2.2.5 Derivatmasse (dissolvingmasse)

Dette er en masse som benyttes til kjemisk konvertering til produkter som rayon, cellofan, cellulose acetat, cellulose nitrat og karboksymetylcellulose. Massene skal være av så ren cellulose som mulig, med minst mulig lignin, hemicellulose eller ekstraktivstoffer. Massene lages enten i en modifisert sulfatcelluloseprosess eller som sulfitmasse. Viktigste råstoff er barved, men noe lauvved benyttes også. De reneste derivatmasser (99 % alfacellulose) er laget av bomullslinters.

Et viktig krav til derivatmasse er at cellulosekjedelengden skal bevares så godt som mulig, det vil si at alle former for nedbryting må unngås. Kjedelengden (polymerisasjonsgraden) måles som cellulosens "viskositet". Dette er egentlig viskositet målt på en oppløsning av cellulosen i kopperetylendiamin (CED).

For å unngå nedbryting av cellulosen, bør derivatmasse lages av ferskt virke. Polymerisasjonsgraden korrelerer med fiberlengden, og det er derfor prinsipielt gunstig med lange fibre. Man unngår derfor å benytte tynningsvirke. Sagbruksflis burde være gunstig, men her er det et problem at det er dårlig kontroll med

lagringstiden på flisen før den kommer til massefabrikken. Alt i alt er derfor ikke sagbruksflis spesielt ettertraktet, hvis man da ikke har kapasitetsproblemer i eget huggeri og derfor gjerne vil kjøpe noe ferdig hugget flis. Det presiseres imidlertid at effektene av virkeskvalitet, sted i stammen, lagringstid etc. på DP er underordnet i forhold til den nedbrytning man risikerer ved feil koking og bleking (lyshetskrav 78-80 ISO). Fra Borregaard sies det derfor at man har satset langt sterkere på optimalisering av koking og bleking enn på virkesrelaterte effekter.

3. Virkesegenskaper og deres variasjon

Trærnes vekst påvirkes av arv og miljø. Av miljøfaktorer influerer bestandstettheten sterkt på trærnes veksthastighet og dermed på virkets egenskaper. Tidligere undersøkelser av bl.a. Janka (1904, 09), Klem (1934, 1944, 1952), Heiskanen (1955, 66), Nylinder (1958), Kollmann & Côté (1968), Persson (1976, 77, 85), Braastad (1979), Kramer & Spellmann (1980), Handler & Jacobsen (1986), Handler (1990), Høibø (1991a, 91b, 91c, 91d), Høibø & Eikenes (1991), Lindberg *et al.* (1999) viser at trevirkets egenskaper påvirkes i negativ retning når avstanden mellom trærne øker.

Janka (1904) sier at velpleid granbestand, oppkommet etter tett såing, gjennomgående viser en utmerket trekvalitet. Har derimot et bestand vært glissent, med særlig stor vekst i ungdommen, er virkesegenskapene dårlige. Om gran fra urskog sier Janka: "Særlig har de stammer et meget godt, tungt virke, som fra ungdommen av viser smale årringer og altså har vokst opp under skjerm av eldre trær i tett stilling".

Heiskanen (1966) fant god sammenheng mellom diameterveksten de første årene av et tres liv og diameteren på den grovste grenen i nedre del av stammen. Rask vekst i ungdommen gir grov kvist i rotstokken. Heiskanen sier at furu må anlegges tett, og tynning bør utsettes så lenge som mulig hvis kvaliteten skal bli god.

Persson (1976) fant en klar kvalitetsreduksjon ved økende planteavstand hos furu. Økt kvisttykkelse var hovedårsaken til kvalitetsforringelsen. Hos gran (Persson 1985) var den tilsvarende sammenhengen ikke så klar.

Høibø (1991a) konkluderer med at økt planteavstand gir dårligere kvalitet på tømmer og skurlast av gran. Skal det produseres god kvalitet med hensyn på kvist, bør trærne stå tett i ungdommen. For styrkeegenskapene har tettheten senere i et bestands liv større betydning.

Trevirkets egenskaper bestemmes av en kombinasjon av genotype og miljøfaktorer (Lindeberg *et al.* 1999). Genotypen setter de genetiske forutsetninger, og miljøfaktorene de faktiske nivåer. Miljøforhold som solstråling, næring, vann og temperatur, så vel som mekanisk påkjenning fra for eksempel vind og snø, påvirker rotens og kronens utvikling og styrke. Disse faktorene kan også kunstig påvirkes ved skogbehandling.

En mer optimal bruk av tre vil kanskje nås gjennom bedre forståelse av hvordan miljøforhold virker inn på vekst og basisegenskaper hos trevirke. Dette vil også lette bruk av skogkultur for å nå bestemte tre- og virkesegenskaper. For alle treslag kan det finnes store variasjoner mellom bestand, mellom tre innen et bestand, og innen et tre (Zobel & van Buijtenen 1989). Variasjonen er ofte størst mellom tre. Dette begrenser gjerne sluttbrukverdien, men er kanskje også av verdi hvis den kan kontrolleres, oppdages og utnyttes.

Virkeskvalitet er ikke noe entydig begrep. Vurderingen og betydningen av ordet virkeskvalitet avhenger av hva virket skal brukes til. Ulike egenskaper hos trevirke tillegges forskjellig vekt avhengig av bruksområdet.

Videre er det verdt å merke seg at virkeskvalitet ikke er noe statisk begrep. Kvalitetsbegrepet har forandret seg, og vil fortsette å forandre seg med tiden, som følge av endrede produksjonsmetoder og/eller nye krav til industriens produkter. Komplekset skogbruk, industri og marked er derfor knyttet nært sammen (Carlsson *et al.* 1985).

3.1 Anatomiske egenskaper

3.1.1 Kvist

Kvist er en verdireducerende faktor for de fleste industrigrener, men den spiller størst rolle for sagbruksindustrien og ved finérproduksjon. Kvist er den viktigste nedklassingsårsak for skurlast (Dalen & Høibø 1985). I prima og sekunda sagtømmerreglement er det derimot forholdsvis vide regler for nettopp kvist. Kvistegenskaper er ifølge Moberg (1999) viktige for mange treprodukter. Kviststørrelse påvirker styrke og stivhet i trevirke på grunn av dårligere virkesegenskaper i kvist og avvikende fiberretning rundt kvister. Økt vertikal kvistvinkel reduserer trevirkets formstabilitet. Enkelte store kvister, eller grupper av kvister, forårsaker nedklassing av konstruksjonsvirke, limtre- og fingerskjøtingsvirke, samt virke til vindusrammer. Antall kvister, kvist-fordeling og kvisttype påvirker trevirkets estetiske egenskaper. Kvistegenskaper er derfor viktige ved sortering av trevirke til ulike formål.

Frisk kvist

Frisk kvist er anatomisk forbundet med stammeveden. Små friske kvister påregnes å ha liten betydning for kvaliteten, men kvaliteten reduseres i takt med kvistens størrelse. Rundt kvistfestet, i stammens tverrved, er det ofte islett av tennar. Omkring større kvist øker tverrvedens volum. Opptrer kvisten tettsittende, vil en betydelig del av stammen være dårlig egnet både til skurlastproduksjon og som cellulose- og tremassevirke.

Når trærne får en normal utvikling i et sluttet bestand, vil grenene vokse relativt raskt og leve i relativt kort tid. Når stammen og kronen vokser i høyden, utvikles det nye, yngre grener som avløser de eldre i deres fysiologiske rolle (Gaalaas 1934). Disse eldre grenene dør derfor innen de har oppnådd noen større diameter, og har oftest lett for å falle av. Vanligvis setter de kun små merker etter seg i veden.

Er skogen glissen, får hvert tre sterk rotutvikling. Næringstilførselen fra røttene og lystilgangen vil kunne være tilstrekkelig til å holde hele kronen i live. De eldre grenene utvikler seg da til stadig tykkere og grovere kvist. Det samme kan man også iaktta i sluttete bestand, hvor trærne står i uregelmessig stilling i forhold til hverandre. Et tre som står tett inntil et annet, får på denne siden en

sparsom kvistdannelse. Er det åpent rom for kroneutvikling til den andre siden, får det her stor og grov kvist. Jo mer kvistdannelsen hemmes på en kant, desto sterkere blir utviklingen på den andre (Gaalaas 1934).

Tørrkvist

Innen skurlastbransjen brukes vanligvis betegnelsen svartkvist om død- eller tørrkvist. Denne kvisttypen har en langt større kvalitetsreducerende effekt enn friskkvist av samme størrelse (Braastad 1985). Graden av kvalitetsreducerende effekt vil naturligvis være avhengig av hva virket skal brukes til. Både frisk- og tørrkvist reduserer skurlastens styrkeegenskaper betydelig. Ved produksjon av cellulose og tremasse representerer tørrkvisten et forurensingsselement (Gaalaas 1934). Tørrkvisten er oftest innkapslet i et harpiks- eller barklag. Dette viser seg som en mørk ring rundt kvisten, og medvirker til at den lett faller ut ved skjæring og høvling.

Inntrenging av harpiksstoffer fra stammeveden gjør den innvokste kvisten mørkfarget (Paterson 1938). Tørrkvisten er oftest svært hard, og den hardeste kvisten får man vanligvis på midlere og svake boniteter. På god bonitet utvikles den oftest i upleiet underskog etter plukkhogst (Gaalaas 1934).

Gaalaas (1934) skiller mellom to utpregede typer av underskog som er utformet under forskjellige vekstbetingelser. I de tilfeller hvor trærne vokser opp i tette bestand, vil en del trær bli etter i konkurransen og danne underskog. Disse trærne får et minimalt rotrom, og dermed følger også en svak kroneutvikling. Trærne får en slank form og lite kvist, men er svake for toppbrekk og snøtrykk.

En helt annen underskogtype dannes når trærne vokser opp spredt eller enkeltvis i skyggen av eldre trær. Småtrærne har da ofte anledning til en sterk rotutvikling og kan utvikle en forholdsvis stor krone. Hvis kroneveksten oppover blir hemmet av overskjermende trær, foregår kronetilveksten hos sidegrenene, som kan holdes i live i lang tid. Dette fordi de ikke kan avløses av yngre grener slik det skjer ved normal kronetilvekst oppover. I sin typiske utforming har disse trærne en hvelvet, paraplyformet krone med små forkrøplede toppskudd. Kvistsettingen er tett og nålsettingen glissen. Nålene er korte og matte av farge. De nederste grenene av første orden er ofte nakne langt utover, tildels hengende og alltid med hard kvistved. Når disse grenene til sist dør, danner de en svært hard harpikstrukket tørrkvist, som blir sittende på stammen svært lenge.

Variasjoner i kvistegenskaper

Skogbehandlingen har stor innvirkning på de ulike kvistvariablene og sammenhengen mellom disse. Et inngrep gir ikke bare utslag på kvistdiameter, men ofte også på kvistlengde og andre kvistegenskaper. Effekten av skogbehandling i form av økt planteavstand vil forsterkes med økning i bonitet, og gi store utslag på kvistegenskaper og tømmer- og trelastkvalitet.

Generelt vil økt avstand mellom trærne føre til utvikling av lengre grener, da de ønsker å utfylle det vekstrommet de har til rådighet. Videre får grenene mer barmasse og blir tjukkere. Den økte barmassen fører videre til kraftigere

diametertilvekst for stammen, slik at årringene blir større og densiteten lavere (Høibø 1991a, 1998, Moberg 1999). Økt planteavstand vil dessuten føre til at grenene lever lenger, slik at friskkvistvolumet øker (Høibø *et al.* 1997). Bedring i vekstforhold (bonitet) vil også bidra til økt barmasse og økt høydetilvekst. Kvistdiameteren viste seg å være den egenskapen som i størst grad ble påvirket av planteavstanden (Moberg 1999).

Man vil kunne få forskjeller i kvistmønster og virkeskvalitet fra henholdsvis plantet og naturlig forynget skog, da vekstforholdene de første årene etter disse to etableringsformene ofte er forskjellige. Plantet skog på åpne flater vil vokse raskt i starten, da det enkelte tre har liten konkurranse med andre trær. For noen treslag er dette naturlig, da de er pionertreslag. For gran som er et klimakstreslag, er dette ingen naturlig etableringsform. For naturlig forynget gran, som de første årene står under større trær, vil veksten bli hemmet.

Et materiale fra Røyken kommune og et annet fra Rustad i Ås kommune, viser at økt planteavstand har negativ innvirkning på både tømmerkvalitet og trelastkvalitet hos gran (Høibø 1998). Diameteren til største tørrkvist i sagtømmeret fra Spikkestad, økte signifikant med planteavstanden fra 16,3 mm for planteavstand 1,25 m, til 21,0 mm for planteavstand 2,25 m. Middeltall for største tørre kvist på sagtømmeret fra Rustad var på 24,8 mm. Kvistdiameteren viste seg å være den egenskapen som i størst grad ble påvirket av planteavstanden. Planteavstand på 3,0 m er uakseptabelt hvis målet er å produsere trelast av god kvalitet (Høibø 1998). Dette prøvematerialet viste at sannsynligheten for god tømmerkvalitet avtok med økende høyde over bakken. Sannsynligheten for tørrkvist som nedklassingsårsak begynte å avta ca. 10 m over bakken, det vil si mellom 2. og 3. stokk. Denne høyden vil være avhengig av planteavstanden, slik at stor avstand vil føre til en lavere kronegrense. Man må riktignok være oppmerksom på at om det er ønske om friskkvist betydelig lenger ned på stammen, vil grendiameteren bli betydelig større (Høibø 1998).

Antall grener i hver grenkrans er bare i liten grad avhengig av bestandstettheten. Egenskapen er i det vesentlige genetisk bestemt (Kärkkäinen 1987). Grenantallet kan derfor bare i liten grad reduseres gjennom skogskjøtselen. Det er mer å hente gjennom foredlingsarbeid.

Svenske forbandsforsøk viser at variabelen "bredden av fem årringer utenfor 20 mm i brysthøyde" er sterkt korrelert med diameteren hos den groveste grenen i området 0-4 m fra bakken (Persson 1977, 1985, Lehmann *et al.* 1984).

Lehmann *et al.* (1984) har undersøkt om sammenhengen mellom "bredden av fem årringer" og grendiameter også gjelder for trær som er etablert ved naturlig foryngelse. Det ble funnet god overensstemmelse, men korrelasjonskoeffisienten var lavere i dette materialet, 0,47 mot 0,76 i de ovennevnte forbandsforsøkene. Grunnen til denne forskjellen var bl.a. at variasjonsbredden for "bredden av fem årringer" var mindre ved naturlig foryngelse enn ved planting.

Rotstokken utgjør oftest mer enn halvparten av stammens verdi (Hägg 1989). De grenene som finnes på et tre når det er 4-5 m høyt, vil opptre som kvister

i sentrumsutbyttet. Grenenes diameter har derfor betydning for kvaliteten av sentrumsutbyttet, og dermed for stokkens verdi. For at kvistene i stokkens sentrumsutbytte skal bli små, er det nødvendig at grentilveksten bremses i den perioden det er levende grener i området 0-5 m over bakken. Tett foryngelse og sen rydningshogst er derfor viktige forutsetninger for å oppnå dette. En tett foryngelse reduserer stammens diameter-tilvekst, og dermed grenenes diameter-tilvekst. Når det gjelder rydningshogst, viser svenske undersøkelser av furu (Andersson 1985, Hägg 1989) at trærnes alder ved rydning influerer sterkt på grendiameteren. Hägg (1989) sier at om rydningshogsten utsettes 10 år, reduseres grendiameteren med minst 5 mm.

Det finnes alltid variasjoner i kvist- og virkesegenskaper innen et bestand. Differensiering innen et og samme bestand fører til heterogen vekst blant trærne i bestandet, og skyldes for eksempel lokale variasjoner eller genetiske forhold. Siden sekundærvekst har en relativt lav prioritet ved stress fra konkurrerende trær, vil trær fra undertrykte kronelag produsere smalere årringer i grener og stamme enn mer dominerende trær. Slike effekter av forskjeller innad i bestand er ifølge Moberg (1999) funnet i tallrike studier av grenstørrelse, friskkvistlengde, grenantall og grenvinkel. I samsvar med dette er det påvist signifikante interne bestandseffekter for en rekke kvistegenskaper (Moberg 1999). Variasjon i vekst og virkesegenskaper mellom trær i et bestand, er et resultat av både genetiske forskjeller og lokale variasjoner i vekstforhold.

Kvist er en av de egenskapene som er mest påvirket av utgangstetthet og konkurranse i et bestand. Dette er naturlig da grenene inneholder den grønne delen av kronen, der det meste av tørrstoffet produseres. Vestøl *et al.* (1997) har beskrevet en metode for å modellere forskjeller i kvistsetting og kvistegenskaper hos gran mellom dominerende og undertrykte trær. Maksimal kvistdiameter og gjennomsnittlig friskkvistlengde i kransene viser signifikant sammenheng med trærnes konkurranseevne. Dominerende trær har større kvistdiameter og lengre friskkvist enn undertrykte trær. Variasjonen langs stammen er mer utpreget for dominerende enn for undertrykte trær. Forskjellene mellom de undertrykte og de dominerende trærne er større på gode enn på dårligere boniteter.

Høibø *et al.* (1997) undersøkte for gran sammenhengen mellom diameter- og høydetilvekst som uavhengige variable, og kvistdiameter og andel friskkvist som avhengige variable. Kvistdiameteren økte med økende middelårringbredde. Kvistdiameterene hos trær på høy bonitet varierer betydelig mer enn kvistdiameterene hos trær på lavere bonitet. Økt bonitet eller økt gjennomsnittlig høydetilvekst ga signifikant mindre kvister når gjennomsnittlig årringbredde var konstant.

Kviststrukturen hos furu kan, som hos gran, deles inn i en friskkvistsone, en tørrkvistsone og en kvistfri sone, som mer eller mindre vil overlape hverandre (Høibø & Vestøl 2000). Sonebreddene avhenger av diametervekst og kroneutvikling. Ved en gitt høyde bestemmes bredden av friskkvistsonen av samlet diameter-tilvekst mens grenene er levende. Tørrkvistens sonebredde avhenger på samme måte av samlet diameter-tilvekst i perioden etter at grenene er døde.

De fleste undersøkelser av kvist hos furu er gjort på bestandsnivå, men det er også utviklet enkelttremodeller for furu (Moberg 1999, Høibø *et al.* 1999).

Naturlig kvistrensing

Grendiameteren og kvistmengden vil, i tillegg til mange andre faktorer, være avhengig av hvor lenge grenene holdes i live, og av den naturlige kvistrensingen (Nylinder 1958). I tette bestand dør grenene relativt tidlig på grunn av lysmangel. Kärkkäinen (1987) sier at bare de 8-15 øverste grenkransene vil være levende i sluttede bestand av ungfuru.

Begrepet naturlig kvistrensing omfatter grenens avdøying, nedbryting og kvistens overvoksing, men det er vanskelig å sette skarpe skiller mellom disse stadiene. Om en gren dør på grunn av ytre påkjenninger, for eksempel at grenen brytes av, er dette også en nedbryting. Kviststumper kan også sitte igjen i barken, selv om kvisten innenfor er overvokst (Weslien 1985).

Grenavdøyingen er avhengig av tettheten i bestandet. Avdøyingen skjer tidligere i tette enn i glisne bestand, men også lokale forhold og genetiske faktorer har betydning. Tidlig grendød innebærer tynnere kvister, som igjen påvirker den videre kvistrensingen (Weslien 1985).

Ifølge Mayer-Wegelin (1952) brytes grankvisten veldig langsomt ned. Kvisten kan sitte igjen på stammen i opptil 100 år, mens kvistrensingen hos furu skjer raskere. Den tiden det tar før kvisten er brutt ned påvirkes av klima, kviststørrelse og av tynningsinngrep.

Romell (1937) fant at tiden fra kvisten var død til den falt av, varierte fra 25 år til 90 år ved samme kvistdiameter hos furu. Dette forklares med at det er forskjeller i kvisters nedbrytingshastighet, og at innvirkningen av snø og is er forskjellig.

Kvistnedbrytingen skjer i vesentlig grad av sopper, og klimaet vil således influere på nedbrytingen. Åkerbrand (1957) diskuterer hvilken betydning klima og bestandsforhold har for virkeskvaliteten. Nedbørsmengden i vegetasjonsperioden synes å være en viktig faktor. En annen viktig faktor er skogtypen. Sterk markvegetasjon holder tilbake fuktighet i bestandet. Furu er særlig dårlig kvistrenset på de tørre furumoene i nordvestre Dalarna og i Härjedalen, til tross for at den er finkvistet. Under ellers like forhold trengs det lenger tid til å bryte ned grov kvist, men tynne kvister tørker lett ut og kan derfor av og til sitte lenge på (Paul 1938). Kvistens sammensetning må også tillegges en viss vekt (Bailey *et al.* 1974, Gava 1974). Åkerbrand (1957) mener at kvisten hos furu på tørre moer tilsynelatende inneholder mere kvae enn på andre voksesteder.

Ifølge Heikinheimo (1953) påvirkes kvistrensingen positivt av tynning, dels ved at kvister blir slått av og dels av at utglisning gir bedre forhold for kvistrensing. Romell (1937) fant en klar forskjell i kvistrenningsforløpet mellom sterkt og mindre sterkt tynnede deler av en forsøksflate. Paul (1938) hevder at stor tetthet

bidrar til en raskere nedbryting av kvisten fordi fuktigheten holdes på et høyere nivå.

Kärkkäinen (1987) sier at snø, is og vind er viktige faktorer for kvistrensingen. Kvistenes tverrsnittsareal har derfor stor betydning, da dette påvirker de kreftene som er nødvendig for å bryte av kvisten, eller den tiden det tar for soppene å redusere kvistens styrke slik at den løsner. En kvist på 12 mm har ca. 44 % større tverrsnittsareal enn en kvist med 10 mm diameter. Små forskjeller i kvistdiameter kan således ha stor betydning for kvistrensingen.

Hägg (1989) fant at økt innblanding av lauvtrær påskynder kvistrensingen. Ved samme stammeantall per hektar fremmes kvistrensingen når andelen lauvtrær øker. I 40-50 år gamle furubestand økte tørrgrensgrensen med 6,6 cm i gjennomsnitt for hver 10 % økning av lauvtreandelen.

Treets tilvekst påvirker naturligvis også kvistrensingen. Ved samme tilvekst kan kvisten bli overvokst tidligere eller senere avhengig av nedbrytingshastigheten. Nødvendig radiell tilvekst er lik kviststumpens lengde utenfor det året kvisten døde (Weslien 1985). Romell (1940) har observert at kviststumper kan sitte igjen i barken, selv om kvisten er overvokst. Han mener at mørken kvist kan rives av gjennom påkjenninger fra kambiet. Disse påkjenninger er trolig større jo raskere et tre vokser, hvilket skulle medføre at høy tilvekst gir en mindre overvokningsbredde.

Da kvisten brytes ned av råtesopper, vil kvisten alltid være mer eller mindre råtebefengt. Dersom den delen som er angrepet av råte, kommer frem i sagsnittet, blir kvisten bedømt som råtekvist. Jo større del av den overvokste kvisten som er angrepet av råte, jo dårligere kvalitet kan forventes (Weslien 1985).

Den naturlige kvistrensingen fremstår som et komplisert samspill mellom ulike faktorer. Hva som virker positivt og hva som virker negativt, synes å være relativt klart, men det mangler kvantitative sammenhenger mellom faktorer.

3.1.2 Kvistmodeller

Modeller for kvist- og grensetting hos enkelttre, er tillagt stor interesse de senere årene. Det generelle prinsippet for mange av disse tilnærmelsene er at ulike bestands- og trevariabler kan nyttes til å forutsi kvalitetsegenskaper. Disse modellene er ofte brukt i forbindelse med skursimulering for å skape en link mellom produktutfall og ulike skogbehandlingsstrategier, råmaterialressurser eller kappe- og skurmønstre. På denne måten er det mulig å studere utnyttelsen av tømmer ved forskjellige avgjørelser i hele kjeden fra skog til ferdig produkt.

For å definere kviststrukturen i en stamme, er det nødvendig å beskrive kvistens vertikale og horisontale variasjon i hvert enkelt tre. Ifølge Øyen (1999) har Schöpf (1954) og Björklund (1997) studert kviststruktur i furu. Kärkkäinen (1986) og Väisänen *et al.* (1989) har utviklet modeller for indre kviststruktur i

furu i Finland. Leban & Duchanois (1990) har beskrevet tilsvarende modeller for gran i Frankrike. Høibø *et al.* (1997) og Vestøl & Høibø (1998a) har modellert kviststruktur hos norsk gran. Ifølge Øyen (1999) er det fortsatt behov for å modellere indre kviststruktur hos enkeltrær ved hjelp av objektivt målbare parametre. Øyen (1999) har utarbeidet en modell for friskkvistsylinder i gran, og Moberg (1999) har gjort omfattende studier av kvist i furu og gran.

Mange modelleringsforsøk fokuserer på ytre gren- og kviststruktur (Moberg 1999). For å kunne fremskaffe data om indre kvalitetsegenskaper for hele stammer (både under og over levende krone), må disse modellene anvendes om og om igjen sammen med tilvekstmodeller. Hensikten er med andre ord å etterligne den dynamiske prosessen til trærnes vekst, kronevekst og kronereduksjon gjennom hele omløpet.

Modeller direkte basert på indre kvistsetting gjør det mulig å samtidig studere virkning av tidligere og nåværende vekstforhold. Disse er laget enten på bakgrunn av destruktive eller ikke-destruktive målinger. Ved hjelp av ikke-destruktive metoder, er det ifølge Moberg (1999) mulig å vurdere effekter på kvistegenskaper både på bestandsnivå og trenivå. Moberg (1999) hevder også at det er mulig å beskrive variasjonen i maksimal og gjennomsnittlig kvistdiameter per kvistkrans ved ikke-lineære, segmenterte modeller. Modellene fungerer tilstrekkelig uavhengig av vekstforhold, voksested og grad av utvikling. Det er imidlertid vanskelig å beskrive variasjonen i vertikal kvistvinkel og tørrkvistlengde. Dette henger delvis sammen med manglende presisjon i måle metodene, og delvis med relativt stor genetisk effekt på vertikal kvist-vinkel og tilfeldig forekomst av naturlig oppkvisting. Ifølge Oja (1999) vil destruktive stammeoppdelingsteknikker (oppdeling i stammeseksjoner eller stammeskiver) gi mer presise målinger av disse egenskapene. Før en implementerer disse resultatene i praktisk bruk, bør modellene prøves og kalibreres mot et uavhengig datasett (Moberg 1999).

Modellene som er laget for kvist i gran, kan sammen brukes som et system for å simulere indre kviststruktur. Dette systemet kan i tillegg inkludere antakelser eller modeller som beskriver vertikal kransplassering, margplassering, radiell kvistretning og variasjon i kvistdiameter innen hver krans, samt modeller for kvist i alle kranser generelt. Et slikt modellsystem vil være til hjelp for simulering av kvistegenskaper under skurprosessen på sagbruk (Moberg 1999).

Det er av stor betydning for sagbruksnæringen at trelastmarkedets spesifikasjoner for dimensjoner, virkeskvalitet og lengde gis prioritet i hogstøyeblikket (Øyen 1999). Kvist er en av hoveddefektene hos bartrær fra nordlige strøk, og avgjørende for trelastkvaliteten. Det er derfor viktig å utvikle modeller som kan forutsi kviststrukturen hos enkeltrær i et bestand. For å få et mer optimalt sentrumsuttak i andre og tredje stokk, er det nødvendig å se postning i sammenheng med indre fordeling av friskkvist (Berdal & Eikrem 2001). Kunnskap om hvor langt fra margen kvistene kan forventes å være friske, vil kunne maksimere både mengde og kvalitet hos skurlast fra sentrumsuttaket. Ved å beskrive friskkviststrukturen som en sylinder, vil en slik optimering

kunne defineres allerede ved hogst. Kjennskap til friskkviststrukturen vil også være til hjelp for å anslå bestandskvalitet i forbindelse med taksering.

Viktige kvistegenskaper med tanke på trelastkvalitet er kvistdiameter, kvistfrekvens, friskkvistlengde og tørrkvistlengde. Kvistegenskaper påvirkes blant annet av skogbehandling, bonitet, beliggenhet (nord-sør, og i ulike høydelag), klima og genetiske forhold. Asimutale variasjoner innen et enkelt tre kan også forekomme, det vil si forskjellige kvistegenskaper på sør- og nordsiden av treet som kan skyldes ulik soleksponering og vekstforhold (Moberg 1999). Moberg (1999) viste for furu, at kvist som pekte mot sør var større enn kvist som pekte mot nord. De ulike kvistegenskapene og virkesegenskaper vil generelt alltid være et samspill mellom genetiske forhold og vekstbetingelser. Det kan derfor være vanskelig å kvantifisere genetikkens betydning. Den genetiske effekten er imidlertid moderat på vertikal kvistvinkel, og liten for andre kvistegenskaper når veksthastighet tas i betraktning (Zobel & van Buijtenen 1989).

Det er verdt å merke seg at kvistbildet under grønn krone avhenger både av hvordan kronen har ekspandert og avtatt, og av høyde- og diameter-tilvekst. Levende grener vil være i stadig endring til de dør, og påvirkes derfor mer av de til enhver tid gjeldende vekstforhold (Moberg 1999). Moberg (1999) har laget kvistmodeller for både gran og furu. For furu har han modellert kvistdiameter, og for gran kvistfrekvens, friskkvistlengde og tørrkvistlengde. Gran og furu viser imidlertid stor likhet når det gjelder forannevnte forhold.

Kvistdiameter

Kvistdiameter kan estimeres ut fra ulike variabler. Moberg (1999) omtaler modeller for vertikal variasjon i kvistdiameter hos gran og furu. Under kronen øker først tørrkvistdiameteren, for så å flate ut før overgang til frisk kvist. I kronen tiltar friskkvistdiameteren på samme måte med økende avstand fra bakken, for deretter å kulminere og avta mot toppen av treet. Forløpet er forholdsvis likt hos gran og furu, men furu har en noe brattere stigning ved overgangen til frisk kvist i grønn krone. Kvistdiameteren kulminerer imidlertid noe tidligere hos furu enn hos gran.

Høibø (1998) fant også at kvisttykkelsen normalt øker til en viss høyde, for så å avta igjen. Kvistdiameteren øker betydelig ved overgangen fra tørr til frisk kvist ved nedre kronegrense (Moberg 1999). Denne definisjonen, nedre kronegrense, skiller seg fra definisjonen av nedre kronefeste som Øyen (1999) bruker. Nedre kronegrense er ifølge Moberg (1999) høyde til nederste levende gren. Med nedre kronefeste menes imidlertid det punktet på stammen der minst halve stammeomkretsen har frisk kvist eller grønne grener (Øyen 1999).

Vestøl & Høibø (1998b) har beskrevet vanskeligheten med å bruke årringbredde til å forutsi kviststørrelsen i ulike høydenivåer under grønn krone hos gran. Det er funnet relativt god sammenheng i bestemte høydenivåer, men det er vanskelig å finne en enkel, felles sammenheng for alle nivåer. Diameter i brysthøyde (DBH) forklarer ofte like godt, eller bedre, enn årringbredden. I den grønne kronen derimot tyder det ikke på at det finnes andre forhold som påvirker kvistdiameter enn DBH, gjennomsnittlig bestandsalder og

kronelengde. Bortsett fra bonitet finnes det heller ingen påviste effekter av variabler på bestandsnivå.

Moberg (1999) fant vesentlige forskjeller mellom felter med ulike boniteter og vekstbetingelser. Generelt ga gode lokaliteter i form av høyere bonitet og gunstigere klima, grovere kvister og større friskkvistlengde. Høibø (1998) fant også tilsvarende resultater. Økt grenstørrelse og kronevekst er også en følge av at skogen vokser i mer produktive områder og i gunstige klimaer.

Det er en nær sammenheng mellom kvistdiameter og friskkvistlengde (Moberg 1999). Økt gjennomsnittlig kvistdiameter fører til lengre friskkvist. Denne effekten forsterkes ved økning i den relative kvistdiameteren (forholdet mellom kvistdiameter og gjennomsnittlig kvistdiameter). Friskkvistlengden har tilsvarende forløp vertikalt i treet som kvistdiameteren (Høibø 1998).

Friskkvistlengde

Friskkvistlengde er lengden på den delen av kvisten som er frisk og sammenvekst med stammeveden. Den radielle friskkvistlengden representerer den radielle stammetilveksten frem til grenen dør, og avhenger på samme måte som kvistdiameteren av grenenes levetid og stammens diametertilvekst (Moberg 1999). Grener kan overleve i lang tid etter at radietilveksten opphører ved grenen. Dette gjelder særlig for gran, som er relativt skyggetålende. Moberg (1999) fant at brysthøydiameteren (DBH) påvirker forholdet mellom friskkvistlengde og kvistdiameter.

Moberg (1999) fant at den vertikale variasjonen i gjennomsnittlig kvistlengde under kronefeste hos gran, er betydelig mindre enn nærmere bakkenivå. Han registrerte likevel at friskkvistlengden avtok svakt med økende høyde over bakken. Denne effekten vil antagelig være sterkere på bedre boniteter (Moberg 1999). Gode lokaliteter i form av høyere bonitet og gunstigere klima gir større friskkvistlengde (Moberg 1999). Vertikale variasjoner i friskkvistens kjerne er knyttet til utvikling av kronens morfologi. Trær med brede kroner viser en betydelig økning i friskkvistlengde nær bakken, fulgt av et konstant eller svakt avtakende mønster med økende høyde opp til grønn krone. Smalere kroner gir en betydelig mindre friskkvistkjerne nede ved bakken, og en relativt kraftig økning under kronefeste hos eldre trær.

Grenselinjen mellom friskkvistområde og tørrkvistområde er sterkt korrelert med kvistdiameteren, som fører til at friskkvistlengden har tilsvarende forløp vertikalt i treet som kvistdiameteren (Moberg 1999). Plassering og form på grenselinjen er avhengig av utviklingen til det enkelte tre. Friskkvistlengden vil øke med økende treavstand, men også skogbehandlingen vil ha innvirkning (Høibø 1998).

Vestøl (1998) utviklet enkelttremodeller for kvistegenskaper i gran. I studien er det gjort analyser av kvistdiameter og friskkvistlengde målt på radiale stammesnitt, og det er beskrevet en gjennomsnittlig vertikal trend i friskkvistlengde og kvistdiameter. Den største verdien for friskkvistlengde ble funnet ved 40 % av trehøyden, og den vertikale variasjonen var størst i nedre del av

stammen. Verdien ved hvert høydenivå var positivt korrelert med årringbredden. Variasjonen i friskkvistlengde var avhengig av bonitet, diameter i brysthøyde, eksentrisitet og forskjell i høyde til nederste levende gren og nederste levende krans.

De tykkeste kvistene ble lokalisert i den nedre delen av den grønne kronen, ved 30 % av trehøyden på G11, ved 40 % av trehøyden på G17 og ved 60 % av trehøyden på G20. Diameter til kvistene nedenfor grønn krone var positivt korrelert med årringbredden. Årringintervaller varierte mellom vertikale posisjoner i treet og mellom boniteter.

For å kunne si noe om virkeskvaliteten, må man kunne rekonstruere kroneutviklingen (Maguire & Hann 1987). Dette krever kunnskap om når kvister og kvistkranser dør. Molteberg & Sundby (1994) fant at årringbredde i brysthøyde var den viktigste forklaringsvariabelen for friskkvistlengde. Kvistdiameter og avstand til nederste grønne kvist hadde også betydning. De fant at friskkvistlengden var tilnærmet uavhengig av kranshøyde, hvilket betyr at friskkvistlengden nærmest ligger som en sylinder rundt margen. Friskkvistlengden vil imidlertid variere noe oppover i treet avhengig av når den enkelte kvist i kvistkransen dør (Molteberg & Sundby 1994, Flæte & Haartveit 1996). Flæte & Haartveit (1996) fant også at friskkvistlengden hos gran viste en avtakende tendens oppover i treet.

Høibø *et al.* (1999) har modellert friskkvistlengde i furu. Kvisttype, for eksempel om kvistene er friske eller tørre, er en avgjørende faktor for anvendelse av trevirke til estetisk bruk. I studien ble sammenhengen mellom friskkvistlengde og en rekke andre variabler undersøkt. Størst økning og variasjon ble funnet mellom rotavskjær og 2-5 m oppover stammen. Over dette nivået var friskkvistlengden relativt stabil, og økningen var mindre. I neste omgang ble parametrene i den vertikale modellen modellert ved tre- og bestandsvariabler. Analysene viste at det er mulig å beskrive variasjonen i friskkvistlengde under levende krone tilfredsstillende for enkeltrær av furu.

Kvistdiameter er den viktigste uavhengige variabel for beskrivelse av friskkvistlengde (Høibø *et al.* 1997, Moberg 1999). Likevel ga årringbredde alene nesten samme reduksjon av residualvariansen som kvistdiameter (Høibø *et al.* 1997). Friskkvistlengden økte med økende årringbredde og økende kvistdiameter. Gjennomsnittlig høydetilvekst og vertikal posisjon i stammen, var andre viktige uavhengige variabler for å bestemme friskkvistlengde. Undertrykte trær hadde kortere friskkvistlengde enn dominerende trær ved konstant kvistdiameter. Resultatene til Høibø *et al.* (1997) viser at det er mulig å forutsi kvistdiameter og friskkvistlengde med tilfredsstillende resultater bare ved å bruke variabler som beskriver diameter- og høydetilvekst.

Tørrkvistlengde

Den radielle tørrkvistlengden til en innvokst kvist er differansen mellom total kvistlengde og friskkvistlengde (Moberg 1999). Tørrkvistgrense er der kvisten i kvistens lengderetning fra marg mot yte, i stokkens radielle retning, går over fra

å være frisk til tørr (Oja 1997). Det kan være vanskelig å finne gode forklarende faktorer for variasjoner i tørrkvistlengde på trenivå.

Det fins svært få publikasjoner angående variasjoner i tørrkvistlengde (Moberg 1999). Tørrkvistlengden representerer stammens diametertilvekst i tiden fra grenene dør til de naturlig faller av. Denne prosessen bestemmes av graden av biologisk nedbryting og tilfeldige faktorer som tynning, ekstrem snø- eller vindbelastning (Moberg 1999). Ved økt treavstand vil friskkvistlengden bli større, og grenene vil dø og falle av senere enn i et tett bestand med raskere og høyere oppkvisting (Moberg 1999, Høibø 1998). Ved å ta inn brysthøydiameter (DBH) i modellene, fant Moberg (1999) at ingen andre tre- eller bestandsvariabler hadde signifikant påvirkning på tørrkvisten. Moberg (1999) har beskrevet sammenhengen mellom brysthøydiameter (DBH), tørrkvistlengde og relativ kvistdiameter (forholdet mellom kvistdiameter og gjennomsnittlig kvistdiameter).

Friskkvistsylinder

Øyen (1999) fant at den innvendige strukturen av friskkvist i gammel granskog, kan beskrives som en sylinder innenfor seksjonen fra 10 % av trehøyden og opp til det punktet på stammen der alle grenene er grønne. Friskkvistsylinderen er modellert på stående trær, og basert på parametre som er enkle å måle. Resultatene viste liten variasjon i friskkvistlengde i seksjonen fra 10 % av trehøyden og opp til første grenkrans med bare friske kvister. Dette underbygger definisjonen av den innvendige friskkviststrukturen som en sylinder for denne seksjonen av stammen. Den viktigste variabelen for å beskrive friskkvistsylinderen var diameter i brysthøyde (DBH). Andre viktige variabler var alder, høyde til nedre kronefeste, relativ kronelengde og bonitet. Modellene var mer nøyaktige for ensaldret bestand enn for fleraldret. Øyen (1999) fant også at den tidlige vekstperioden er viktig for å beskrive friskkvistsylinderen i enkeltrær i ensaldrede bestand, mens den siste vekstperioden er viktigere hos fleraldrede bestand. Øyens friskkvistmodell egner seg best for prediktering av friskkvistsylinder og postningsaptering på bonitet G17 (Øyen 2001, pers. medd.). På lavere boniteter overestimeres friskkvistsylinderen, mens det er omvendt på høyere boniteter. Skogtypen har med andre ord stor betydning for prediktering av friskkvistbildet i gran.

Øyen *et al.* (1999) har modellert utbyttet av friskkvist i gran, og prediktert friskkvistsylinder på enkeltrær i gamle granbestand. Videre registrerte Holmstad & Husum (1997) friskkvistsylinder på stående gran som utgangspunkt for kvalitetsprognose. Dette hovedfagsarbeidet var en del av prosjektet "Mjøsskog 2000". Skillet mellom tørrkvist og friskkvist er et viktig kvalitets-skille i trelast. Mantelfrisk høyde er definert som det punktet på stammen hvor alle kvistene er friske i barken opp til toppen av treet, og er en sentral parameter i studien til Holmstad & Husum (1997). Trærnes kvistsetting, brysthøydiameter og total høyde forklarte variasjonen i mantelfrisk høyde godt. Størrelsen på friskkvistsylinderen kan forklares ved hjelp av brysthøydiameter, kvistsetting, kvistgrenser og trehøyde. Beste forklaringsvariabel var brysthøydiameteren (DBH) ($r^2=0,70$). Stor DBH gir stor friskkvistsylinder.

Diameteren til friskkvistsylindren var i gjennomsnitt 2,5 cm mindre enn mantelfriskdiameter under bark.

Ifølge Øyen (u.å., pers. medd.) viser resultater fra skiveforsøk, at det også hos furu er en tilnærmet friskkvistsylinder inne i trærne som går nedover mot rota fra mantelfrisk, og at denne kan registreres på stående trær (Holmstad & Husum 1997). Berdal & Eikrem (2001) har modellert friskkvistsylinder i furu.

3.1.3 Ungdomsved

Ungdomsved er et begrep som brukes om den veden som er produsert av kambiet i ungdomsstadiet (Klem 1974, Kucera 1989, 91). Ungdomsvedens eksistens og egenskaper er undersøkt og beskrevet av bl.a. Paul (1957), Dadswell (1958), Götze (1959), Rendle (1959), Watanabe *et al.* (1963), Gensci (1967), Boutelje (1968), Pearson & Gilmore (1971), Zobel *et al.* (1972a, 1972b), Olesen (1977), Harvald & Olesen (1987) og Thörnqvist & Kyrkjeeide (1991).

I hele treets høyde består de første årringene av ungdomsved. I ungdomsveden varierer virkesegenskapene sterkt. Overgangen mellom ungdomsved og moden ved er ikke skarp. Flere forfattere regner derfor også overgangssonen, eller deler av denne, med til ungdomsveden (Boutelje 1968). Generelt kan man si at ungdomsved, sammenlignet med moden ved, har lavere styrkeegenskaper, kortere og smalere trakeider, lavere sommervedandel og tynnere cellevegger. Større fibrillvinkel i sekundærveggens S2-lag fører til at ungdomsveden krymper og sveller vesentlig mer i lengderetningen enn moden ved. Dadswell (1958) sier at ungdomsveden kjennetegnes av sterk variasjon i cellestørrelse, brede årringer og lav sommervedprosent. Ungdomsvedsonen fastsettes enten som et visst antall årringer, eller som sonen innenfor en gitt avstand fra marginen. Denne fastsettelsen gjøres på basis av endringer i ved- og fiberegenskaper i stammens tverretning. Overgangen fra ungdomsved skyldes ifølge noen forfattere en fysiologisk aldring av kambiet (Bannan 1967, Zobel *et al.* 1972a). En annen teori er at avstanden til den mest aktive delen av kronen blir større (Larson 1969). I ungdomsved øker celled lengden raskt fra marginen mot grensesonen mellom ungdomsved og moden ved, for så å øke langsomt eller stabilisere seg.

Ungdomsvedens andel i treets radialretning varierer fra treslag til treslag. Hos furu og gran dannes ungdomsved i de første 5-20 årringer. Andre faktorer som påvirker ungdomsvedandelen, er bl.a. arvelig disposisjon, vekstvilkår, bonitet og de skogskjøtselmessige tiltak som blir truffet i omløpstiden. Dette innebærer at trær som har vokst langsomt, danner en sylinder av ungdomsved som har relativt liten diameter, mens hurtigvokst tre danner en sylinder av ungdomsved med stor diameter (Kucera 1989, 1991).

I de siste årene er det kommet flere meldinger fra USA om alvorlige skader på takkonstruksjoner forårsaket av vridningsdeformasjoner og brudd i bærende elementer. Grunnen til disse skadene er at det til dette formålet i stadig større grad benyttes trelast av hurtigvokste bartrær fra kulturskog. Disse materialene har i gjennomsnitt lavere styrkeegenskaper enn trelast fra trær som har vokst i

naturskog. Økt planteavstand, bruk av hurtigvoksende raser eller provenienser og kort omløpstid, er medvirkende årsaker til at en stor andel av volumet utgjøres av ungdomsved (Kucera 1989, 1991).

3.1.4 Tennarved

Reaksjonsved er en felles betegnelse for tennar- og strekkved. Tennarved forekommer hos bartrær og strekkved hos lauvtrær. Ved siden av kvist er tennar- og strekkved de mest betydningsfulle kvalitetsfeil hos trevirke.

De fleste av tennarvedens egenskaper er av en slik karakter at kvaliteten på sluttproduktet reduseres uansett foredlingsmåte (Kyrkjeeide & Thörnqvist 1993). Tennarved anses som en alvorlig virkesfeil for sagtømmer og tømmer til mekanisk masse. Tennarved representerer ikke samme problem ved produksjon av kjemisk masse, men den er uønsket også i denne prosessen. Det er gjort flere undersøkelser for å iakttå tennarvedens betydning i ulike foredlingsprosesser (Münch 1937, Gaby 1972, Johansson *et al.* 1990, Thörnqvist 1990).

Trær og grener som kommer ut av likevektstilling prøver å rette opp misforholdet (Timell 1986, Kyrkjeeide & Thörnqvist 1993). Dette skjer ved at det dannes tennarved (trykkved) som tvinger stamme eller grener tilbake til utgangsstilling. Virke med tennarved vil således inneholde store spenninger (Nagoda 1968, Okuyama *et al.* 1986, Kubler 1987, Fournier *et al.* 1990).

Tennarved skiller seg fra normal ved både hva angår anatomiske, fysiske, kjemiske og tekniske egenskaper (Wardrop 1951, Olinmaa 1959, Perem 1960, Barber & Meyland 1964, Melyand 1968, Furuno *et al.* 1969, Necesaný & Oberlänerová 1967, Atmer & Thörnqvist 1982, Schultz & Bellmann 1982, Timell 1986, Kucera 1989, Green *et al.* 1990, Thörnqvist 1990, Woxblom 1997, Dahlblom *et al.* 1999).

Tennar er brunaktig, og består som regel av brede årringer. På et stammetverrsnitt av tennarved vil margin vanligvis ligge eksentrisk, i og med at årringbredden på tennarsiden er flere ganger bredere enn på motsatt side. Den enkelte årring inneholder overveiende sommerved, og overgangen mellom vår- og sommerved er meget utydelig.

Spesielt for tennarveden er at den krymper og sveller flere ganger så mye som normal ved i lengderetningen, men noe mindre i radial- og tangentialretning. Der hvor tennar- og normalved finnes side om side, oppstår ekstra store spenninger. Slikt virke er sjelden i ro. Tennarvedens fibre er korte og stive og inneholder mer lignin enn normal ved. Da veden også er svært hard, egner den seg dårlig til tremasse og cellulosefremstilling. Frisk tennarved har opptil 100 % større trykkfasthet enn normalved, mens den i tørr tilstand har litt lavere trykkfasthet.

Mye tyder på at tennarved er mer vanlig i nedre deler av stammen enn i toppen (Constantinescu 1956, Low 1964). Dette beror bl.a. på at når et tre kommer ut av

likevekt, vil den øverste delen rette seg raskere opp enn den nederste. I noen tilfeller kan den nedre delen bli permanent skråstilt, hvilket medfører at det dannes tennarved i hele treets liv.

3.1.5 Fiberhelling

En viktig egenskap for trevirkets stabilitet er fiberhelling, som betyr at fiberretningen avviker fra treets lengderetning (Säll & Dahlblom 1999). Flere studier viser at fiberhelling har stor innvirkning på virkesegenskapene, og at det finnes en sterk sammenheng mellom fiberhelling og vridning. Fiberhelling er derfor en viktig parameter i enhver modell for å beskrive vridning som oppstår under tørking. I gran er fiberhellingen nesten null ved margen. Fiberhellingen øker (venstrevridning) i ungdomsveden, særlig mellom årring nummer 4 og 8 fra margen. Etter dette avtar vanligvis fiberhellingen med alderen. Til slutt dannes rette fibre, og i gamle trær kan fibrene innta en vridning mot høyre. Säll & Dahlblom (1999) fant signifikant variasjon i fiberhelling med årringnummer og med høyde i stammen. Man observerte også at fiberhellingen kan være signifikant forskjellig i bestand med ulike bestandsforhold og skogbehandling. Det kreves riktignok videre undersøkelser for å fastslå i hvilken grad dette skyldes miljø, vekstforhold eller skogbehandling.

Utilfredshet med tørket trelast i byggeindustrien skyldes i stor grad problemer knyttet til manglende retthet (Johansson & Kliger 2000). Vridning er den vanligste og mest avgjørende feil i trelast. Å kunne sortere ut tre i skogen eller stokker før skur, for å slippe å bruke materialer med stort vridningspotensiale, kan være et alternativ for sagbruksindustrien. Fiberhelling kan ha signifikant effekt på trevirkets tekniske egenskaper. Fiberhelling er derfor en viktig faktor i modeller som beskriver vridning i trelast etter tørking, og ved lagring og håndtering.

Johansson & Kliger (2000) fant at antall rette planker etter tørking lett kan økes ved å unngå bruk av stokker med stor fiberhelling. Det sentrale området rundt margen, som omtrent utgjør et område på 50 mm x 50 mm, er generelt vanskelig å bruke til bygningslast på grunn av den høye vridningen dette virket får etter tørking. Hvis man kan forutsi utviklingen av fuktighetsrelatert vindskjevhet tidlig, kan man velge tre og skurmønstre som gir den beste formstabiliteten. I den grad modeller for fiberhelling er pålitelige, og skurmønsteret kan knyttes til fiberhelling, vil tre med lavere "innhold" av rett trelast kunne forhindre i å bli levert til sagbruk.

Merforth (2000) fant også at vridning har stor innvirkning på utbyttet av konstruksjonsvirke ved sortering etter styrke. Virke fra bestand med ulik skogbehandling ga forskjellig vridning (vindskjevhet), men ikke forskjeller i flatbøy eller kantkrok. Virke fra glisne granbestand viste høyere verdier for vridning enn virke fra tette bestand.

I løpet av de siste årene har markedsandelen til trevirke i byggesektoren avtatt, og byggeindustrien er ikke tilfreds med kvaliteten på dagens trelastprodukter.

Andre materialer, særlig stål, dominerer nå markedet for stendere (Woxblom 1997). Mer enn 30 % av kontrollerte stendere i en svensk undersøkelse, ble vraket på grunn av for mye vridning.

3.1.6 Kvaelommer

Kvaelommer finnes i mange bartreslekter. De skaper problemer for treforedlingsindustrien, og man vet ikke helt hvordan de oppstår. Kvaelommer omtales i en rekke publikasjoner, og man kan nevne Inst. for trefeknologi (u.å.), Thunell (1952), Clifton (1969), Cown (1973), Pechmann & Lippemeier (1975), Sommerville (1980), Park & Parker (1982), Donaldson (1983), Peterson (1991), Weslien (1993,1995) Temnerud (1994, 1997), Christiansen & Kucera (1999).

Spekulasjoner angående årsaker til dannelse av kvaelommer er mange, og man kan nevne:

- Insekter
- Mekaniske skader
- Tynning/tilvekstøkning
- Stammekvisting
- Vindeksponering
- Bonitet
- Tørkestress

I et kompendium fra NLH (Inst. for trefeknologi u.å.) står det at kvaelommer er sprekk lignende dannelser som er fylt med kvae. Kvaelommene ligger alltid i vårveden. Vanligvis er de små, men i blant kan de være ganske store. Dannelse av kvaelommer skyldes antagelig sprekk eller sår i kambielaget. Det oppstår brudd i de horisontale harpikskanalene som utsondrer kvae i såret (sprekken).

Thunell (1952) sier at kvaelommer er en type ringsprekker som kommer av harpiksutflod i de "uferdige årringene". Dette skjer ved at barken løftes fra veden, og hulrommet fylles med harpiks. En kvaelomme kan beskrives som en harpiksfylt sprekk mellom vedsynderen og barken.

Årsaker til kvaelommer er også behandlet av newzealandske forskere som: Clifton (1969), Cown (1973), Sommerville (1980). I New Zealand er det radiatafuru (*Pinus radiata*) som er grundigst undersøkt. Hos dette treslaget er forekomsten av kvaelommer hyppigst på tørre, vindeksponerte steder.

Bl.a. nevner Donaldson (1983) at stammer som skades mekanisk får kvaelommer. Ifølge Park & Parker (1982) anses kvaelommer å være en viktig faktor for nedklassing av stammekvistet tømmer. Temnerud (1994, 97) sier imidlertid at det ikke fremgår av litteraturen at stammekvisting forårsaker flere kvaelommer.

Temnerud (1994) sier at en kvaelomme dannes som en sprekk i kambiet. I tverrsnittet fremtrer en kvaelomme som en ringsprekk med kvae. Ved en tredimensjonal betraktning har en kvaelomme form som en linse.

I en studie av Pechmann & Lippemeier (1975) sammenlignes virkeskvalitet hos gran fra tre forskjellige bledningsbestand. Kvaelommer nevnes som den tredje viktigste årsaken til nedklassing av trelasten. For et av bestandene nevnes at mer enn 10 % av skurutbyttet ble nedklasset på grunn av kvaelommer.

Fra svenske kilder (Temnerud 1994) går det frem at kvaelommer er en viktig grunn for å ikke anvende gran som snekkerlast i England. De store kjøperne av snekkervirke uttrykker at kvaelommer ikke kan unngås, selv om alt virke med synlige kvaelommer er sortert bort.

Kvaelommer utgjør ofte et hinder for å utnytte gran til produkter med høye krav til "overflatefinish". Harpiksgjennomslag gjør det nesten umulig å oppnå en bra overflate på et treprodukt. Hvis en kvaelomme kommer til syne ved kløyving eller høvling, kan denne tappes (plugges), men det er ikke uvanlig at hele virkestykket vrakes (Temnerud 1994).

Kvaelommer kan inneholde flytende harpiks, som renner utover vedoverflaten. Selv om det ikke er noe problem med kvaeutflod, vil en harpikslomme i seg selv være en betydelig virkesfeil, da de opptrer som små sår i vedoverflaten (Weslien 1995).

Christiansen & Kucera (1999) undersøkte om kvaelommer hos gran oppstår som følge av billeangrep. Undersøkelsen viste at billeangrepet etterlater tydelige spor i veden hos trær som overlever, men disse er helt forskjellige fra kvaelommene. Konklusjonen var derfor at kvaelommer må ha en annen årsak.

3.1.7 Kjerneved

Hos furu kan kjerne- og yteved i enkelte sammenhenger betraktes som to ulike treslag, med vidt forskjellige egenskaper (Gjerdrum 1999). Forskning vedrørende kjerneved kan føres helt tilbake til 1907, da Pilz (1907) gjorde et grunnleggende arbeid. Gjerdrum (1999) fant at hos furu er kjerneveddannelsen kun styrt av kambial alder. Ved en gitt diameter inneholder yngre, rasktvoksende trær lite kjerneved. Trær med smale kroner vokser saktere, produserer smalere årringer og inneholder mer kjerneved. Ved sagbruk er det nå ifølge Gjerdrum & Swärd (1998) og Gjerdrum (1999) mulig å estimere årringbredde ved IR-fotografering (infrarødt lys).

Flere studier har vist at kjernevedinnholdet i furu varierer betydelig (Björklund *et al.* 1997). Kjernevedinnhold er lett å registrere ved CT-scanning, og Furu-stambanken er en omfattende database med tanke på denne virkesegenskapen. Kjernevedinnholdet øker fra rotavskjær, for så å flate ut fra ca. 2-3 meters høyde. Innholdet avtar så igjen 5-6 meter oppe i stammen. Gamle trær har større kjernevedandel enn yngre trær. Björklund *et al.* (1997) fant at kjernevedinnholdet 1-5 meter over bakken ikke viste sammenheng med bonitet eller breddegrad. Kjernevedinnholdet er imidlertid sterkt korrelert med alderen. Variasjoner i kjernevedinnhold mellom trær forklares best ved

årringmønsteret. Smale årringer nær marginen og brede årringer i yteveden, ga lavt kjernevedinnhold. Dette betyr at kjernevedinnholdet kan påvirkes gjennom skogbehandlingen.

Mengden kjerneved i en tømmerstokk har stor betydning for mulighetene for å utnytte denne vedtypen (Flæte 2000). Kjernevedmengden kan estimeres på flere måter, som volum eller bredde, areal eller antall årringer i et tverrsnitt, og som relative andeler av disse størrelsene. Treets alder har vist seg å være sterkt korrelert med antall årringer kjerneved i stammens tverrsnitt. Det er også funnet stor grad av arvbarhet for kjernevedandelen hos furu. I et prosjekt ved Skogforsk i 1999 ble kjernevedradiusen funnet å øke med økende treradius. Trær på de laveste bonitetene hadde i gjennomsnitt høyest alder, minst diameter og minst kjernevedmengde. Det tyder derfor på at den største kjernevedproduksjonen oppnås på den mest produktive marka. I en svensk furuundersøkelse ble det funnet at kjernevedradiusen var positivt korrelert med treets diameter, men lite påvirket av bonitetsvariasjoner. Mengkrog (1985) fant ingen systematiske sammenhenger mellom kjernevedandel og breddegrad eller høyde over havet. Alder var den beste forklaringsvariabelen, og korrelasjonen mellom alder og kjernevedandel var positiv.

Kjerneveden hos furu har ofte en uregelmessig form ved rotavskjær, mens den i større grad følger en eller et fåtall årringer lenger opp i stammen (Flæte 2000). Det er funnet at den relative kjernevedandelen er størst ved ca. 15 % av trehøyden hos kulturforynget furu, og at kjernevedandelen utgjorde ca. 1 % ved 80 % av trehøyden. Ifølge Flæte (2000) fant Björklund & Walfridsson (1993) at kjernevedandelen økte fra rotavskjær og opp til 10-20 % av trehøyden hos tynningsvirke og virke fra sluttavvirking. Kjernevedandelen sank så mot toppen av trærne. I et prosjekt ved Skogforsk har man nylig undersøkt furuvirke fra ulike geografiske områder, med hensyn på kjernevedmengdens variasjon i treets lengderetning. En hensikt var å belyse hvor langt opp i en stamme kjerneveden kan utnyttes til ulike formål (Flæte 2000). Wiger (2000) vurderte malmskur som et alternativ ved skur av grovt furutømmer, og fant et potensiale for høyere verdiutbytte sammenlignet med tradisjonell skur.

3.2 Fysiske egenskaper

3.2.1 Densitet

Densitet er en av de viktigste egenskapene hos trevirke. Den gir en god karakteristikk av mange andre egenskaper, bl.a. styrkeegenskapene. Densiteten påvirker aspekter i foredling, egenskaper og sluttbruk av skogprodukter (Lindström 1999). Densiteten varierer med en rekke forhold som bonitet, breddegrad, høyde over havet, alder m.m. Det er variasjon både innen og mellom bestand (Ericson & Jonson 1961, Hakkila 1966, Anon. 1970, Halvorsen *et al.* 1971). Innen en stamme varierer basisdensiteten fra rot mot topp og fra marg mot bark (Lundberg 1928, Liepins 1933, Kollmann 1951, Thunell & Perem 1952, Peterson & Winqvist 1960, Stemsrud & Gudim 1962, Tamminen 1970,

Kucera 1980). Det enkelte treslag viser også vanligvis en mer eller mindre karakteristisk variasjonsbredde for densitet (Nagoda 1981).

Det har lenge vært kjent at densiteten er en god indikator for en lang rekke av trevirkets egenskaper, og at treets vekst påvirker denne egenskapen. Langsom vekst skulle gi høy densitet.

Vekstfaktorer

Virkninger av forskjeller i vanntilgang, næringstilgang, temperatur og daglengde er iaktatt i en rekke undersøkelser. Et forhold som er viet spesiell oppmerksomhet, er vanntilgangens betydning for celledannelsen (Pechmann 1958, Paul 1963, Zahner 1963, 1967, Larson 1964, 1967, Howe 1968, 1970, Lassen 1968, Polge & Keller 1968, McKinnell & Shepherd 1971). Når vanntilgangen er jevn hele vekstperioden, og trærne samtidig får sin veksthastighet regulert av konkurranse fra andre trær, vil det i siste halvdel av vekstperioden foregå celledeling i kambiet med moderat hastighet. Hvis det da også blir produsert tilstrekkelig med næringsstoffer i kronen, vil cellene få normalt fortykket S2-lag i veggene. Jevn vanntilgang er derfor en av betingelsene for at det skal dannes mange tynnveggede vårvedceller og mange tykkveggede somervedceller (Klem 1974).

Nördlinger (1860) påviste at densiteten varierer innen et tre, og at den påvirkes av egenskaper ved voksestedet. Undersøkelser utført av bl.a. Hartig (1884, 98), Schwappach (1897,98), Bertog (1895), Omeis (1895) og Wijkander (1897), viser at densiteten er avhengig av forholdet mellom celleveggtykkelse og cellehulrom, som bl.a. påvirkes av årringbredde, alder og bonitet.

Sammenhengen mellom densitet og årringbredde er undersøkt av bl.a. Nördlinger (1866), Martin (1901), Janka (1909), Nergaard (1928), Hempel (1932), Klem (1934), Markwardt & Wilson (1935), Hirai (1949), Paul (1950), Nylinder (1951), Nylinder & Hägglund (1954), Armstrong (1955), Göhre (1955a, 55b), Pechmann & Schaile (1955), Volkert (1956), Rendle & Phillips (1958), Wellwood (1960), Knigge (1962), Klem (1965a), Olesen (1976), Okstad & Kårstad (1985) og Okstad (1987).

Wijkander (1897) mente å kunne fastslå at både gran- og furuvirke med samme årringbredde ble tyngre jo lenger sør i Sverige man kom.

Martin (1901) er blant de første som fremholder at skal man oppnå førsteklasses virke, må årringbredden være passe bred og ha en jevn bredde fra marg til bark.

Janka (1909) fant at det stort sett var sammenheng mellom årringbredde og densitet for virke fra de samme distrikter eller bestand. Janka hevder også at den beste bonitet gir den beste og tyngste ved når bestandet er godt sluttet.

Nergaard (1928) fant god sammenheng mellom årringbredde og densitet, og han kom med et forslag til bedømmelse av slip- og celluloseetømmer etter årringbredden.

Klem (1929a, 29b, 30, 31, 33) har gitt en oversikt over de viktigste kvalitetsundersøkelser som er foretatt på gran, og fant at det bare er sammenheng mellom årringbredde og densitet når virket kommer fra samme distrikt og like boniteter.

Hempel (1932) fant at gran- og furuvirke som vokser omkring polarsirkelen i Nord-Russland, gir et ensartet virke med smale årringer. Veden var imidlertid av dårligere kvalitet enn det virket som har vokst i Tyskland. Sommervedprosenten hos det nordrussiske virket var ikke så stor som man kunne forvente ut fra de smale årringene, og densiteten var derfor forholdsvis lav.

Blederne har lagt stor vekt på å få et bestemt årringbilde i stammene. Trærne skal starte under skjerm eller være influert av skogkant i den første tiden, slik at årringene blir smale. Etter hvert får trærne bedre kår, og årringbredden øker. Det er ønskelig at årringbredden øker jevnt. Brå overgang fra et liv i skygge til stor frihet medfører plutselig økning av årringbredden. Dette er uheldig for virkeskvaliteten, da ringsprekker lett oppstår i overgangen mellom smale og brede årringer.

Når trær med samme årringbredde kan oppvise store forskjeller i tørrdensitet og fasthetsegenskaper, skyldes dette vesentlig vekslingene i sommervedandelen (Haugberg 1927). En rekke undersøkelser av bl.a. Hartig (1895), Bertog (1895) og Schwarz (1899) viser at de fleste virkesegenskaper varierer med sommervedprosenten.

Schwappach (1892) fant at sommervedandelen avhenger av voksested og driftsmåte. Vokseplasser hvor vegetasjonsperioden starter sent og hvor temperaturen stiger raskt, vil gi et bedre furuvirke enn vokseplasser hvor veksten begynner tidlig på våren uten at alle næringsfaktorer befinner seg i en gunstig tilstand. På et ensartet voksested kan imidlertid også driftsmåten influere på tidspunktet på våren, når veksten kommer i gang. Beskyttende underskog og et godt humusdekke forsinker oppvarmingen av jorda og stammene, og reduserer dermed vårvedandelen.

Paul (1963) hevder at den spesifikke vekt hos bartrevirke i overveiende grad er avhengig av sommervedprosenten, som blir størst i tette bestand hvor trærne har relativt små kroner.

Som tidligere nevnt, blir årringbredden ofte brukt for å kvalitetsgradere bartrevirke og virke av ringporete lauvtrær. Hos bjørk, osp og andre spredt-porete lauvtrær er forholdet mindre klart. Wallden (1934) hevder at årringbredden ikke er av avgjørende betydning for vedens densitet, men derimot andelen av kar og vedfiber. Andre undersøkelser (Peterson & Winqvist 1960, Nagoda 1966 og Vadla 1999) viser at basisdensiteten avtar med økende årringbredde. Nagoda (1966) sier at en del undersøkelser tyder på at det er en viss sammenheng mellom volumvekt og årringbredde, men at den aldri er så utpreget som hos bartrær og ringporete lauvtrær.

Densitet og andre egenskaper

Densitetens betydning for trevirkets styrkeegenskaper og utbytte ved tremasse- og celluloseproduksjon, er undersøkt av bl.a. Bauschinger (1887), Rudelloff (1889), Janka (1909), Wahlberg (1921), Kinnman (1923, 32), Schlyter & Winberg (1929), Lassila (1930, 33), Johansson (1933, 39), Klem (1934), Curran (1936), Bray & Curran (1937), Nylinder (1951, 53) og Nylinder & Hägglund (1954).

I noen undersøkelser fra før 1900 har bl.a. Bauschinger (1887) og Rudelloff (1889) slått fast at det gjennomgående er god sammenheng mellom vedens trykkfasthet og dens lufttørre densitet. Det ble også funnet sammenheng mellom densitet og de fleste andre fasthetsegenskaper.

Lassila (1933), Johansson (1933, 39), Curran (1936) og Bray & Curran (1937) m.fl. fant at masseutbytte og -kvalitet er sterkt avhengig av forholdet mellom vår- og sommerved.

Klem (1934) fant nær sammenheng mellom tørrdensitet og celluloseutbytte på grunn av begge faktorerers sterke korrelasjon med virkets lignininnhold. Han påviste også at variasjon i celluloseens styrkeegenskaper, er nær koplet med variasjonen i virkets densitet.

Nylinder (1951) og Nylinder & Hägglund (1954) har lagt frem beregninger som viser sammenhengen mellom tørrdensitet og årringbredde, og mellom tørrdensitet og celluloseutbytte. Av deres undersøkelser fremgår det også at celluloseutbyttet avtar med voksestedets stigende breddegrad, og med stigende høyde over havet.

Variasjoner

Densitetsvariasjonen i en bartrestamme kan føres tilbake til forholdet mellom vår- og sommerved (Wegelius 1946, Nylinder 1953, Spurr & Hsiung 1954, Klem 1957, Larson 1957, Bernhart 1964, Scaramuzzi 1965, 1969, Hakkila 1966, Fielding 1967), og videre til at forholdet mellom celleveggtykkelse og cellediameter ikke er konstant innen de to vedtypene (Klem *et al.* 1945, Göhre 1955a, 55b, Scaramuzzi 1965, Smith 1965, Philips 1966, Harris 1967, Polge 1967, Rudman 1968, Ifu & Labosky 1972). Hos furu har man funnet at densiteten i vårved øker med avtakende årringbredde. Hos sommerved varierer densiteten lite i horisontalplanet, mens den avtar med stigende høyde i treet (Yao 1970).

Variasjoner mellom trær

Det er store variasjoner i virkesegenskaper mellom trær av samme treslag, hvilket skyldes arvelige egenskaper og forskjeller i miljø. Arvelige variasjoner er rapportert for en lang rekke treslag, og det pekes på at fiberlengde, celleveggtykkelse i vår- og sommerved, sommervedprosent, densitet, celluloseinnhold, grendiameter, kvistvolum og varighet av ungdomsveddannelse, i varierende grad er genetisk kontrollert. Innen genetisk betingede grenser, varierer virkesegenskapene mellom trær med forhold relatert til omgivelsene, som kommer til uttrykk ved forskjeller i kronestørrelse og veksthastighet (Spurr & Hyvärinen 1954, Göhre 1955a, Klem 1957, Larson 1957, Dadswell

1960, Ericson 1960, Goggans 1961, 1962, 1965, Zobel 1961, Dietrichon 1964, Harris 1965, Kennedy 1966, Weiner & Roth 1966, Fielding 1967, Smith 1967, King 1968, Schultze-Dewitz 1969, Zobel *et al.* 1969, Rone 1970, Thor & Bates 1970, Megraw & Nearn 1972).

Treslag

Basisdensiteten hos furu ligger vanligvis på 400-500 kg/m³ (Trendelenburg 1939, Kollmann 1951, Nylinder 1961a). Kollmann (1951) oppgir en middelvei på 430 kg/m³, med en variasjonsbredde på 267-731 kg/m³. I plantet furu fra Danmark fant Klem (1965b) en midlere basisdensitet på 420 kg/m³. Variasjonsbredden var på 347-476 kg/m³.

Sammenhengen mellom densitet og årringbredde har et noe annet forløp hos furu enn hos gran. Hos furu stiger basisdensiteten fra en årringbredde på ca. 0,5 mm til en årringbredde på 1-2 mm. Deretter avtar basisdensiteten relativt sterkt til en årringbredde på 4-5 mm (Trendelenburg 1939, Klem 1974), mens hos gran avtar basisdensiteten jevnt med økende årringbredde.

Flere undersøkelser viser at densiteten hos furu øker fra marg mot bark, og fra rot til topp. Denne tendensen kan også spores hos gran, men i mindre grad (Jalva 1945, Nylinder 1953, Nylinder 1961a, 1961b, Tamminen 1962, 1964, Ericson 1966, Hakkila 1966, Björklund *et al.* 1997). I ved som avsettes svært sent i et tres liv, vil densiteten kunne være lavere enn i yngre ved (Larson 1957). Variasjonen i densitet fra marg mot bark synes i større grad å være avhengig av alderen enn den normalt avtakende årringbredden (Spurr & Hshiang 1954, Yandle 1956, Larson 1957, Uprichard 1971). Flere undersøkelser viser også at virkesegenskapene varierer med himmelretningen, og det antydes at dette henger sammen med tennarveddannelse (Nylinder 1967, Polge & Illy 1967).

Gran har noe lavere basisdensitet enn furu. Basisdensiteten hos gran ligger vanligvis på 350-450 kg/m³ (Nagoda 1985, Vadla 2002). Densiteten påvirkes særlig av veksthastigheten. Densiteten avtar med stigende årringbredde. Olesen (1976) har vist at sammenhengen mellom densitet og årringbredde hos gran, best kan beskrives ved en hyperbelfunksjon.

Det er godt dokumentert at basisdensiteten hos gran avtar med stigende bonitet, høyden over havet og med stigende breddegrad (Klem 1934, Nylinder & Häggglund 1954, Leinert 1962, Hakkila 1979, Madsen *et al.* 1978, 1985).

Densiteten varierer fra rot til topp i en stamme, og den varierer fra marg mot bark. Olesen (1977, 1982) har undersøkt variasjonen fra marg mot bark hos gran. Densiteten avtok fra margen til ca. årring nr. 10. Derfra steg densiteten til årring nr. 20-25. I årring nr. 9 ble det funnet en basisdensitet på 325 kg/m³, mens basisdensiteten var 420 kg/m³ i årring nr. 25.

Hos gran varierer densiteten relativt lite fra rot til topp i treet (Klem 1934, Jalva 1945, Nylinder 1953, Tamminen 1964, Ericson 1966, Hakkila 1966, Okkonen *et al.* 1972, Høibø 1998). Den avtar svakt fra rotavskjær til ca. midt på treet, for så

å øke svakt mot toppen. Furu viser derimot et klart fall i densitet med høyden i treet (Spurr & Hshiung 1954, Larson 1957, Nylinder 1961a, Tamminen 1962, Ericson 1966, Hakkila 1966, Baker & Shottafer 1968, Gensci 1969, Johnstone 1970, Yao 1970, Markström & Yerkes 1972, Okkonen *et al.* 1972).

De fleste undersøkelser viser at bjørk har en basisdensitet på 500 kg/m³ eller mer. Hos bjørk fra Troms (Vadla 1999) var midlere basisdensitet 507 kg/m³. Det foreligger også en del andre resultater, både fra norske og utenlandske undersøkelser. Stemsrud & Gudim (1962) fant at midlere basisdensitet hos bjørk ligger mellom 490 kg/m³ og 540 kg/m³. Braathe & Okstad (1964) oppgir en midlere basisdensitet på 502 kg/m³. Nagoda (1966) oppgir en middelvei på 504 kg/m³. Okstad (1967) fant en midlere basisdensitet på 511 kg/m³ med bark. Korrigert for barken skulle dette gi en middelvei på ca. 505 kg/m³. Staven (1973) fant en midlere basisdensitet på 493 kg/m³, med en variasjonsbredde fra 477 kg/m³ til 510 kg/m³, i et materiale fra forskjellige steder i Balsfjord og Tromsø kommune. Kucera (1980) fant en midlere basisdensitet på 503 kg/m³. Variasjonsbredden var fra 477 kg/m³ til 535 kg/m³. Trendelenburg & Mayer-Wegelin (1955) opererer med 530 kg/m³ som gjennomsnitt. Peterson & Winqvist (1960) oppgir at midlere basisdensitet varierer mellom 500 kg/m³ og 570 kg/m³. Tamminen (1970) undersøkte basisdensiten hos bjørk fra fem forskjellige steder i Sverige (Kosta, Billingsfors, Garpenberg, Backe og Älvsbyn). Midlere basisdensitet varierte fra 462 kg/m³ (Backe) til 501 kg/m³ (Kosta).

Vadla (1999) undersøkte osp fra 17 forskjellige steder i Troms (16) og Finmark (1), og fant en midlere basisdensitet på 372 kg/m³. Variasjonsbredden var 305-456 kg/m³. Midlere alder og årringbredde for hele materialet var henholdsvis 54,2 år og 1,8 mm. I andre undersøkelser er det funnet noe høyere verdier. Thunell & Perem (1952) oppgir 450 kg/m³ som midlere tørrdensitet for svensk osp. Med en volumkrymping på 13 % (Nagoda 1981) gir dette en basisdensitet på ca. 392 kg/m³. Nagoda (1981) undersøkte tørrstoffinnholdet i osp fra 10 forskjellige steder i Sør-Norge. Midlere basisdensitet for hele materialet var 422 kg/m³, varierende fra 378 kg/m³ i Ås til 427 kg/m³ i Gjerstad.

Geografisk beliggenhet

I en rekke undersøkelser har man iaktatt voksestedets betydning for virkeegenskapene (Burger 1952, 1953, Nylinder & Hägglund 1954, Echols 1958, Zobel *et al.* 1960, Mitchell 1964, Klem 1965a, Hakkila 1967, 1968, 1969, Hudson 1967, Reck 1969, Zobel *et al.* 1972b). Av de fleste undersøkelsene går det frem at densiteten avtar med stigende høyde over havet og med økende breddegrad. Bl.a. Zobel *et al.* (1960) og Nylinder (1967) sier at det disse undersøkelsene egentlig viser, er at temperatur, nedbør og næringstilgang varierer mellom voksestedene, og at faktorer som breddegrad og høyde over havet ikke har noen betydning i seg selv.

3.2.2 Andre egenskaper

Hos gran øker barktykkelsen med økende diameter og avtakende bonitet. Det samme gjelder for barkvolumprosenten. Forholdet mellom stammediameter

og barktykkelse er relativt konstant oppover stammen, bortsett fra i toppen (Holmgaard & Jakobsen 1970). Da barktykkelsen øker med avtakende bonitet, vil det være positiv korrelasjon mellom barktykkelse og vedens basisdensitet (Tamminen 1964, Okstad 1965). Hos furu varierer barktykkelse og barkvolumprosent med de samme faktorer som hos gran. En dansk undersøkelse (Holmgaard & Jakobsen 1970) viser at barktykkelsen øker med økende diameter. Flere undersøkelser (Hakkila 1979, Vadla 2002) viser at barken hos gran og furu har noe lavere densitet enn ved, mens bjørkebark har tilnærmet densitet som ved (Vadla 1999).

Kollmann (1951) oppgir at volumkrympingen er 12 % ved nedtørking til absolutt tørr tilstand hos gran. Volumkrympingen øker med økende densitet (Knudsen 1956, Ericson 1960, Tamminen 1964, Bernart 1965, Kärkkäinen & Markus 1985, Moltesen 1986). For furu med basisdensitet 430 kg/m³ oppgir Kollmann (1951) en volumkrymping på 12 %. Moltesen (1988) sier at yteveden har litt større volumkrymping enn kjerneveden.

Cellelengden i moden ved øker vanligvis langsomt mot barken. Hos svært gamle trær er det imidlertid vist at cellelengden ofte avtar i de ytterste årringene (Wardrop 1951, Fielding 1967, Guth 1968/1969, Schultze-Dewitz 1969). Også i vertikal retning følger cellelengden samme variasjonsmønster som densiteten, med svakt fall fra rot til topp (Fielding 1967). For furu er det undersøkelser som viser at cellelengden er konstant innen årringer som ligger samme antall år fra margen (Anon. 1967). Flere undersøkelser bekrefter også at det er negativ korrelasjon mellom veksthastighet og trakeidelengde (Spurr & Hyvärinen 1954, Dadswell & Nicholls 1959, Zobel *et al.* 1960).

Flere undersøkelser (Wardrop 1951, Harwood 1971) viser at innholdet av cellulose i veden stiger med økende avstand fra margen. Tilsvarende er også vist for innholdet av ekstraktstoffer både i gran og furu (Pensar 1968, Posey & Robinson 1969).

3.3 Geometriske egenskaper

Alle organismer vokser etter et bestemt mønster som er karakteristisk for vedkommende art, og som gjør at individene utvikler seg noenlunde ens. Dette gjelder også for trærne (Strand 1968). Hvert treslag har ofte sin karakteristiske stammeform, men innen et treslag vil det også være store variasjoner i stammeform (Almquist & Hallmans 1947, Turolski & Buchholz 1964).

3.3.1 Avsmalning

Avsmalningen hos et tre er i stor grad påvirket av miljøforhold. Bestandstettheten er en viktig formfaktor (Eide 1922). En lang rekke undersøkelser, bl.a. Braathe (1953), viser at trær som vokser opp i glissen stilling, får en dårligere form enn trær i tette bestand. Omtrent i den høyde hvor treet har den største og mest aktive del av kronen, vil diametertilveksten være størst (Gislerud 1974).

Med økende avstand mellom trærne, eller avtakende bestandstetthet, vil det enkelte tres gren- og bladmasse øke. I glissen stilling vil trærne dessuten beholde levende grener lenger på nedre stammedeler, hvilket også påvirker avsmalningen. Stammens avsmalning varierer bl.a. med høyden over bakken. Den nederste stammehalvdelen har minst avsmalning. Hos gran er avsmalningen mellom brysthøyde og halve trehøyden vanligvis på 6-10 mm/m i gjennomsnitt. For samme alder og trehøyde stiger avsmalningen med økende tynningsstyrke (Bryndum 1969, 1974, 1978).

Uusitalo (1999) har sett på sammenhengen mellom avsmalning og tømmerkvalitet hos furu, og sammenhengen mellom avsmalning og basisdensitet hos gran. Hensikten var å benytte avsmalningsdata fra hogstmaskinmålinger til å angi kvaliteten på sluttproduktet. Hos furu ble det funnet heller liten sammenheng mellom avsmalning og trelastkvalitet i rotstokker. Avsmalningen i 0-20 % av stammehøyden viste ingen korrelasjon med trelastkvaliteten.

Avsmalningen i 10-30 % av stammehøyden viste negativ sammenheng med kvaliteten på trelast fra rotstokker. Samme effekt ble funnet for 20-40 % av stammehøyden, men effekten var svakere og statistisk ikke-signifikant. Ikke overraskende fant Uusitalo (1999) at det var sammenheng mellom avsmalning og basisdensitet i området 0-20 % av trehøyden.

3.3.2 Ovalitet

Flattrykking er et annet uttrykk for ovalitet, og flattrykking forekommer hos alle treslag. Flattrykking og eksentrisk vekst er to forhold som følger hverandre. I en flattrykt stamme vil marginen som regel ikke ligge i sentrum (Nagoda 1965). Ved flattrykking og eksentrisk vekst vil den enkelte årring ha varierende bredde, og innen samme årring kan fordelingen av vår- og sommerved variere i de forskjellige retninger fra marginen. I mange tilfeller er disse vekstformene forbundet med tennarved hos bartrær og strekkved hos lauvtrær. Forannevnte forhold vil således være en kvalitetsreducerende faktor for de fleste anvendelser.

Angående forannevnte vekstformer kan man peke på noen generelle forhold. Nagoda (1965) sier det er rimelig å anta at årsakene til disse vekstformene er de samme som for dannelse av reaksjonsved. Hos bartrær fremmes veksten på den siden av treet hvor det oppstår trykkbelastning. Hos lauvtrær øker veksten på strekksiden. Derfor finner man vanligvis den største diameteren i herskende vindretning (Haller 1935). De hyppige forekomster av flattrykte stammer i liskogen kan også føres tilbake til trykkpåkjenninger av snø og vind. Det er heller ikke uvanlig å finne flattrykking og eksentrisk vekst i flattliggende skog. Næringsfysiologiske forhold påvirker også forannevnte vekstformer. Hvis rotsystemet ikke får jevn tilgang på næring, kan dette resultere i at en stamme vokser seg usymmetrisk (König 1958).

3.4 Mekaniske egenskaper

Med mekaniske egenskaper menes den motstandskraften trevirket har mot påvirkning av ytre mekaniske krefter. Det er utarbeidet standard testmetoder for mange av disse egenskapene, og testing av ulike mekaniske egenskaper inngår ofte når det blir utført egenskapsundersøkelser av ulike virkesforekomster. Resultatet av dette er at det finnes en rekke undersøkelser i litteraturen på verdensbasis, når det gjelder mekaniske egenskaper. Det blir imidlertid for omfattende å gi en fullstendig oversikt over hele dette materialet her, og derfor er det valgt å konsentrere litteraturgjennomgangen til hovedsakelig å gjelde for det som er gjort her til lands, når det gjelder mekaniske egenskaper. Dette er da også mest relevant når det gjelder å danne fundamentet for det pågående prosjektarbeidet, i og med at kartlegging av egenskapene til den norske virkesbasen står sentralt.

Dersom ikke annet er nevnt, gjelder egenskapstallene som blir gjengitt i det følgende for en trefuktighet på 12 %.

3.4.1 Diverse styrkeegenskaper

En omfattende undersøkelse av styrkeegenskapene til norsk granvirke ble utført av Foslie & Moen (1968), Foslie (1971) og Foslie & Moen (1972). I den førstnevnte undersøkelsen ble bøyestyrke, elastisitetsmodul og strekkstyrke målt på skurlastdimensjonene 3"x8" og 2"x4". Ved utvelgelse av prøvematerialet ble landet delt i åtte distrikter, og innen hvert distrikt ble det testet trevirke fra fire forskjellige sagbruk. I ett av distriktene ble det i tillegg tatt inn materiale fra to ulike høydelag, for å se om dette hadde noen betydning for egenskapene.

Foslie & Moen (1968) konkluderer med at det ikke er funnet signifikant forskjell i bøyestyrke for trelast i de enkelte distriktene, bortsett fra i et distrikt der bøyestyrken hos last fra ett av to sagbruk er avvikende. Det er ikke påvist noen forskjell i egenskaper hos trelast fra Østlandet og Trøndelag.

Foslie & Moen (1968) fant en signifikant høyere bøyefasthet for dimensjonen 2"x4", sammenlignet med dimensjonen 3"x8", med verdier på henholdsvis 54,8 MPa og 44,3 MPa (uten den såkalte 6. sortslasten). Tilsvarende verdier for E-modul var på 12,0 GPa og 13,4 GPa.

Når det gjelder høydeeffekten i det ene distriktet, ble det for dimensjonen 3"x8" tydelig påvist en lavere styrke for virke fra den høyest liggende skogen, og styrkeforskjellen var høyest for de dårligste kvalitetene (reduisert med ca. 4 % og 18 % for henholdsvis beste og dårligste sort). For den andre dimensjonen var resultatene varierende.

Foslie & Moen (1968) undersøkte også sammenhengen mellom styrkeegenskaper på små feilfrie prøver og bruksdimensjoner. Det ble funnet at for bøyefasthet og E-modul (bøy), var sammenhengen god mellom de ulike

prøvetyperne. Den er likevel ikke tilstrekkelig god til at det på basis av småprøvenes egenskaper, kan angi de store prøvenes egenskaper med særlig nøyaktighet. Forutsetningen for dette er imidlertid litt bedre når det gjelder E-modul sammenlignet med bøyefasthet.

Foslie (1971) har i forbindelse med prøving av hele planker innsamlet fra trelastbruk over hele landet, tatt ut små feilfrie prøver for testing av enkelte styrkeegenskaper. Prøvene er tatt ut både i rot- og toppende av dimensjonene 2"x4" og 3"x8". For hele materialet samlet sett, er det funnet at tørrdensiteten ligger i området 418-434 kg/m³. Bøyefastheten har en midlere verdi på 95,8 MPa, mens tilsvarende tall for E-modul (bøy) er på 10,0 GPa. For slagbruddarbeid var verdien på 44,0 kJ/m², skjærfasthet i radiell og tangentiell retning på henholdsvis 7,6 MPa og 7,4 MPa, mens strekkfasthet hadde en verdi på 128,2 MPa. Det er funnet statistisk sikker forskjell mellom høyereliggende og lavereliggende skog fra samme distrikt, idet lavereliggende har bedre styrkeegenskaper.

Eikenes *et al.* (1995) har foretatt virkesundersøkelser i fleraldret skog. Materialet er hentet fra sju forsøksflater fra ulike steder i landet. For små feilfrie prøver var gjennomsnittlig E-modul ved statisk bøyning 13,4 GPa, statisk bøyefasthet 79,9 MPa, trykkfasthet parallelt med fibrene 39,7 MPa, slagbruddfasthet 35,9 kJ/m² og statisk hardhet i radialretningen 2281 N, i tangentialretningen 2014 N og i lengderetningen 2741 N. Den gjennomsnittlige E-modulen (bøy) for trelast i standard konstruksjonsdimensjoner var 11,4 GPa og gjennomsnittlig bøyefasthet var 42,0 MPa. Det er ikke funnet signifikant forskjell i bøyefasthet eller E-modul (bruksdimensjoner) mellom materialene fra de ulike prøveflatene, bortsett fra at fjellskogmaterialet har signifikant lavere E-modul for dimensjonen 48 mm x 198 mm. Som en konklusjon for forsøkene, heter det at selv om stammeformen ikke er spesielt god, viser undersøkelsene at det kan oppnås svært god virkeskvalitet, spesielt med tanke på styrkeegenskaper, i bledningsskog som ligger nær grensen for granens naturlige vekstområde.

Nagoda (1985) undersøkte materialer fra flere flater med plantet skog i Nord-Norge. For dimensjonene 48 mm x 98 mm og 48 mm x 148 mm, ble det funnet en gjennomsnittlig E-modul (bøy) på henholdsvis 9,4 GPa og 9,9 GPa. Tilsvarende verdier for bøyefasthet var på 39,6 MPa og 41,7 MPa.

Okstad & Kårstad (1985) har undersøkt små feilfrie prøver fra granbestand i Nord-Norge, og det meste av materialet stammer fra plantet skog. Det er funnet en bøyefasthet og E-modul (bøy) på henholdsvis 67,7 MPa og 9,7 GPa. For trykkfasthet parallelt med fibrene er det funnet en verdi på 40,5 MPa, mens slagbruddfastheten var 29,8 kJ/m². Hardheten i radial-, tangential- og lengderetning var på henholdsvis 1730 N, 1850 N og 2380 N.

Nagoda (1985) gjorde undersøkelser på bruksdimensjoner av gran fra flater med plantet skog i Nord-Norge. For dimensjonene 48 mm x 98 mm og 48 mm x 148 mm, ble det funnet en E-modul (bøy) på henholdsvis 9,4 GPa og 9,9 GPa. Tilsvarende verdier for bøyefasthet var på henholdsvis 39,6 MPa og 41,7 MPa.

Eikenes (1991) har undersøkt styrkeegenskaper hos trevirke av gran som er plantet på Vestlandet. Det er tatt ut virke fra 18 forskjellige steder i Hordaland og Sogn og Fjordane. Gjennomsnittlig bøyefasthet og E-modul (bøy) er beregnet henholdsvis til 33,2 MPa og 10,0 GPa.

Når det gjelder lauvtrevirke, er det ikke gjort så mange styrkeundersøkelser her til lands. Fjærtoft *et al.* (1998) har imidlertid testet styrkeegenskaper til bruksdimensjoner av osp (*Populus tremula* L.) Det ble funnet at gjennomsnittlig E-modul (bøy) for alle dimensjonene var på 12,8 GPa, med en total spredning på 7,3-20,6 GPa. Bøyefastheten var i gjennomsnitt for alle dimensjonene 53,0 MPa, spredd på observasjoner i området 17,8 MPa til 88,0 MPa.

Friberg (2000) har undersøkt blant annet styrkeegenskaper til bruksdimensjoner av bjørk (*Betula pendula*). For E-modul (bøy) er det funnet en gjennomsnittlig verdi på 15,3 GPa, med en variasjon i området 8,5-22,6 GPa. Gjennomsnittlig bøyefasthet var 74,3 MPa, med en variasjon i området 38,6-108,3 MPa.

3.4.2 Variasjoner

Som for alle andre av trevirkets egenskaper, er det store variasjoner også når det gjelder mekaniske egenskaper, både når det gjelder mellom og innen trær. Her gjengis det noen resultater som til en viss grad kan belyse denne variasjonen. Det refereres blant annet til resultater for ulike trelastdimensjoner, fordi dette avspeiler uttak ulike steder i stammenes lengderetning, i og med at små dimensjoner som oftest blir tatt ut nærmere toppen, mens store dimensjoner tas ut nærmere rotenden av stammen.

Foslie (1971) har funnet at det er statistisk sikker forskjell mellom prøver fra de to dimensjonene som inngikk i undersøkelsen, idet prøver fra 2"x4" viser høyere verdier enn prøvene fra 3"x8". Likeledes er det funnet at prøver fra stokkens toppende viser stort sett noe bedre egenskaper enn fra dens rotende.

Eikenes *et al.* (1995) har i sine undersøkelser funnet at det i ett av i alt sju forsøksfelt, er signifikant forskjell i bøyefasthet for de ulike høydeseksjonene i stammene som ble testet. Trelast fra rotstokken hadde den laveste bøyefastheten. Når det gjelder E-modul (bøy), trykkfasthet parallelt med fibre, slagbruddfasthet og statisk hardhet, ble det ikke funnet noen statistisk sikker forskjell mellom stammenes ulike høydeseksjoner.

Eikenes (1991) fant signifikant forskjell mellom undersøkte proveniensgrupper hos gran på Vestlandet, både for bøyefasthet og E-modul (bøy). I undersøkelsen inngikk de tre dimensjonene 50 mm x 100 mm, 50 mm x 150 mm og 50 mm x 200 mm. For bøyefasthet (ukorrigert for tverrsnittshøyde) ble det funnet at bøyefastheten avtok med stigende dimensjonsstørrelse (verdier på henholdsvis 33,7 MPa, 33,1 MPa og 31,9 MPa). For E-modul hadde den største dimensjonen den høyeste verdien (11,7 GPa), mens den midtre dimensjonen hadde den laveste verdien (9,4 GPa).

Foslie (1985) har også undersøkt gran fra Vestlandet, der dimensjonene 50 mm x 100 mm og 75 mm x 200 mm har utgjort forsøksmaterialet. Trelasten ble også inndelt i to ulike sorteringsklasser etter datidens visuelle styrkesorteringsstandard. Det ble funnet at bøyefastheten var høyest for den minste dimensjonen for begge sorteringsklassene. For E-modul (bøy) ble det imidlertid funnet at for den beste sorteringsklassen var verdien størst for den minste dimensjonen, mens det omvendte var tilfelle for den andre undersøkte sorteringsklassen.

Høibø (1991c) har undersøkt hvordan planteavstanden (fra 1,25 m til 2,25 m) påvirker blant annet E-modul (bøy) og bøyefasthet for trelast av gran. Materialet er samlet inn ved Spikkestad, og kommer fra bestand med god bonitet (G25-G26). For dimensjonene 75 mm x 200 mm og 50 mm x 150 mm øker bøyefastheten med henholdsvis 16 % og 26 % fra største til minste planteavstand (37-43 MPa og 33-42 MPa). E-modulen øker med henholdsvis 13 % og 15 % (10,8-12,2 GPa og 10,7-12,3 GPa). For dimensjonen 50 mm x 100 mm var det ingen signifikant forskjell mellom planteavstandene. Dette betyr at forskjellen mellom planteavstandene avtar med økt høyde over bakken. For alle tre dimensjonene var det imidlertid en klar trend som viser at både bøyefasthet og E-modul avtar med stigende høyde over bakken.

Høibø & Eikenes (1991) har undersøkt egenskaper hos trelast fra granbestand med stor planteavstand (5,5 m x 3,0 m) og god bonitet (G23) fra Rustad. For dette materialet var bøyefastheten for dimensjonene 50 mm x 200 mm, 50 mm x 150 mm og 50 mm x 100 mm på henholdsvis 31,3 MPa, 30,8 MPa og 34,7 MPa.

3.4.3 Sammenheng mellom ulike egenskaper

Foslie (1971) konkluderer med at for hele materialet sett under ett, er det funnet sikker korrelasjon mellom densitet på den ene side og styrkeegenskaper på den annen side, og dessuten mellom E-modul (bøy) og bøyefasthet innbyrdes. Videre fremholdes det at noen av disse sammenhengene er så sterke, at de kan tenkes å ha praktisk interesse.

For sammenhengen mellom densitet og bøyefasthet, samt densitet og E-modul (bøy), fant Foslie & Moen (1968) at densiteten har litt større innvirkning for dimensjonen 2"x8", sammenlignet med dimensjonen 3"x8". I den samme undersøkelsen ble det funnet at trykkfasthet hos små prøver var en dårlig indikator for både bøyefasthet og E-modul (bøy) for store prøver.

Eikenes *et al.* (1995) har ved hjelp av lineære regresjoner sett hvor god sammenhengen er mellom ulike virkesegenskaper for små feilfrie prøver. For E-modul (bøy) er det funnet r^2 -verdier på 0,40 og 0,18 når henholdsvis densitet og årringbredde er brukt som uavhengige variabler. Tilsvarende r^2 -verdier for bøyefasthet er henholdsvis på 0,69 og 0,10. For sammenhengen mellom bøyefasthet og E-modul er det funnet en r^2 -verdi på 0,58.

I samme undersøkelsen er det funnet r^2 -verdier på 0,69 og 0,23 for sammenhengen mellom trykkfasthet parallelt med fibre og henholdsvis densitet og årringbredde. For slagbruddfasthet er tilsvarende r^2 -verdier på henholdsvis 0,25 og 0,05. Sammenhengen mellom densitet og statisk hardhet i henholdsvis radial-, tangential- og lengderetning, viser r^2 -verdier på henholdsvis 0,50, 0,68 og 0,55. For årringbredde som uavhengig variabel ligger r^2 -verdiene svært lavt (0,007-0,03).

Eikenes (1991) har i sine undersøkelser av gran fra Vestlandet funnet at densiteten forklarer 32-48 % av variasjonen i bøyefasthet for de ulike trelastdimensjonene, omtrent det samme som årringbredden forklarer. Når det gjelder E-modul (bøy), forklarer densiteten 59-68 % av variasjonen for de ulike trelastdimensjonene.

Høibø (1991c) har i sine undersøkelser av plantet gran med ulik planteavstand på god bonitet, funnet r^2 -verdier på 0,29-0,36 for sammenhengen mellom densitet og bøyefasthet for de ulike dimensjonene. For E-modul (bøy) er det for denne sammenhengen funnet r^2 -verdier på 0,45-0,57. Tilsvarende verdier for sammenhengen mellom de nevnte egenskapene og årringbredde, viser r^2 -verdier på henholdsvis 0,31-0,56 og 0,20-0,62.

Eikenes & Høibø (1991) har funnet relativt lave r^2 -verdier for sammenhengene mellom densitet som uavhengig variabel, og bøyefasthet og E-modul (bøy) som avhengige variable. Verdiene ligger på henholdsvis 0,03-0,26 og 0,04-0,37 for de ulike dimensjonene. Det er dimensjonen 50 mm x 100 mm, det vil si den minste av de undersøkte dimensjonene, som viser de laveste verdiene for r^2 .

I sine undersøkelser av bjørk fant Friberg (2000) at densiteten forklarte 33-45 % av variasjonen i bøyefasthet.

3.5 Kjemiske egenskaper

Det er lite publisert om variasjoner i trevirkes kjemiske sammensetning som følge av forskjeller i voksested (geografi), bonitet eller i ulike deler av trestammen. Det vil derfor her gis en generell presentasjon av de viktigste kjemiske bestanddelene i veden, og deres betydning for treforedlingsindustriens prosesser og produkter. Fremstillingen er basert på bøkene "Pappersteknik" (Fellers og Norman, 1996) og "Paper Science and Paper Manufacture" (Peel, 1999).

3.5.1 Vedens kjemiske sammensetning

Barved inneholder ca. 42 % cellulose, 27 % hemicellulose, 28 % lignin og 3 % ekstraktivstoffer. Lauvved inneholder ca. 44 % cellulose, 33 % hemicellulose, 20 % lignin og 3 % ekstraktivstoffer.

3.5.2 Cellulose

Cellulose er en lineær polymer, det vil si et langt kjedemolekyl, og består av glukosemonomerer. I nativ tilstand i planter, er cellulosemolekylet sammenføydd av 9 000-10 000 cellobioseenheter. En cellobioseenhet er to glukoseenheter bundet sammen med en β -binding.

Cellulosekjedene er arrangert i knipper til fibrillære elementer, mikrofibriller, som består av alternerende krystallinske områder og amorfe områder med en mindre ordnet struktur. Graden av krystallinitet kan bestemmes med flere ulike metoder, som ofte gir temmelig forskjellig resultat.

Cellulosemolekylet har hydroksylgrupper som kan samvirke med vann og danne hydrogenbindinger. I og med at cellulosen for en stor del er krystallinsk, vil vann påvirke den i liten grad. Det meste av interaksjonen vann/cellulose vil skje på cellulosekrystallittenes overflater, og i amorfe områder mellom krystallittene.

På grunn av sin høye stivhet og fibrillære struktur, fungerer cellulosen som forsterkningselement i vedfiberen noenlunde analogt med armeringsjernet i betong. Den er det lastbærende element ved slitpåkjenning.

Cellulosemikrofibrillene finnes i hele fiberveggen, i alle lag fra primærveggen via S1 og S2 til S3, som er det indre laget nærmest lumen (fiberens sentrale hulrom). Primærveggen og S1 er ganske tynne lag, hvor mikrofibrillene delvis er vilkårlig orientert (i en matrise av hemicellulose og lignin) (P) og i en dobbeltspiral med stor vinkel til fiberaksen (S1). Selv om disse fiberlagene er tynne, vil mikrofibrillenes orientering gjøre at lagene representerer stor motstand mot svelling av fiberveggen hvis fiberens fuktighetsinnhold økes, for eksempel ved mekanisk raffinering eller "maling" av fibrene. Dette gjelder hovedsakelig fibre fra kjemisk masse. Ofte vil imidlertid P og S1 være brutt ned og fjernet som en følge av malingen, og fiberen kan dermed svulle fritt.

Hovedmengden av fiberveggenes masse (70-80 %) finnes i sekundærvegg S2. Her er fibrene orientert i en enkel spiral med liten vinkel (15-20 °) til fiberaksen. Dette gir fiberen en høy strekkstyrke i lengderetningen. Mikrofibrillene ligger også her i en matrise av lignin og hemicellulose. Hvis fiberens fuktighetsinnhold øker, vil hemicellulosen svulle og skyve mikrofibrillene noe fra hverandre. Fiberen sveller da på tvers, opptil 20 % (fibre fra kjemisk masse). I og med at cellulosemikrofibrillene ikke sveller, vil fiberen ikke svulle på langs. Tvert imot har det vært observert at fibrene blir litt kortere når de sveller, på grunn av mikrofibrillenes spiralorientering.

En annen og viktig effekt av fibrenes fibrillorientering, er at fibrenes tendens til å falle sammen til flate bånd under papirproduksjonen, blir mindre jo større mikrofibrillvinkelen i S2 er. Dette er viktig for papiregenskapene, fordi kollapsede fibre gir god bindingsdannelse mellom fibrene i arket, og dermed et sterkt papir med høy densitet, og også en jevnere papiroverflate.

3.5.3 Hemicellulose

Kjemisk er hemicellulosen en gruppe polysakkarider. Hemicellulosen er oppbygd av forskjellige monomere, vanligvis mannose, glukose, xylose, arabinose og galaktose. Sammensetningen varierer sterkt mellom ulike vedslag. Mens cellulosen er et lineært polysakkarid, vil hemicellulosen ha forgrenede molekyler, og dermed hovedsakelig være amorf.

Hemicellulosen har betydelig lavere polymerisasjonsgrad (DP) enn cellulose. Eksakt DP i nativ tilstand er vanskelig å bestemme, fordi hemicellulosen brytes ned når man prøver å skille den ut fra veden. DP fra 150-200 opp til 400 har vært rapportert.

Nativ hemicellulose er som nevnt hovedsakelig amorf, men det har vært observert en viss grad av orientering som faller sammen med mikrofibrillenes orientering i fiberveggen.

Hemicellulosenes oppgave i veden er sannsynligvis å gi en viss fleksibilitet til materialet. De anses også å fungere som bindemiddel mellom cellulosen og ligninet i fiberveggen. Hemicellulosen er av stor betydning for papirets styrke, fordi den bidrar til bindingsdannelsen mellom fibre.

I og med at hemicellulosen ikke er krystallinsk, den har en uordnet struktur, vil den lettere ta opp vann, og den vil også lettere reagere med kokekjemikalier og blekevæsker enn cellulose. Dette fører til en viss nedbrytning og utløsning av hemicellulose i disse prosessene.

Den svelling av hemicellulosen, og dermed av fibre, som oppstår ved maling av en kjemisk masse, fører til sterkere bindinger, men også til at fibre krymper mer under tørking i papirmaskinen. Dette kan gi opphav til uønskede tørkespenninger i papiret. Mer malt masse gir også et mindre dimensjonsstabilt papir, slik at endringer i papirfuktighet (for eksempel ved endringer i den omgivende luftens fuktighet) kombinert med uheldig papirstruktur, for eksempel dårlig formasjon og strukturell tosidighet, kan gi opphav til uønsket krumming og krølling av papiret.

3.5.4 Lignin

Ligninet er det materialet som hovedsakelig binder sammen fibre i veden via den såkalte midtlamellen. Mesteparten av ligninet finnes likevel i fiberveggen, vanligvis i en matrise sammen med hemicellulose.

Ligninet er bygget opp av aromatiske karbohydrater som er koblet sammen til en komplisert tredimensjonal struktur. Oppbygningen er forskjellig i lauvtrær og bartrær, og også mellom midtlamellen og det ligninet som finnes inne i fiberveggen. Ligninet er hovedsakelig amorf. I fiberveggen bidrar ligninet, sammen med cellulosen, til veggens kompresjonsstyrke.

Ligninet er mindre hydrofilt enn hemicellulose, og absorberer i nativ tilstand mindre vann. Hvis ligninet modifiseres kjemisk, for eksempel ved sulfonering i et massekok, kan det fås til å svulle kraftig.

Når man lager kjemisk papirmasse, søker man å gjøre ligninet vannløselig. Dette krever at ligninet modifiseres og brytes ned kjemisk. Veden blir defibrerbar når hovedmengden av ligninet i midtlamellen er løst ut. Bleking av papirmasse innebærer nedbrytning og utløsning av restlignin i fiberveggen. Problemet er å få dette til uten å bryte ned cellulosen.

Mekanisk masse inneholder alt lignin som er i veden. I og med at ligninet ikke er hydrofilt, vil det ikke bidra mye til bindingsdannelsen mellom fibrene i papiret. Mekanisk masse vil derfor gi et svakere og mer "bulky" papir enn kjemisk masse. Fibrene vil ikke svulle og krympe så mye ved fuktighetsendringer, slik at papirets hygrostabilitet blir bedre enn for papir av kjemisk masse. Lignininnholdet i fibre av mekanisk masse vil gjøre fiberveggen stiv, med mindre tendens til kollaps enn for fibre av kjemisk masse.

3.5.5 Ekstraktivstoffer

Ekstraktivstoffene i veden består av harpikssyrer og fettsyrer. Mengden bestemmes ved ekstraksjon av veden (oftest med diklormetan, eventuelt aceton, etanol eller heksan), derav navnet. Ved inneholder 1-3 % ekstraktivstoffer.

Ekstraktivstoffene er hydrofobe og kan gi problemer under papirproduksjonen. Problemene er noe forskjellige for kjemisk og mekanisk masse.

Ved sulfatmasseprosessen, som er alkalisk, vil fettsyrene forsåpes og kan gjenvinnes fra brukt kokelut som såkalt "tallolje". En godt vasket sulfatmasse vil inneholde under 0,1 % harpiks.

Rester av harpiks i en kjemisk masse kan felles ut i papirmaskinsystemet hvis massen surgjøres. Harpiksen kan da sette seg i virer og filter og på maskindeler ellers. Utfellingen av visse fraksjoner starter allerede ved pH 8. Hvis det finnes kalsiumioner i systemet, kan man få utfelling av svært tungtløselige kalksåper.

For mekaniske masser vil størstedelen av vedens ekstraktivstoffer være i massen. Ved raffinering av veden dispergeres en stor del av harpiksen som dråper med størrelse 0,1-1 μm . Disse vil danne en dispersjon, som under visse betingelser kan bryte sammen og danne aggregater og problematiske avsetninger.

3.5.6 Variasjoner i vedens kjemiske sammensetning

Her tenkes det spesielt på variasjoner innen et og samme vedslag, avhengig av voksested (breddegrad, høyde over havet, bonitet) og sted i stammen. Det er relativt lite å finne om dette i litteraturen.

Flere eldre undersøkelser har vist at innholdet av cellulose i veden stiger med økende avstand fra margen (Wardrop 1951, Harwood 1971). Tilsvarende er vist også for innholdet av ekstraktivstoffer både i gran og furu (Pensar 1968 og Posey & Robinson 1969).

Hergert *et al.* (1982) studerte forskjeller i kjemisk sammensetning mellom vårved og sommerved i sydstatsfuru. Observerte forskjeller i kjemisk sammensetning i blekte kjemiske masser (sulfit-, sulfat- og forhydrolysert sulfatmasse) produsert av vårved respektivt sommerved, var langt mindre enn i den opprinnelige veden.

Hatton & Hunt (1992) sammenlignet tynningsvirke og fullvoksnet virke av Lodgepole pine, som er et av de mest benyttede treslag for fremstilling av sulfatmasse i Canada. Tynningsvirket hadde generelt lavere densitet og fuktighetsinnhold sammenlignet med voksen ved, men ingen signifikante forskjeller ble funnet i kjemisk sammensetning.

Man kan spørre seg om hvor viktig vedens sammensetning er for treforedlingsindustriens prosesser og sluttprodukter. Mengden ekstraktivstoffer påvirker driftsforholdene i fabrikkene gjennom faren for avsetninger i papirmaskinbekledning og på maskindeler. Mengde lignin vil i prinsipp påvirke kjemiske massefremstillingsmetoder, men ut fra manglende litteratur på området, synes det som om forskjellene i kjemisk sammensetning innen et og samme vedslag ikke representerer noe stort problem for fremstillingen av kjemisk masse. For mekanisk masse, hvor massens kjemiske sammensetning er nær identisk med vedens, synes det som om massens egenskaper i langt større grad avhenger av massepartiklenes fysiske størrelse og fasong enn deres kjemiske karakteristika (Veal & Jackson, 1985, sitert i Tyrväinen 1995).

3.6 Estetiske egenskaper

Gjennom alle tider har mennesket benyttet seg av trevirket. Dette har vært til for eksempel brensel, redskaper, våpen, bygningsmaterialer, transportmidler og medisiner. Andre bruksområder for trevirkets mangfoldige struktur er i kunst og utsmykning (Kucere & Næss 1999). Den visuelle strukturen mellom treslag blir også benyttet vitenskapelig til å skille mellom treslag i mikroskopisk og makroskopisk struktur (Stemsrud 1988).

SSFF-prosjektet omhandler fire forskjellige treslag: Gran, furu, bjørk og osp. Nedenfor er disse treslags visuelle bruksområder og mulige bruksområder diskutert.

3.6.1 Gran og furu

Gran og furu er de mest benyttede treslag til bygnings- og snekkerlast i Norge. Begge treslag er vesentlig benyttet for sine visuelle egenskaper. Gran er historisk spesielt mye benyttet til konstruksjonsvirke (synlig og

skjult), paneler og gulv, mens furu i tillegg har vært mer benyttet i møbel og innredningsindustrien enn gran.

I Norge har vi en lang rekke bestemmelser, sorteringsregler og standarder som beskriver gran og furus utseende og egenskaper i forhold til bruk. Fra historiske tider har disse reglene blitt til gjennom praktisk bruk av trevirke. Sorteringsreglene har gjennom generasjoner blitt muntlig overført. Østlandets Skurlastmålings reglement (ØS-reglene) er de første av de muntlig overførte sorteringsreglene som ble nedtegnet til praktisk bruk (Foslie 1981). "ØS reglene" regulerte kjøp og salg av skurlast til først og fremst visuelle formål. Tilsvarende regler for Sverige og Finland var "Grøna boken" (FFS 1982). I dag er det Nordisk Tre og NS-EN 1611-1 som er ment å regulere kjøp og salg av skurlast.

Når vi kommer over på mer moderne bruk av trevirke, og over på sluttprodukter, gjelder et helt annet sett med regler. I Norge i dag har vi en lang rekke standarder som skal regulere kjøp og salg av paneler, gulv, listverk, glattkant/utføringer, kledning og konstruksjonslast.

For konstruksjonslast er det hovedsaklig styrken som teller. Styrken blir bestemt ut fra standardene NS-INSTA 142 (visuelt sortert) og NS-EN 519 (maskinelt sortert). Disse standardene stiller ingen krav til trevirkets utseende.

Omsetning av visuelle produkter og sortering av det visuelle uttrykket for gran og furu, skjer gjennom standarden NS 3180. I tilknytning til denne er det tilleggsstandarder som regulerer de enkelte produktgruppene:

- NS 3181, Pløyningsprofiler for høvellast
- NS 3182, Gulvbord
- NS 3183, Panelbord
- NS 3184, Glattkant
- NS 3185, Underpanel
- NS 3186, Utvendig kledning
- NS 3187, Innvendig listverk
- NS 3079, Trelast, dimensjoner

Spørsmålet er hvordan de ulike standardene og reglene fungerer i praksis. Det vi vet er at i dag er det få av standardene som fungerer fullt ut etter intensjonene. Dette gjelder skurlast- og høvellastregelverk.

Skurlastregler

For omsetning av skurlast kom det i 1999 en ny standard: NS-EN 1611-1. Standarden skal etter avtaler i CEN overta rollen til alle like eller liknende nasjonale standarder og regler. Per i dag er dette en ikke-fungerende standard.

En av grunnene til at EN 1611-1 er en sovende standard, er muligens den store likheten med Nordisk Tre. I tillegg er Nordisk Tre betydelig mer detaljert på enkelte vitale virkesegenskaper. Dette har ført til at Nordisk praksis for NS-EN 1611-1 kopierer Nordisk Tre sine vurderinger der NS-EN 1611-1 er uklar.

I dag er det med andre ord Nordisk Tre som er den dominerende regelen når det gjelder skurlastomsetning i forhold til estetikk, men 1611-1 kan bli mer benyttet om det europeiske markedet av trelastforbrukere og trelastprodusenter tar denne standarden i bruk.

Nordisk Tre er utarbeidet på bakgrunn av "Grøna boken" i Sverige og Finland og "ØS reglene" i Norge. Nordisk Tre bærer dermed store likheter til disse vurderingene av skurlast. Dermed vil man ofte i dagligtale møte betegnelser fra for eksempel "Grøna boken", mens selve reglene referer til Nordisk Tre.

Alle regelverk og standarder for skurlast har et mål om å tilsi en kvalitet som egner seg som råstoff til et ferdig produkt. Slik Nordisk Tre og NS-EN 1611-1 er bygget opp, er det mulig å beskrive de kvalitetene man ønsker til det gitte produktet. Om dette er vindusemner, møbelemner eller råstoff til panel, så skal en aktiv bruk av sorteringsreglene kunne klare å beskrive ønsket kvalitet.

I dagens tremekaniske industri blir det en stadig økende spesialisering. Produsenter av vinduer, møbler og trevare var av de første som etterspurte spesielle produkttilpassede kvaliteter. I dag ser vi samme tendenser for gulvprodusenter (parkett og heltre), panelprodusenter og listverksprodusenter. Denne økende spesialiseringen krever en langt større presisjon på råvarebestillingene enn det trelastindustrien er vant til fra tidligere. Tidligere var det ofte samme bedrift som produserte både gulv, panel, listverk og konstruksjonslast fra eget råstofflager. Denne tendensen er på vikende front i dag.

I dag finnes etter hvert spesialiserte høvlerier for de fleste trelastprodukter. Dette gjelder også for konstruksjonslast. For konstruksjonslast kan det meste benyttes, men maskinell sortering har gjort det mulig å være svært nøyaktig med sorteringskvalitet i henhold til styrkeegenskaper. I Norsk Trelastkontroll er det gjort åpning for maskinell styrkesortering på skurlast, og en etterfølgende visuell sortering på eksternt høvleri. Dette medfører at utlegget inklusive kapp (ikke justert for redusert volum i høvlingsprosessen) for et konstruksjonslast-høvleri, ligger mellom 0,5 % og 2 % (pers. medd. Norsk Trelastkontroll).

Eksempelet over har et svært godt resultat til å være videreforedling av trelast. Det samme gode eksempelet kan man ikke forvente ved videreforedling av visuelle produkter. Visuelle produkter blir svært ofte bearbeidet mer enn konstruksjonslast. Dette skjer ved splitting av plank til bord, kapping i eksakte lengder eller ved betydelig høvling (>5mm). Ved stor bearbeiding blir det vanskeligere å forutsi kvaliteten til de ferdig oppdelte emnene. Dessuten vil overflatens beskaffenhet ha betydelig innvirkning på den endelige kvaliteten og utleggsandelen.

Flere store trelasteksportører i spesielt Sverige og Finland, benytter i dag kamerateknikk for å sortere trelasten. Nordisk Tre og andre moderne skurlastreglement tillater nøyaktig vurdering av virkesegenskaper med dagens kamera- og datateknologi. Det har vært forsøkt med kameranisering i Norge på skurlast, men per i dag finnes ingen som utnytter denne teknologien.

Høvellastprodukter

Når det gjelder de visuelle trelastproduktene, går det, som nevnt tidligere, raskt i retning av spesialiserte produsenter. Samtidig er det svært få som benytter seg av standardene for ferdigprodukter (Müller & Haugen 2002). Dette betyr at kvalitetene på like produkttyper varierer mellom produsenter, selv ved samme kvalitetsbetegnelse (jfr. Natur-sort). Økt spekter av spesialkvaliteter vil for visuelle trelastprodukter og bygningslast sannsynligvis bli stadig sterkere i fremtiden.

I dagens marked har den manglende bruken av standarder medført at summen av 1. og 2. sort har gått over til betegnelsen "Natur". Denne sorten har ingen eksakt definisjon på kvaliteten, eller hvor stor andel av hver sort som finnes i begrepet "Natur". Dette har medført at det kun er pris som er den reelle konkurransefaktor (Müller & Haugen 2002). Samtidig konkluderer Müller & Haugen med at det i fremtiden sannsynligvis blir mer kundetilpassede kvaliteter. Dermed må man også forvente at videreforedlerne etterspør stadig mer spesifikke kvalitetsklasser.

Når det gjelder råstoff til møbler og trevareindustri, så har disse produktene aldri, eller svært sjelden, vært knyttet til trelastbedrifter. De har dermed lengre erfaring i å etterspørre de eksakte kvalitetene produktene krever. De vi kjenner til i Norge, har produsert egne spesifikasjoner og sorteringsregler på råstoffet, enten ut fra egne beskrivelser, men også ved bruk av, eller i kombinasjon med, et sorteringspråk eller sorteringsregel. Det vi kjenner til er at Nordisk Tre er den mest benyttede sorteringsregelen innen møbel- og trevareindustrien.

I møbel- og trevareindustrien etterspørres dessuten svært ofte ferdige emner, og antallet bedrifter som kunne tenke seg ferdige emner er økende. (Birkeland & Rønningen 1985). En må ut fra slik industristrukturen har blitt, med store videreforedlere, forvente at det også i dag er økende etterspørsel etter ferdige emner.

Trevareindustrien har i flere år benyttet kamerateknikk for å sortere trelast til vindusemner (Kilde 1999). Denne kamasorteringen foregår stort sett med kamera i lengderetning (linjekamera). Dette er til forskjell fra kamera på justerverk, som sitter på tverretningen av planken.

Kameraene i forbindelse med trevare- og møbelindustrien blir svært ofte benyttet til optimeringsformål. Sorteringen sitter dermed i direkte tilknytning til en optimeringskappe. (Kilde 1999). Det er ikke noe i veien for at en slik teknologi kan benyttes til sortering i annen treindustri og til andre sorteringsformål. For eksempel vil sortering av gulv og panel være et mulig område. Teknologien er svært kostbar, og fremtiden vil vise om vi får store nok enheter til å kunne benytte kamerateknologi i panelhøvlerier.

Fremtiden

I tillegg til de gjeldende norske standardene på innvendige produkter, vil det i løpet av de kommende årene (1-10 år) komme flere felleseuropeiske standarder.

Dette gjelder både for konstruksjonslast og for visuelle produkter. Først ute her er standarder for heltregulv av bartre. Felles for disse er at de visuelle kvalitetene kan defineres ut fra gitte kriterier, eller velges fritt av produsenten.

Med en så spesialisert etterspørsel etter produkter som det den trelastforbrukende industrien har, må sagbrukene i fremtiden bli gode på å produsere riktig kvalitet til riktig kunde. Dette setter store krav til kvalitetsprediksjon av tømmer, men også til evnen til å sortere riktig. Har sagbruket valgmuligheter mellom forskjellige produkter, eller mellom kvaliteter i samme produkt, så vil sagbruket kunne optimalisere kvalitetene i forhold til pris og etterspørsel.

Dette vil sannsynligvis medføre at store sagbruk vil ha større mulighet til å optimalisere kvalitetene, få riktig pris for varene, og til å etterspørre det riktige råstoffet. I Sverige og Finland har denne trenden gått lengre enn i Norge. Der finnes det sagbruk som for eksempel kun skjærer furu til panelkvaliteter. Her etterspør man en spesifisert råstoffkvalitet (grønnkvist) og et bestemt dimensjonsintervall (lengde og diameter). Tømmer som ikke faller inn under deres krav, går ut av produksjonen og videreselges. Likeledes har man kun et begrenset uttak av dimensjoner som egner seg som panelvirke. Deretter sorteres virket i henhold til panelprodusentenes krav. I Norge har slik videreforedling vært forsøkt fra sagbruk og mot treforedlingsindustrien og vindusproduksjon (Vestøl & Høibø 2000). Det har til nå ikke blitt noen stor satsing på kundetilpassede emner fra norsk sagbruksindustri.

3.6.2 Bjørk og osp

Lauvtrærne kjennetegnes av flere celletyper og en mer kompleks oppbygging enn bartrærne. Lauvtrærnes hovedbestanddeler består av vedceller og karceller. Organiseringen av de forskjellige cellene er med på å gi lauvtrær dets visuelle uttrykk. I hovedsak kan man skille mellom ringporede og spredtporede lauvtreslag. Dette gjelder også det visuelle uttrykket. Hovedskillet ligger i at de ringporede treslagene (eik, ask og alm) har klare årringgrenser, mens de spredtporede treslagene har en homogen ved, ofte uten store variasjoner (Stemsrud 1988).

Utnyttelse av lauvtreslagene våre til tremekaniske formål er i dag svært lav. Fra tidligere tider har lauvtreslagene blitt utnyttet til spesielle områder. Spesielt til møbler og treskjæring har bjørkens egenskaper vært utnyttet (Kucera & Næss 1999). Osp har blant annet hatt spesielle egenskaper som har gjort den godt egnet til stallgulv og til gjerdestolper.

I dag er det en kraftig tiltakende interesse for å utnytte våre lauvtreslag i langt større grad. Blant annet bekreftes dette gjennom flere fora for utnyttelse av lauvtreslag (Handlings- og strategiplan, lauvtrenæringen).

I dag ønsker man først og fremst å benytte bjørk og osp i innredninger. Men stadig flere utradisjonelle bruksområder viser seg. Flere av disse bruksområdene har sitt utspring i historisk utnyttelse av treslaget. For eksempel osp

som ubehandlet kledning, har sin bakgrunn i osp som et godt gjerdemateriale, mens bjørkegulv utnytter bjørkens gode styrkeegenskaper.

Når det gjelder omsetning av visuelle kvaliteter av lauvtre, finnes det svært lite regelverk. Det finnes et omsetningsspråk for kvalitetskrav til skurlast av lauvtre (Kucera 1983). Dette er svært lite benyttet, og må regnes som et "dødt" regelverk. Det arbeides i dag med å frembringe et kvalitetsspråk for innvendige trelastprodukter av lauvtre.

Norges medlemskap i CEN medfører at vi får en lang rekke standarder for bruk og omsetning av lauvtretømmer og -trelast gjeldende som norsk standard. Disse standardene er utarbeidet i komiteer, der land med større tradisjon for bruk av lauvtre har et førende ord. Dermed blir disse standardene også farget av disse landenes ønsker og krav til lauvtrestandarder. Av de standardene vi har i dag som omhandler norsk lauvtreomsetning og trelast, er følgende:

- NS-EN 975-1 Skurlast. Sortering etter lauvtreverkets utseende. Del 1: eik og bøk.
- NS-EN 1313-2 Tømmer og skurlast. Tillatte avvik og anbefalte dimensjoner. Del 2: Skurlast av lauvtre.

Det finnes også standarder for omsetning av lauvtretømmer. Standardene omhandler krav til dimensjoner (NS-EN 1315-1), Kvalitet på eik og bøk (NS-EN 1316-1), Kvalitet på poppel (NS-EN 1316-2), Kvalitet på ask og lønn (NS-EN 1316-3).

I tillegg til disse standardene for skurlast, kommer det etter hvert standarder for en del bearbejdede og ferdige produkter. Dette er i første rekke gulvbord, sperret parkett og heltreparkett. Som for bartre, vil det her bli frie klasser for visuelle kvaliteter. Det vil si at man kan benytte utarbejdede forslag til sorteringsklasser, eller hver bedrift kan utarbejde sitt eget kvalitetsuttrykk.

Et av momentene i de kommende EN-standardene, er en sortering som er mest mulig tilpasset kundenes krav. Homogene kundetilpassede sorteringer har vist seg å være ønsket til norske forbrukere av trelastprodukter (Müller & Haugen 2002). Gjennom det sorteringspråket som utarbejdes for innvendige trelastprodukter av lauvtre, er det et mål å kunne utnytte spesielle visuelle effekter for bl.a. bjørk og osp. Dette kan være flammeved, rødkjerne (kallved) og soppfarget ved. I dag er disse stort sett benyttet i husflidsprodukter (Myhra & Kucera 1997, Myhra *et al.* 1997). Spesielt flammeved og rødkjerne (kallved) har mulighet for utnyttelse i noe større volumer.

For omsetning av skurlast av lauvtre, benyttes svært mye kundespesifikke avtaler. Dessuten har omsetning av ferdige emner hatt langt større betydning for lauvtresektoren enn den har hatt for bartresektoren. I 1996 ble 13 % (av 450 000 m³) av forbrukt trelast i møbel- og innredningsindustrien omsatt som emner (Bruun *et al.* 1996). Dette skyldes at man i langt større grad har arbeidet

med mindre lengder og dimensjoner av lauvtre. I tillegg har lauvtre blitt svært mye benyttet til møbelkomponenter (Dølven 1998).

Undersøkelser av norsk bjørk som råstoff, bekrefter at kvaliteten er god nok til produkter av meget høy kvalitet, som for eksempel møbelkomponenter (Fjærtøft & Bunkholt 1994).

Ved bruk av lauvtrevirke settes det nå også fokus på utnyttelse av virkets til dels svært gode styrkeegenskaper, i kombinasjon med det visuelle uttrykket. Et forprosjekt på bjørk i limtre er utført på NTI (Kilde 2001). Interessen for et annet visuelt uttrykk i bærekonstruksjonene er tilstede, men fordi det ikke foreligger noen godkjente beregningsstandarder for bjørk konstruksjonslast, er det vanskelig for produsenter å markedsføre for eksempel limtre i bjørk. Flere rapporter og arbeider har konkludert med at bjørk er godt egnet som konstruksjonsmateriale (Kucera 1984, Friberg 2000, Kilde 2001, Trada 2001). Det å benytte både de visuelle egenskapene til lauvtre i kombinasjon med de fysiske egenskapene, vil komme sterkere i fremtiden. Bjørk i limtre og ospekledning er to eksempler.

I tillegg vil laminering og fingerskjøting av lauvtre bli svært aktuelt i fremtiden, og ikke bare i forbindelse med bærende konstruksjoner. Møbelplater og listverk er allerede i dag produkter hvor laminering og fingerskjøting er aktuelt (Kilde 1999). Etter hvert kan det også tenkes at det blir egne regler for laminerte produkter, eller at sorteringsreglene også omfatter laminerte emner.

4. Forholdet mellom virkesegenskaper, produksjonsprosesser og sluttproduktene egenskaper

4.1 Hel- og laminerte treprodukter

Hel- og laminerte produkters egenskaper, er et direkte resultat av råstoffets egenskaper og produksjonsprosessen. Tremekanisk industri omfatter svært mye, og spenner fra grenseområdet mot skogbruket til massefremstilling. Tremekaniske produkter spenner fra laftetømmer, som i bunn og grunn kun er treets egne upåvirkede egenskaper, til trefibermaterialer som MDF, hvor produksjonsprosessen har minst like mye å si for sluttresultatet som virkesegenskapene.

De sentrale delene av den tremekaniske industrien har sin basis i trelastindustri eller lamineringsindustri. De bearbejdede materialene av dette råstoffet er heltre til visuelle formål, heltre til konstruksjonsformål og laminerte produkter til visuelle og konstruksjonsmessige formål.

4.1.1 Skur

Skur av trelast legger sterke føringer for de produktene som skal produseres senere. Dette gjelder for det første dimensjonering av produktene, men også skurmetode sammen med virkesegenskapene, er av vital betydning.

Nordisk skur

Når det gjelder gran og furu, snakkes det om nordisk skurpraksis (Nordisk Tre 1994, Grønlund 1992). Dette er uttak av sentrum i form av to eller fire planker som er sentrert om margin. Stokken splittes i margin, og dermed unngår en å få innesluttet marg i planketverrsnittet. Dette fører til en betydelig redusert sprekkfare under tørking.

Etter hvert som man har tatt virkesegenskapene mer på alvor, har det blitt mer vanlig å skjære ut en såkalt margfanger (Grønlund 1992). Som kjent er margin og ungdomsveden (10-20 årringer nærmest margin) av betydelig dårligere kvalitet enn veden lengre ute (Stemsrud 1988). Ved å skjære ut et smalt bord, eller la en plank få margin i seg, heves kvaliteten på de utenforliggende delene.

Ut fra dette perspektivet, samt kravet til høyere skurutbytte, er det utviklet nordisk skurpraksis til 3- og 5-plankskur. Virket i midten vil bli av lav kvalitet. Dette gjelder både til visuelle formål og konstruksjonsformål. Avsetningen av virket med marg er avgjørende for om denne produksjonen lar seg gjennomføre eller ikke. For å heve kvaliteten kan en også skjære ut en ren margfanger, som er et tynt bord som kun har som oppgave å fjerne margin.

Ved nordisk skurpraksis blir forholdsvis mye av stokken (ca. 60 %) igjen i ytene (Tronstad 1996). Kvaliteten på yteveden er svært variabel, fra den

flotteste visuelle kvalitet til pallevirke. Furu har det største spranget i kvalitet, mens gran har jevnt over lavere kvalitet i ytene.

Sterkt press på flispriser og trelastpriser har medført at man ønsker å utnytte mer av stokken til bord. Fra gammelt var det vanlig å ta ut kortere emner for å utnytte stokkens volum til trelast bedre. Denne tendensen er på vei tilbake, og per i dag er det flere sagbruk som har investert i utstyr for å maksimere volumuttaket. Begrensningen ligger i å finne et marked for en noe dårligere kvalitet, eller å oppgradere den kvaliteten som finnes (Tronstad 1999).

Alternative skurprosesser

For å få en bedre volumutnyttelse, eller kvalitetsutnyttelse av trevirket, er det utviklet en lang rekke forskjellige skurmetoder.

Gjennomskur er den mest benyttede metoden etter nordisk skurpraksis. Metoden går ut på å skjære ukantede skiver av stokken, for så å kante inn skivene til sist (Grønlund 1992). Metoden er benyttet av bruk som søker ekstra høy kvalitet i forhold til visuelle produkter. Metoden gjør at man kan utsette valget av endelig dimensjon til man ser kvaliteten i stokken eller de enkelte ukantede plankene. Spesielt der hvor man ønsker å ta vare på ytekvaliteten, er metoden benyttet. Dermed skjærer man seg innover i stokken, og kan i prinsippet avgjøre neste inngrep etter indre stokk kvalitet.

Metoden er også ideell for å ta ut emner til videreforedling (plater, møbler og trevare). Ved et ukantet bord kan man velge kapping før kanting, eller omvendt. Dette medfører at man kan få utnyttet de gode kvalitetene bedre, og/eller at man får utnyttet volumet best mulig. Metoden er også benevnt høyutbytteskur (Grønlund 1992).

Skorpeskur ("taper sawing") innebærer at sagsnittet orienteres parallelt med stokkens overflate, og ikke parallelt med marginen. Fordelen med skorpeskur er et godt utbytte på de treslag der de beste kvalitetene finnes i yten.

Rundsaging benyttes ofte i kombinasjon med gjennomskur. Når man har skåret seg inn til de dårligere kvalitetene, vendes stokken $\frac{1}{4}$ omdreining, og skuren fortsetter på ytens gode kvaliteter. Metoden er først og fremst brukt innen lauvtreskur (Grønlund 1992).

Det finnes en lang rekke *andre metoder* enn de nevnte for skjæring av tømmer. De fleste er oppstått ved spesielle formål, som for eksempel ved ekstremt høyt skurutbytte eller for å minimere krymping og svelling i gitte retninger av virkesstykket. Felles for disse skurprosessene er at de er så å si ubenyttet i Norge i dag. Teknologien er mest egnet der man har et helt spesielt produkt å produsere, noe som innebærer at det stort sett er dagens småskalasagbruk som benytter seg av teknologien. For landets 1 600 småsagbruk (Apneseth *et al.* 1999) bør imidlertid dette være aktuelt.

Kvartskjæring er en metode der stokkens tverrsnitt deles i fire kvartstykker ("kakestykker"). Kvartstykkene kan så deles på langs med et snitt eller med

mest mulig radielle snitt. Dette vil medføre at en del av, eller alle, virkesbitene får mest mulig radielle årringer (også kalt stående) og lav breddekrymping. Varianter av metodene er benyttet til å produsere emner til resonansvirke i musikkinstrumenter (Grønlund 1992) og til gulvprodukter.

Trapessaging er en variant av gjennomskur. De gjennomskjærte bordene splittes i margin, høvles med lik krumning langs yten, og limes så sammen langs krumningen. Resultatet blir et svært høyt skurutbytte. Ulempen er at man samtidig vil få margens lave kvalitet til alltid å vende ut.

4.1.2 Høvling og videreforedling

Høvling og videreforedling er i sterk grad avhengig av resultatet fra skurprosessen, samt de virkesegenskaper som råvaren innehar. Med begrepet høvling menes i denne rapporten prosessen der plank blir delt opp og høvlet til ferdigprodukter som panel, gulvbord og listverk. Med videreforedling menes tilpasning av råvare til et bestemt produkt, som for eksempel emner til møbler (Birkeland & Rønningen 1985).

Høvling

Paneler, gulvbord, kledning og listverk utgjør hoveddelen av høvellastproduktene. Norsk trelastindustri har de siste 20-40 årene gått gjennom en stor forandring når det gjelder høvellast. På 1960- og -70-tallet var det mer fokus på trelastens og sluttproduktenes kvalitet. På 1980- og -90-tallet ble fokus dreid over på produksjonskapasitet som det sterkeste virkemiddelet for å øke inn-tjeningen (Müller & Haugen 2002). Dette skiftet i fokus medførte liten fokus på råstoffets kvaliteter for å få et godt produkt. Sortering av ferdigprodukter ble etter hvert valgt bort til fordel for minst mulig utlegg (Müller & Haugen 2002). Det bransjen sto igjen med på slutten av 1990-tallet var høyeffektive høvlerier, med liten grad av fleksibilitet til sortering av sluttproduktet. Konkurransen var dreid bort fra det å selge de beste kvalitetene til gode priser, til å få lavest mulige produksjonskostnader. Det å produsere kledning og konstruksjonslast kan utføres langt mer effektivt enn panel og andre innredningsprodukter når volum er målekriteriet.

Råstoffets kvalitet har imidlertid stor betydning for kvaliteten til sluttproduktet, og gjennom hele 1990-tallet har det vært satt et sterkere fokus på å optimalisere forholdet mellom råstoffkvalitet og produksjonskapasitet. Dette har medført mer spesialiserte produksjonsbedrifter.

I det siste har det blitt satt sterkere fokus på panelproduksjon. Flere høvlerier har spesialisert seg på produksjon av panel. Dette har medført utvikling av nye produksjonslinjer, samt å se på sammenhengen mellom råstoff- og sluttproduktkvalitet.

For høvellastprodukter er det helt avgjørende at virkesråstoffet er av såkalt friskkvistkvalitet. Det viser seg at det lar seg gjøre å prediktere hvordan friskkvistsylindren finnes i stokken, med en forholdsvis god sikkerhet

(Mjøsskog Øyen 2000). En enklere angrepsvinkel er å sortere virkesråstoffet for høvellastprodukter ut fra planketype. Sandland *et al.* (2001) fant i sine forsøk at innerplanker fra midtstokker hadde den beste kvaliteten med hensyn til råstoff for produksjon av granpanel.

Tendensen til mer spesialisert produksjon vil tilta i fremtiden. Strukturendringen som har foregått i store konsern den siste tiden, tvinger frem denne utviklingen i form av stordriftsfordeler. Dette vil sannsynligvis medføre større fokus på "rett kvalitet til rett produkt" på de enkelte bedriftene, samtidig som prosessen blir tilpasset kvalitetskravene.

De store konsernene kan levere totalløsninger til større krevende kunder, mens mindre produsenter vil spesialisere seg omkring et eller et fåtall produkter. Disse må sannsynligvis først og fremst konkurrere langt sterkere på kvalitet i fremtiden. Tendensen har vært synlig en stund innenfor lauvtrebransjen, der kvalitet og eksklusivitet for produkter blir markedsført langt sterkere enn på bartresiden.

Utviklingen til spesialprodusenter av høvellast, er nødvendig for å øke produktiviteten i en bransje som sliter med lønnsomheten. Samtidig vil fokus komme sterkere over på kvalitet til sluttproduktet. Igjen kan dette få konsekvenser for hvordan vi skjærer, tørker og sorterer tømmeret.

Videreforedling

Videreforedling av trevirke fra skurlast blir et stadig viktigere tema. Moderne bedrifters krav til logistikk og produktivitet, gjør at kravet til ferdigstillingsgrad av råstoffet blir stadig viktigere. Dette gjelder især for forbrukere av trevirke til møbel- og trevareprodukter. Dette er ofte svært arbeidsintensive produksjoner, og fortjenesten ved å bruke ferdigstilte råstoffeneheter er derfor stor. Videreforedling dreier seg først og fremst om sortering av trevirke i riktige kvaliteter samt dimensjonstilpasning.

For dimensjonstilpasning benyttes kløyvsager, kappsager og høvler. Til sortering benyttes i stor utstrekning kundebaserte sorteringsregler. For gran og furu er disse stort sett bygget på Nordisk Tre fra 1994.

Innen lauvtrenæringen er denne tendensen til høy ferdigstillingsgrad og emneproduksjon utbredt i Europa (Dølven 1998). Dette er spesielt fordi lauvtre ofte er benyttet i møbler og innredningsprodukter.

I tillegg til emneproduksjon, er liming ved fingerskjøting og laminering utbredte metoder. Dette gir anledning til å kappe vekk uønskede virkesegenskaper, og å tilpasse produktet med størrelse og form til kundenes krav (Kilde 1999).

Virkesegenskapene har betydning ved emneproduksjon, men de blir delvis eliminert ved at man kan utnytte små enkeltdeler i trevirket som har gode kvaliteter. I tillegg vil en ved lamineringsteknikker redusere en del av de begrensende faktorene som trevirket har, og til dels øke kvaliteten på ønskede

egenskaper (for eksempel redusert fare for deformasjoner og sprekke, riktige lengde- og dimensjonskrav, økte styrkeegenskaper og jevnere/mer homogen visuell overflate).

4.1.3 Utnytte råstoffet ved hjelp av liming

Innledning/historikk

Selve teknikken med å lime tre er svært gammel. Man kjenner til arbeider, både sammenliming og finering, helt tilbake fra ca. 1300 f. Kr. Bakgrunnen for å ta i bruk lamineringsteknikken til bygningsformål, var at man ønsket å utnytte treets gode egenskaper i større konstruksjoner. Man regner med at bruken av bærende limtre i Europa hadde sin start rundt århundreskiftet, da Otto Karl Freidrich Hetzer fra Tyskland begynte å produsere bjelker limt sammen av flere lameller. Slike "Hetzer"-bjelker, med en lengde på 10 m, ble brukt så tidlig som i 1890 i Riksdagsbygningen i Berlin. Hetzers patent ble solgt til flere land, deriblant Danmark og Norge. I 1917 startet det opp en fabrikk på Mysen utenfor Oslo med navnet A/S Trækonstruktion.

Frem til siste verdenskrig var det kun kasein som ble brukt til liming av bærende komponenter. Etter hvert ble fenol (PF), resorcinol (RF) og fenol-resorcinollim (PRF) utviklet for bruk i konstruksjoner utendørs. På åttitallet ble melamin-urea limene (MUF) introdusert. Årsaken var at man i Tyskland foretrakk lyst lim, og eksporten fra Norge var økende i denne perioden. I den senere tid er det tatt i bruk en-komponent polyurethanlim (PU) i flere av de europeiske landene. Foreløpig er limtypen ikke godkjent for produksjon innen Norden, fordi man ønsker en grundigere utprøving.

Flere bedrifter i Norge og Europa eksporterer konstruksjonslimtre til Japan. I den forbindelse er et annet lim aktuelt for liming til innendørs bruk, nemlig emulsjons-polymerisert isocyanat (EPI). Denne typen er per i dag ikke godkjent i vår del av verden. Årsaken til dette er antakelig at de øvrige limsystemene dekker dagens behov.

I dag er det i Norge sju bedrifter som produserer ca. 55 000 m³ limtre til bærende formål. Produktspekteret er rette standardbjelker, broer, samt bæresystemer i idrettshaller, skoler og næringsbygg (pers. medd. Norsk Limtrekontroll 2002).

Eksempler på andre limte produkttyper som benyttes i konstruksjonssammenheng er kryssfiner, LVL (sammenlimt finer) og I-bjelker. De to førstnevnte produseres ikke i Norge.

Ca. 20 bedrifter fingerskjøter konstruksjonslast til stendere, bjelkelag og taksperrer. Volumet produsert i Norge ligger på ca. 50 000 m³ i året.

Man fingerskjøter produkter også til ikke-bærende formål. Ytterkledning, innvendig panel og gulvbord er eksempler på slike produkter. Volumet her i landet ligger på ca. 4 000 m³. Flere bedrifter laminerer plater og emner til

produksjon av dører, vinduer og møbler. I alle disse tilfellene benyttes ofte andre limtyper enn de som er beregnet til bærende formål. Eksempler på slike lim er urea (UF), polyvinylacetat (PVAc), EPI, samt kontaktlim og smeltelim.

Fremtidsutsikter

Ved hjelp av lim bør man kunne utnytte deler av trelastspekteret på en ny og bedre måte. Virke med lavere kvaliteter kan for eksempel inngå i bygningskomponenter der heltre i dag er dominerende. Limingsteknikken utvikler seg stadig, og dette kan igjen åpne for enklere og rimeligere fremstillingsprosesser.

Nedenfor er det gitt noen eksempler på områder der liming kan medføre økt bruk av tre.

Bæresystemer i boliger

Konstruksjoner i heltre er utsatt for konkurranse fra I-bjelker og fra andre materialer enn tre. Blant annet har krav til retthet og enkel montering bidratt til en slik utvikling. Dersom treet i det minste skal befeste sin posisjon i fremtiden, er det viktig at komponentene som brukes gjøres så enkle og formstabile som mulig. På denne måten unngår man opprettingsarbeider og fare for kostbare "sensskader".

Ved å laminere stendere (bærende og ikke-bærende), bjelkelag og taksperrer, får man nettopp et slikt stabilt produkt som også forenkler byggeprosessen. Dette er tanker man har lekt seg med i mange år, men få har greid å sette ideene ut i praksis.

I den senere tid er det imidlertid flere som har sett nytteverdien i slike produkter. Flere bedrifter har meldt sin interesse vedrørende mulig produksjon, men kostnadssiden ser foreløpig ut til å bremse utviklingen.

Nøkkelordene i en slik fremstillingsprosess er:

- Billig råstoff
- Enkel limeprosess
- Rask utharding av limet

En tradisjonell lamineringsprosess er forholdsvis omfattende, med mye bearbeiding og strenge krav til høvling, liming og utharding. Dagens godkjente konstruksjonslim setter begrensninger når man tenker raske og billige prosesser.

Nå har man imidlertid en mulighet til å korte ned pressetiden ved å benytte limtypen EPI (emulsjonspolymerisert isocyanat). Limet herder i løpet av ca. 20 minutter ved romtemperatur, i motsetning til flere timer med våre tradisjonelle systemer. Dersom disse skal uthardes raskere, kreves oppvarmingssystemer som ofte er svært kostbare.

Det er et problem at EPI per i dag ikke er godkjent for bruk i bærende konstruksjoner i vår del av verden. I Japan har man imidlertid over 30 års brukserfaring, og det er også gitt godkjenning i USA. De japanske standardene er:

- Produksjonsstandard: JAS, MAFF, Notification No. 992. Japanese Agricultural Standard for Structural Glued Laminated Timber
- Teststandard for EPI-lim: JIS K 6806. Japanese Industrial Standard. Water Based Polymer-Isocyanate Adhesives for Wood

NTI har lang erfaring med å teste og anbefale konstruksjonslim for bruk innen Norden, og arbeider også aktivt med europeisk standardisering vedrørende testing av lim til bærende formål. Instituttet kjenner EPI-limet svært godt gjennom arbeidet med å sertifisere og kontrollere bedrifter i Europa som eksporterer limtre til Japan. Ved NTI er det utført tester etter relevante prøvemethoder, og det burde derfor ikke være store problemer forbundet med å få en godkjenning også i Norge.

Kvaliteten på trelasten som benyttes har selvfølgelig stor betydning. Billig råstoff mangler ofte henvisning til styrkeklasser, og dette er selvfølgelig et problem for bruken av det ferdige produktet. En av utfordringene blir å løse dette.

En rasjonell måte å produsere på kan være å splitte limtrebjelker i lengderetningen til flere smalere enheter. Det som da bør undersøkes er hvordan splittingen påvirker styrkefordelingen. Få slike forsøk er utført, men flere av limtrebedriftene i Norge som produserer konstruksjonslimtre, foretar slik splitting. Bruksområdene er de samme som nevnt innledningsvis (stendere, bjelker, sperrer).

Liming på sagede flater

Dersom det var mulig å lime på sagede flater, ville man spare de kostnadene som er forbundet med høvlingen. Ved NTI ble det for noen år siden gjennomført et prosjekt der smale bjelker ble limt opp av uhøvlede ytebord (Lind 1993). Limfugenes kvalitet ble vurdert i henhold til de krav som gjelder for konstruksjonslimtre. Bjelkenes bøyefasthet ble også registrert (Tronstad 1999). Resultatene var lovende, og det anbefales at ytterligere tester utføres med flere limtyper (Tronstad 1996).

I dag lamineres det emner til dører og vinduer på sagede flater. Vår erfaring er at det må stilles forholdsvis strenge krav til overflatens kvalitet og retthet. Det skal ikke store avvikene til før forbindelsens styrke reduseres.

Våtliming

I de senere årene har man forsket på liming av rått virke, og det finnes spesielle limsystemer som er utviklet for fingerskjøting av konstruksjonslast. En slik metode er patentert i New Zealand og kalles Greenweld.

I England arbeider BRE med problemstillingen, og har utviklet ideene fra Greenweld videre. Man tenker seg produkter både til bærende og ikke-bærende formål, der også forskjellige treslag inngår. Forsøkene inkluderer lim av type polyuretan, i tillegg til det som benyttes i Greenweld-metoden.

Det gjenstår mye arbeid før man industrielt kan ta i bruk våtliming som metode, for eksempel ved produksjon av bærende limtre. Dagens standarder utelukker en produksjon basert på våte lameller. Ved siden av det sikkerhetsmessige, vil produksjonskostnadene ha stor betydning for lønnsomheten ved et slikt opplegg. Generelt vil våte, sammenlimte enheter bli påført kraftige spenninger i tørkefasen. Dersom sprekkdannelser og deformasjoner fører til en høy vrakandel, vil lønnsomheten fort kunne bli for dårlig (Hellberg 1997).

NTI har deltatt som sakkyndig testlaboratorium i et nordisk prosjekt kalt "Green Gluing". Forsøkene ble utført på et anlegg i Sverige, og emner fra rått virke ble limt sammen med et enkomponent polyuretanlim (Tronstad 1996).

Oppgradering ved fingerskjøting

Fingerskjøting ble introdusert for mange år siden, der hensikten var å produsere lengre enheter, samt oppdatere last av dårlig kvalitet. Teknikken benyttes i dag ved produksjon av komponenter til bærende og ikke-bærende konstruksjoner. Det finnes systemer som optisk vurderer materialkvaliteten, kapper ut feil, for så å skjøte bitene sammen til høyverdig virke med ønsket lengde (Kilde 1999).

Varmebehandlet tre

Varmebehandling av tre er en metode som skal virke dimensjonsstabiliserende ved fuktighetsendringer. Dersom slikt tre finner sin plass i markedet, vil det være nødvendig å undersøke nærmere hvorvidt behandlingen påvirker limbarheten.

Liming av "ukjente" treslag

Når det gjelder utnyttelse av andre treslag enn gran og furu, er det viktig å kjenne til de enkelte treslags egenskaper vedrørende liming. Både densitet og innhold av oljeholdige stoffer, vokser og harpikser påvirker limbarheten. Ved NTI er det sett på bruk av bjørk i konstruksjonssammenheng, der styrkeforhold og forhold rundt limingen er undersøkt. Bjelker i full målestokk ble limt opp og testet med hensyn til styrke og stivhet. Limfugene er vurdert i henhold til gjeldende standarder, og fingerskjøtte lameller ble testet med hensyn til strekkfasthet (Kilde 2001).

4.2 Treforedlingsprodukter

4.2.1 Generelt

For treforedlingsindustriens produkter, påvirkes sluttproduktene egenskaper av virkesråstoffets egenskaper, men ofte i enda sterkere grad av de mellomliggende prosesser ved masse- og papirfremstillingen. I tillegg vil ofte papiret

som kommer fra papirmaskinen viderebehandles i ulike konverteringsprosesser, for å gjøre det mer anvendelig for sitt spesifikke formål.

I tillegg til de virkesegenskaper som vil bli diskutert nedenfor, bør det innledningsvis nevnes at *jevnheten* i virkesforsyningen er meget viktig. Hvis virket, selv om det er av samme treslag, stadig varierer, for eksempel i densitet eller fuktighet, vil dette påvirke de etterfølgende prosesser negativt. Dette kan motvirkes enten ved om mulig å velge et mer ensartet råstoff, eller ved å homogenisere flisen ved hjelp av store flishauger for utjevning av fliskvaliteten. For dette formål har for eksempel Södra Cell Tofte, flisutjevningshauger på 67 000 m³ (Molteberg 2001).

Hvert av de mange ulike produktene fra treforedlingsindustrien vil ha en optimal råstoffkvalitet, enten i form av et spesielt vedslag, eller en blanding av vedslag med spesifikke egenskaper. Behovet for et optimalt og ensartet råstoff for hver produktkategori er sentralt. Det er neppe mulig å ha optimal ved for ethvert sluttprodukt, men det bør være mulig å utvikle eller velge ved som passer til brede produktkategorier, så som avisepapir, mykpapir (tissue) og papp/kartong. Tyrväinen (1995) nevner følgende tre metoder for å oppnå ønsket virkeskvalitet for en viss prosess eller et visst produkt:

- 1 Treforbedringsprogrammer (genetikk)
- 2 Skogskjøtselstiltak
- 3 Utvalg og sortering av eksisterende virkestilførsel

Den første muligheten er neppe realistisk i nordisk skog med omløpstider på 60-70 år, men har vist positive resultater i tropiske områder med omløpstider på 20-25 år.

I både mekaniske og kjemiske massefremstillingsprosesser skjer innmatingen av virket i alt vesentlig ved dosering av flis ved hjelp av volumetriske skruer (unntaket er fremstilling av slipmasse og trykkslipmasse, hvor rundvirke benyttes). Ujevne flisdimensjoner vil føre til ujevn mating og ulik behandling av flisen. I en skiveraffinør for fremstilling av mekanisk masse, vil dette bety ujevn energitilførsel til veden og ujevn oppfukning av flisen. I sin tur fører dette til ujevn defibrering og ujevn videreutvikling av fibrene. Ved fremstilling av kjemisk masse vil doseringen av kokevæske variere, og dermed også massens kappatall (som er et mål på restligninmengden i massen) (Tyrväinen, 1995). Flisstørrelsesfordelingen må imidlertid sies å være mer en teknisk parameter enn en virkesparameter.

Vedens barkinnhold og lagringstid vil også påvirke masseegenskapene. For lagring av ubarket rundvirke med vannpåsprøyting, vil tannin fra barken kunne misfarge virket og gi mørkere masse. Lagringstiden er også viktig, fordi virket nedbrytes under lagringen. Dette fører til et virkestap, veden blir mørkere og cellulosens polymerisasjonsgrad reduseres. Det siste er spesielt negativt for virke for derivatmasser. Lyshetstapet ved lagring fører til økt blekebehov ved fremstillingen av mekanisk masse. Dette er kostnadmessig og miljømessig uheldig. Alt i alt kan man si at lagringstiden i seg selv ikke påvirker vedkvali-

teten, men den fører til at andre faktorer får tid til å virke. Barkinnhold og lagringstid er også tekniske parametre på samme måte som flisstørrelsesfordelingen. De vil ikke bli omtalt nærmere her.

4.2.2 Veddensitet

Basisdensiteten uttrykker hvor mye vedsubstans som finnes i et gitt vedvolum. Den er definert som forholdet mellom tørr vekt per volumenhet grønn (fuktig) ved (Haygreen & Bowyer 1989). Variasjoner i basisdensitet skyldes hovedsakelig variasjoner i mengden fiberveggmateriale. Fiberveggs densitet er litt over $1\,500\text{ kg/m}^3$ i ovnstørr tilstand. Basisdensiteten er ikke egentlig en enkelt egenskap, den bestemmes av flere faktorer, så som fiberstørrelse og fiberveggtykkelse, forholdet mellom vårved og sommerved, mengden margstråleceller og annet (Zobel & van Buijtenen 1989). Basisdensitetens betydning for prosesser og papiregenskaper vil derfor avhenge av hva det er som bestemmer den, blant annet av de enkelte fibrenes morfologi. Likevel har det vært hevdet at basisdensiteten uten tvil er den viktigste og mest nyttige enkeltfaktor for bestemmelse av vedkvalitet for massefremstilling (Besley 1960).

Ved kjøpes stort sett som et visst volum virke levert fabrikk. Jo høyere veddensiteten er, jo mer vedsubstans per volumenhet. Densiteten vil dermed påvirke produksjonslinjens kapasitet, fordi barkemaskiner, flissiloer, kokere, raffinører og annet prosessutstyr kan håndtere et visst volum ved per tidsenhet. Basisdensiteten influerer direkte på masseutbyttet som kan oppnås fra en volumenhet ved, fordi veden inneholder mer fiber jo høyere densiteten er. Dette er spesielt relevant for mekanisk masse, hvor nesten all vedsubstans blir til masse med et svært lite utbyttetap.

I følge Parham (1983) vil man ved produksjon av kjemisk masse foretrekke ved med høy densitet, hvis masselinjens kapasitet skal optimaliseres. Ved med høyere densitet (fra samme treslag) vil vanligvis gi en sterkere kjemisk masse, spesielt hvis målt som rivstyrke, enn tilsvarende ved med lav densitet. I følge Molteberg (2001) vil man ved produksjon av kjemisk masse foretrekke et høyt utbytte og høy basisdensitet, fordi dette betyr større produksjonshastighet, lavere vedforbruk per tonn tørr masse og bedre økonomi. Et lavere masseutbytte vil øke belastningen på kjemikaliegjenvinningsanlegget, i og med at utløst vedsubstans brennes i sodahuskjelen. Hele massefabrikken må redusere produksjonshastigheten hvis gjenvinningsavdelingen når sin maksimale kapasitet. For lav veddensitet kan føre til problemer i en kontinuerlig koker, med lavere produksjonshastighet som resultat. Videre vil tørr ved oppføre seg annerledes en fersk ved, kokebetingelsene må justeres for ulike vedslag og så videre.

Variasjoner i vedegenskaper er en stor utfordring for en massefabrikk. Kundene ønsker en jevn produktkvalitet med stabile egenskaper. Det er ingen grunn til å ha en høy gjennomsnittlig styrke på massen hvis variasjonene er store. Dette er også viktig i massefabrikken. Store variasjoner i vedens densitet over tid, gjør det vanskelig å satse riktig mengde kokevæske i en kontinuerlig koker, fordi

inngående ved måles på volumbasis. Resultatet blir varierende nedkokingsgrad med videre variasjoner i blekebetingelser, noe som kan føre til økt forbruk av blekekjemikalier, redusert utbytte og redusert massestyrke (Molteberg 2001).

For mekanisk masse vil man normalt foretrekke virke med lav densitet, til tross for at den vil gi et lavere masseutbytte enn virke med høyere densitet, se for eksempel Dadswell & Wardrop (1959), Schafer (1961), Besley (1962), McMillin (1968), Pearson (1983), Brill (1985), Williams (1993), Rudie *et al.* (1994) og flere.

Når man sammenligner ulike treslag ser det ut til at treslag med lav densitet, så som "Norway spruce", gir sterkere mekaniske masser med bedre optiske egenskaper og lavere energiforbruk enn treslag med høyere densitet, så som ulike furutyper og Douglasfuru. Innenfor et og samme treslag ser det derimot ut til at voksen ved med høy densitet gir best massestyrke. Ifølge Pearson (1983) og Kurdin (1979) vil de stive og tykkveggede fibre man finner i virke med høy densitet forbruke mer energi til samme raffineringsgrad enn virke med lavere densitet. Dette støttes av Rudie *et al.* (1994) som henfører disse effektene til forskjell i sommervedinnhold, og hvordan denne oppfører seg ved raffinering. Dette arbeidet ble gjort på Loblolly Pine.

Når det gjelder variasjoner i basisdensitet innen "Norway spruce", som er det treslaget som er mest vanlig brukt for produksjon av mekanisk masse i Norge, er ikke konklusjonene så klare. Brill (1985) fant praktisk talt ingen korrelasjon mellom basisdensitet og TMP-egenskaper eller energiforbruk. Faktisk fant han at det var et maksimum i spesifikt energiforbruk til freeness 140 ml CSF ved densitet 350 kg/m^3 , mens energiforbruket falt drastisk ved både densiteter under og over dette. Imidlertid fant Brill at en økning i basisdensiteten for flis av "Norway spruce" ga TMP med større gjennomsnittlig fiberlengde, og dermed høyere rivstyrke i papiret.

For TMP av *Pinus radiata* fant Corson (1983) at ungdomsved og voksen ved oppførte seg så forskjellig under raffineringen, at de to vedtypene ga forskjellige relasjoner mellom basisdensitet og papiregenskaper. Dette er muligens en av årsakene til at det ikke har vært lett å finne korrelasjoner mellom vedens basisdensitet og masseegenskapene. For voksen ved med høy basisdensitet (453 kg/m^3) raffinert til konstant 100 ml CSF, ble det imidlertid funnet at denne ga 10 % høyere energiforbruk og omlag 13 % bedre rivstyrke, 12 % mer langfiber, men 1 % lavere lysspredningskoeffisient enn ved med lavere basisdensitet (395 kg/m^3). I en senere undersøkelse av *Pinus radiata* fant derimot Corson (1991) ingen korrelasjon mellom vedens basisdensitet og TMP-kvalitet eller energiforbruk.

Når det gjelder basisdensitetens betydning for mekaniske massers optiske egenskaper, skulle man tro at ved med lav densitet skulle gi masse med bedre lysspredningsegenskaper enn ved med høyere tetthet. Dette fordi det ved samme raffineringsbetingelser vil være færre sommervedfibre, flere vårvedfibre og mer finstoff i massen av virke med lav densitet. Vårvedfibre og finstoff bidrar til god lysspredning i TMP. Dette bekreftes av Corson (1983), som fant

at masse av voksen ved (*Pinus radiata*) med lav densitet ga bedre lysspredningskoeffisient enn tilsvarende ved med høy densitet.

Alt i alt ser det ut til at vedens gjennomsnittlige basisdensitet korrelerer dårlig med masse- og papiregenskapene ved fremstilling av mekanisk masse og papir av denne. Som tidligere nevnt skyldes dette etter all sannsynlighet at basisdensiteten er en sammensatt egenskap som avhenger av flere ting (fibervegtykkelse, fiberdiameter, andel vårved/sommerved etc.), og at det er disse tingene hver for seg som influerer på massens og papirets egenskaper. For massefabrikkene vil det da først og fremst være viktig å ha en jevn densitetsfordeling i flisen, fordi store variasjoner her ikke kan kompenseres ved prosessjusteringer. Dette kan i det minste delvis oppnås ved om mulig å prosessere virke fra områder med forskjellig virkesdensitetsfordeling hver for seg.

4.2.3 Vedens fuktighetsinnhold

Fersk barved inneholder relativt store mengder fuktighet, vanligvis godt over fibermetningspunktet. Hakkila (1970) fant at gjennomsnittlig fuktighet i fersk "Norway spruce" ("grønn fuktighet") var 117 % (regnet i forhold til tørr ved), i sagtømmer bare litt mindre, 112 %. Andre forfattere har presentert lignende verdier, for eksempel Nylinder (1959), Tamminen (1964) og Okstad (1988). Det er betraktelige variasjoner i fuktighetsinnhold for forskjellige trær, mellom vårved og sommerved i samme tre, og til og med mellom stokker fra forskjellig høyde i treet. Det er også årstidsvariasjoner, geografiske variasjoner, variasjoner med bonitet og variasjoner mellom trær i samme bestand.

Så snart trærne er felt og eventuelt hugget til flis, starter uttørkingen. Hvis vanninnholdet faller under fibermetningspunktet, vil vedens fysiske egenskaper, så som krymping og svelling samt vedens mekaniske styrke, forandres.

Flisfuktigheten har en effekt på masseutbytte, kappatall og massekvalitet ved fremstillingen av kjemisk masse. Hvis flisfuktigheten er svært lav, kan det bli vanskelig å få til en fullstendig impregnering av flisa. Det er viktig å kjenne fuktighetsinnholdet, slik at man kan beregne mengde tørrstoff til kokeren, og dermed være i stand til å holde kjemikaliesatsing og lutkonsentrasjon konstant over tid (Mimms *et al.* 1993).

For mekanisk masse er fuktighetsinnholdet i virket av stor betydning. For *sliping* bør fuktighetsinnholdet være over 40 % (Parham 1983). Tørrere ved enn dette vil gi en svakere masse. Refukting av for tørr slipmasse ved til fuktighetsinnhold godt over 40 %, vil gi massekvalitet som for ferskt virke, men er ikke praktisk gjennomførbart i fullskalaproduksjon (deMontmorency 1964). For *TMP* vil for tørr flis gi mer (mini-)flis i massen, et lavere langfiberinnhold, mer finstoff, lavere riv- og slitstyrke, høyere bulk og større støvingsproblemer i trykking (Brill 1985). Årsaken til dette er at mykgjøringen av flisen i forvarmeren til *TMP*-anlegget blir dårligere hvis det er for lite fuktighet i fiberveggen.

Vedkomponentenes glassomvandlingstemperatur er sterkt avhengig av fuktighetsinnholdet i veden. Det er først og fremst ligninets glassomvandlingstemperatur som er viktig. Flisfuktighetens betydning for TMP-prosessen er likevel mindre enn for slipmasseprosessen (Hartler 1977), mest fordi gjenfukting av flisen i prosessutstyret er lettere å gjennomføre. Fuktighet tilføres flisen i flisvasken og ved tilsetning av vann til flisen ved innmating til raffinøren. Derved kan man i stor grad reversere de uheldige virkningene av uttørking av veden, men ikke når det gjelder lyshetstap som følger av lagring og uttørking av virket, og som skyldes angrep fra mikroorganismer, kjemiske reaksjoner med ekstraktstoffer o.l. (deMontmorency 1962, 1964, Leask 1987).

Alt i alt krever optimal kvalitet på mekanisk masse ferskt virke. Vedens fuktighetsinnhold kan variere innen ganske vide grenser, uten at kvaliteten på mekanisk masse forringes, så lenge fuktighetsinnholdet er godt over fibermetningspunktet. Men store variasjoner i flisfuktighet til raffinørene bør unngås. Det vil gi masse av ujevn kvalitet, og kan ikke fullt ut kontrolleres og kompenseres i dagens raffinøranlegg (Tyrväinen 1995).

4.2.4 Andel sommerved/vårved, årringbredde

Innen et og samme vedslag, og et enkelt bartre, vil det meste av variasjonene i fiberdiameter og fibervegtykkelse skyldes forskjeller i tverrsnittsdimensjoner mellom vårved- og sommervedfibre dannet i samme vekstperiode. Vårvedfibre i "Norway spruce" har en radiell diameter på ca. 35 μm , mens sommervedfibre bare er ca. 13 μm . Tangentiell diameter er mer lik, ca. 30 μm i begge fibertyper. Fiberveggenes tykkelse varierer fra 2 μm til 4 μm i vårved, og fra 4 μm til 8 μm i sommerved.

Virke med en høy andel sommerved betyr for kjemisk masse en større andel tykkveggede fibre i massen. Dette betyr færre fibre per vektenhet papir, noe som normalt vil føre til lavere rivstyrke i forhold til masse med mer tynnveggede, og dermed flere fibre per vektenhet papir (Storebråten 1999). Rivstyrken bestemmes imidlertid ikke av antall fibre alene. Fiberlengden og fibrenes bindingsevne er også av stor betydning. Ergo vil man ikke nødvendigvis finne noen høy korrelasjon mellom rivstyrke og andel sommerved. Motsatt vil en høy andel tynnveggede vårvedfibre gi fleksible fibre som kan danne sterke bindinger til andre fibre i papirarket, forutsatt at fibrenes overflate er bindingsaktiv. Det vil hovedsakelig bety at den inneholder svellet hemicellulose. Slike fibre vil danne et sterkt papir med høy arkdensitet og jevn overflate. Dette siste er spesielt viktig for trykkpapir.

Gjennomsnittlig fiberlengde er større jo flere årringer treet har (gitt samme diameter) (Lundqvist, 2001b). I ett og samme tre vil en smalere årring ha lengre fibre enn en bredere årring (Tyrväinen 1995). Fiberlengden har stor betydning for papiregenskapene, spesielt for papir laget av kjemisk masse.

4.2.5 Andel ungdomsved

Tyrviäinen (1995) summerer opp en rekke undersøkelser over forskjellen mellom ungdomsved og voksen ved. De viktigste forskjellene ligger i fibrenes struktur og dimensjoner, dette er egenskaper av stor betydning for papiregenskapene. Her er det gitt noen eksempler på variasjoner mellom noen vedegenskaper i ungdomsved respektive voksen ved for "Norway spruce".

Ungdomsveden har kortere fibre, tynnere fibervegger, mindre fiberdiameter, slankere fibre (lavere coarseness), mindre fiberstivhet, større mikrofibrillvinkel, noe mer lignin, noe mindre cellulose – alt sammenlignet med voksen ved.

I "Norway spruce" er det funnet at ungdomsveden utgjør de første 15-25 årringene i veden i hoveddelen av stammen, men atskillig mer i toppen av treet. Boutelje (1968) fant at i et ungt 20 år gammelt grantre utgjorde ungdomsveden 40-80 % av treetts masse, mens i tilsvarende eldre trær (opp til 80 år gamle) utgjorde ungdomsveden mindre enn 10 % målt i brysthøyde og 10-30 % i toppen av treet.

Forskjellene i egenskapene til ungdomsved og voksen ved er av stor betydning for papiregenskapene, og har vært nevnt som den viktigste årsaken til variasjoner i vedegenskaper inn til massefabrikkene (Tyrviäinen 1986). Produsenter av kjemisk masse ønsker prinsipielt ikke ungdomsved på grunn av dårligere fiberegenskaper, et lavere utbytte og økt alkaliforbruk (som skyldes det lavere celluloseinnholdet) (Mimms *et al.* 1993). Når det gjelder mekanisk masse finnes det flere rapporter som sier at ungdomsved faktisk er foretrukket som råstoff, men hovedvekten av disse gjelder *Pinus radiata* fra New Zealand og *Pinus taeda* fra sørstatene i USA. Voksen ved fra disse treslagene består av svært store, tykkveggede fibre som gir et høyere energiforbruk og dårligere masse enn ved med lavere densitet og mer tynnveggede fibre. Braaten *et al.* (1993) gir indirekte data for laboratorieraffinert TMP fra tynningsvirke respektive voksen ved fra "Norway spruce". De fant ingen signifikant forskjell i energiforbruk ved separat raffinering av de to vedtypene til samme freeness. Dette tyder på at det ikke er vedens densitet som avgjør energiforbruket ved raffinering, men snarere de enkelte fibrenes morfologiske egenskaper. I Braaten *et al.* (1993) sin undersøkelse ble det funnet at de mest ekstreme utslagene i massekvalitet, var at tynningsvirke ga høy lysspredningskoeffisient og lav rivstyrke, mens sagbruksflis ga høy rivstyrke og lav lysspredningskoeffisient. Alt i alt ble konklusjonen at det er mulig å påvirke TMP-kvaliteten og redusere variasjonene i massekvalitet ved å sortere veden.

Ifølge Tyrviäinen (1995) er det intuitivt klart at ungdomsved og voksen ved må oppføre seg ulikt ved raffinering, ut fra forskjeller i fibrillorientering i S2-laget, kjemisk sammensetning, forskjeller i fiberdimensjoner og så videre. Dette området er ikke ferdig utforsket. Heikkurinen (1992) peker i en litteraturreport på at vi vet lite om hvordan de kjemiske og fysikalske egenskapene til de ulike partiklene i TMP avhenger av den opprinnelige fibertypen. Det drives nå en utstrakt forskning på dette området, for eksempel på KCL og PFI.

Det er vel kjent at unge stammer av "Norway spruce" gir lysere masse og bedre optiske egenskaper enn gammel ved (Brill 1985, Braaten *et al.* 1993). Denne effekten skyldes mer at ungdomsveden gir masse med høyere lysspredningskoeffisient enn at det er forskjeller i mengden fargede substanser i de to virkestypene. Lignende resultater er presentert av en rekke andre forskere (Corson 1983, Corson & Richardson 1986, Richardson *et al.* 1992, Braaten *et al.* 1993).

Når det gjelder papirstyrke, skulle man tro at de tynnveggede fibre i ungdomsved skulle gi en mekanisk masse som betød mer fiberkollaps, tettere ark, større arkdensitet og større slitstyrke enn masse laget av voksen ved. Det er imidlertid ting som tyder på, i det minste for *Radiata* pine, at bindingsevnen er større i masse av voksen ved, slik at denne gir sterkere ark (Corson & Kibblewhite 1986).

4.2.6 Vedens kjemiske sammensetning

De kjemiske komponentene i veden vil påvirke sluttproduktene (papirets) egenskaper på ulike vis og i ulik grad, avhengig av hvordan komponentene påvirkes i prosessene mellom ved og sluttprodukt. Følgende kommentarer er basert på velkjent kunnskap fra håndbøker som Peel (1999) og Fellers og Normann (1996).

Lignin er en amorf substans med liten bindingsevne. Det finnes i midtlamellen mellom fibre i veden samt i fiberveggen. Ved fremstilling av kjemisk masse søker man å løse ut ligninet for å oppnå en mer bindingsaktiv masse og et sterkere papir. Ved å fjerne ligninet fås en mer svellbar og fleksibel fibervegg, som vil gi fibre som lettere kollapser til flate bånd, som gir større kontaktarealer mellom fibre i papiret. For fremstilling av kjemisk masse burde veden ha minst mulig lignin. Her er det forskjeller mellom barved og lauvved, men forskjellene innen et og samme vedslag er ikke så store at de påvirker kokeprosessen i nevneverdig grad. Ubleket sulfatmasse er brun av farge på grunn av farget lignin, men kan blekes til høy lyshet ved hjelp av ligninutløsende blekemidler. Ved fremstilling av mekanisk masse løses det ikke ut noe lignin. Dette medfører at fibre i mekanisk masse har en stivere fibervegg som ikke kollapser så lett. Hvis det ikke lykkes å redusere fiberveggtykkelsen ved raffinering av veden, vil rørformede, tykkveggede fibre gi en ujevn fiberoverflate. Glitting av papiret forbedrer overflatejevnheten, spesielt ved varmekaldrering som mykgjør ligninet, men ruheten kan komme tilbake igjen hvis papiroverflaten fuktes, for eksempel ved offsettrykking. Mekaniske masser kan blekes med ligninbevarende blekemidler, men papiret vil gulne hvis det blir utsatt for ultrafiolett lys.

Cellulosen er bindingsaktiv via hydroksylgrupper på krystallittenes overflate og i amorfe områder av cellulosefibrillene. Den bidrar til interfiberbindinger i papir ved at det dannes hydrogenbindinger mellom fibre. Cellulosen er det styrkegivende element i fibre og bør bevares i størst mulig grad i massen. Spesielt for fremstilling av derivatmasse (for rayon etc.) er det viktig at cellulosenes polymerisasjonsgrad ikke reduseres. Cellulosen er svært resistent

og løses bare ut i svært beskjedent omfang ved produksjon av kjemisk masse, og slett ikke ved produksjon av mekanisk masse.

Hemicellulose, "halvcellulose", er karbohydrater med kort kjedelengde og amorf struktur. Den er satt sammen av ulike monomere. Hemicellulosen er den kjemiske komponenten som bidrar mest til bindingsdannelsen i papir. For å lage et sterkt papir, bør altså hemicellulosen bevares så langt råd er i massen. Hemicellulose løses til en viss grad ut ved fremstilling av kjemisk masse, spesielt ved alkalisk koking. For å lage spesielt stivt papir, som for eksempel til fluting ("bølgen" i bølgepapp), bør man ha en stiv, ligninholdig fiber som også har et så høyt hemicelluloseinnhold som mulig. Dette kan oppnås ved nøytralsulfitkoking av lauvved.

Hemicellulose består av en rekke forskjellige monomere, så som xylose, mannose, glukose, galaktose, glukomannose, arabinose. Man vet relativt lite om hvordan mengdeforholdet mellom disse (ved konstant total hemicellulosemengde) påvirker målbarhet og styrke av kjemiske og mekaniske masser.

Ved fremstilling av sulfatmasse av samme vedslag, synes variasjoner i vedens kjemiske sammensetning å ha langt mindre betydning for masse- og papiregenskapene enn forskjeller i fiberdimensjoner (Kibblewhite 1973). Det har også vært vist at forskjeller i vedens kjemiske sammensetning blir mindre, men ikke helt borte, ved sulfatmassekoking (Timell 1967, Meier 1964). I 1959 hevdet Dadswell & Wardrop at det var lite entydig kunnskap om hvilken kjemisk sammensetning av veden som ville være optimal for masse til et visst formål. Rent generelt burde ved for massefremstilling inneholde lite ekstraktivstoffer, og ha et høyere celluloseinnhold og et lavere lignininnhold enn gjennomsnittet. Samtidig hevdet de samme forfattere at det ennå var mye å lære om sammenhengen mellom cellulose, lignin og hemicellulose og massestyrke for et bestemt vedslag. Ut fra den sparsomme litteratur som finnes om dette etter 1959, synes deres konklusjon å gjelde også i dag.

Ekstraktivstoffene kan gi problemer ved at de gir flekker i papiret og klebrige avsetninger på maskindeler og i maskinbekledningen (virer og filter). Ved fremstilling av sulfatmasse vil ekstraktivstoffene gjenvinnes som et biprodukt fra brukt kokelut ("tallolje"), og mengden ekstraktivstoffer i massen blir lav. Sulfitprosessen er derimot meget følsom for ekstraktivstoffer og bare ved med et lavt innhold av ekstraktivstoffer kan benyttes i denne prosessen (Sjöström 1981).

Ved fremstilling av mekanisk masse er det ingen positive effekter av vedens ekstraktivstoffer (Tyrväinen 1995). Tvert imot vil enkelte produkter påvirkes negativt. For eksempel vil ekstraktivstoffene kunne gi en hydrofobering under lagring av fluffmasse (som benyttes i bleier og andre absorberende produkter) og redusere massens absorpsjonsevne. I væskekartong og kartong for matvareemballasje kan fettsyrer og lipider i ekstraktivstoffene gi uønsket smak. I slike produkter ønskes da et lavest mulig innhold av ekstraktivstoffer.

Ekstraktivstoffene, spesielt harpikssyrene, fører til giftige utslipp fra TMP-fremstilling og bleking (Hoel & Aarsand 1994). Som nevnt tidligere gir de også opphav til "harpiksproblemer" i papirfabrikkene og i sluttproduktene.

Ekstraktivstoffer finnes i harpikskanaler i vedens lengderetning og i radielt organiserte margstråleceller. Hvis de ikke knuses ved slipingen eller raffineringen, vil margstrålecellene, som er svært korte (under 1 mm lange) og som binder seg dårlig til de andre fibrene i arket, kunne forårsake støving fra papiret. Dette er meget uheldig og er et problem ved trykking, spesielt ved offsettrykking av aviser (Wood & Karnis 1977).

Papir som inneholder mekanisk masse med mye ekstraktivstoffer, kan få lavere styrke fordi ekstraktivstoffene til en viss grad hindrer dannelsen av interfiberbindinger og gir en slags "smørende" effekt på fibrene. Fiberstivheten er imidlertid langt mer hemmende for styrken til papir laget av mekanisk masse enn ekstraktivstoffinnholdet, spesielt for gran som inneholder vesentlig mindre ekstraktivstoffer enn furu.

4.2.7 Fibermorfologi

De fiberegenskapene som har størst innflytelse på papiregenskapene, og som skal omtales her, er først og fremst det vi kan kalle primære egenskaper: *fiberlengde*, *fiberveggykkelse*, *fiberdiameter/fiberbredde*, *fiberlengdevekt* ("*coarseness*") og *mikrofibrillvinkel* (*i fiberens sekundærvegg, S2*).

Avledet av de primære egenskapene har vi de sekundære egenskapene:

- *Fiberfleksibilitet*: Avhenger av fiberveggykkelse og grad av fiberkollaps
- *Fiberstyrke (slitstyrke)*: Avhenger av fiberveggykkelse og mikrofibrillvinkel
- *Kollapsbarhet*: Avhenger av fiberveggykkelse, fiberdiameter, fiberveggens mekaniske egenskaper og mikrofibrillvinkel (Jang *et al.* 2001)

I tillegg bør også nevnes *fiberform*, som ofte blir lite påaktet i forhold til den store betydning den har for papiregenskapene (Page *et al.* 1985, Mohlin & Alfredsson 1990, Storebråten 1999).

Massefibrenes egenskaper vil i de fleste tilfeller være signifikant avhengig av vedfibrenes morfologi. Fra en og samme type vedfiber kan det imidlertid lages papir med svært forskjellige egenskaper som en følge av forskjellige prosesser ved masse- og papirfremstillingen. Utløsningen av materiale fra fiberveggen og midtlamellen, strukturendringer i det polymere materialet og mekanisk arbeid på fibermaterialet (defibrering, raffinering, maling og til en viss grad uønsket mekanisk skade på fibre i massefabrikken) vil samlet skape de fiberegenskapene som kreves ved papirfremstillingen (Wågberg & Annergren 1997).

Det er viktig å huske at ikke bare gjennomsnittsverdien for fiberegenskapene er av betydning for papirets egenskaper. Fordelingen er også viktig. Eksempelvis vil ulike mekaniske masser kunne gi forskjellig overflatejevnheter i papiret, avhengig av mengden tykkveggede fibre i de respektive massene, i og med at det er de tykkveggede fibre som gir ujevnheter i papirets overflate.

Fiberlengden er viktig for papirets rivstyrke. Dette er spesielt tydelig for kjemiske masser hvor fiberlengden er best bevart gjennom masse- og papirfremstillingen. Det samme gjelder for mekaniske masser, men ikke så tydelig, fordi andelen lange fibre er langt mindre på grunn av ødeleggelsen av fibre under sliping eller raffinering. Rivstyrken avhenger også av fiberstyrken og bindingsstyrken mellom fibre i papirarket, samt antall fibre i en vektenhet papir. Tynnveggede vårvedsfibre vil gi flere fibre per vektenhet papir og derved høyere rivstyrke enn tykkveggede sommervedsfibre. For papir av kjemisk masse vil rivstyrken gå gjennom et maksimum ved økende bindingsstyrke som følge av maling av massen, for så å falle igjen når bindingsstyrken økes ytterligere. Fiberlengden korrelerer vanligvis med fiberveggtykkelse og fiberdiameter. For papir hvor det kreves spesielt høy rivstyrke, vil man derfor benytte en sulfatmasse av ved fra de ytterste delene av stammen fra voksne trær, for eksempel basert på sagbruksflis.

Fiberlengden påvirker også papirets formasjon. Lange fibre er derfor uheldig i trykkipapir hvor god formasjon er viktigere enn for emballasjepapir. Hvis man vil lage et trykkipapir av kjemisk masse, vil man derfor helst benytte en lauvvedsmasse på grunn av de korte fibre, eller man vil utsette massen for en kuttende maling for å redusere fiberlengden. Det siste er en uøkonomisk løsning.

Ved kvalitetsvurdering av kjemisk masse for emballasjepapir, har tradisjonelt massens rivstyrkepotensiale vært tillagt stor vekt. Storebråten (1999) stiller et stort spørsmålstegn ved dette, fordi fokuseringen på rivstyrke hindrer utviklingen av fleksible, lettmalte fibre som sannsynligvis er vel så viktige for papiregenskapene, og hvor masseutbyttet kunne økes fordi man ville ønske et høyere hemicelluloseinnhold i massen.

Fiberveggtykkelsen vil virke sterkt inn på fibrenes fleksibilitet, konformabilitet og evne til kollaps, egenskaper som bestemmer hvor godt fibre vil forme seg til hverandre og gi bindinger mellom fibre i papiret og dermed ark med høy densitet og høy slitstyrke. I tillegg til fiberveggtykkelsen blir da også fiberdiameteren viktig, i og med at ved en gitt fiberveggtykkelse vil fiber med stor diameter lettest kollapse under konsolideringen av papirarket i papirmaskinen. Fibrenes lengdevekt (coarseness) er derfor ikke et velegnet mål for deres evne til å kollapse, i og med at den bare sier noe om veggtykkelsen uten hensyn til fiberdiameteren. Et bedre mål for kombinasjonen av veggtykkelse og fiberdiameter er fiberens treghetsmoment (Olsson *et al.* 2001).

For mekaniske masser med høyt lignininnhold og stive fibervegger viste Olsson *et al.* (2001) at papirets slitstyrke reduseres når fibrenes treghetsmoment øker. For kjemisk masse er ikke denne sammenhengen like klar. Som Jang *et al.*

(2001) påpeker, vil selvsagt også fiberveggens mekaniske egenskaper influere på kollapsibiliteten. I kjemiske masser er så og si alt lignin løst ut av fiberveggen slik at denne er mykgjort og føyelig. Bortsett fra de mest tykkveggede sommervedfibre, vil fibrene i slike masser kollapse. Dette er uavhengig av mikrofibrillvinkelen, selv om man skulle tro at fibre med stor mikrofibrillvinkel ville kollapse mindre. Jang *et al.* (2001) kunne derimot vise at mikrofibrillvinkelen har en betydning for fibrenes kollapsibilitet i mekaniske masser. De fant at selv tynnveggede fibre i ungdomsved kunne motstå kollaps i større grad enn fibre fra eldre ved fordi ungdomsvedfibrene hadde større fibrillvinkel.

Olsson *et al.* (2001) påpeker at slitstyrken av papir fra mekanisk masse sannsynligvis også vil påvirkes av ytre og indre fibrillering av fibrene. Økt grad av fibrillering forventes å gi høyere slitstyrke. De fant imidlertid at ytre fibrillering betød lite. Indre fibrillering (oppsprekking mellom lagene i fiberveggen) forutsettes å gi en mer fleksibel fibervegg og dermed lettere fiberkollaps, men dette kunne ikke undersøkes nærmere på grunn av manglende målemetode for indre fibrillering.

Et fenomen som er beslektet med indre fibrillering, er splitting av fiberveggen. Graden av fibersplitting kan måles. Reme & Helle (1998) og Reme *et al.* (1999) viste at dette skjer i stor grad i slipmasse (stenslip så vel som trykkslip), og bidrar til disse massenes gode styrke til tross for mange tykkveggede fibre. På grunn av splittingen lar de grove fibrene seg lettere kalandrere, og dekollaps ved oppfukting av papiroverflaten blir også mindre. I TMP har raffineringen ført til en viss avskalling av fiberveggen, slik at fiberveggtykkelsen er noe lavere enn for slipmassefibre. Likevel vil fiberveggene være stive. Ved riktig raffinering vil også TMP-fibrene kunne splittes opp, med de samme positive effekter som for slipmasse.

I denne diskusjonen av mekaniske masser er det bare fokusert på massenes fiberandel. Det er vel kjent at massenes mellom- og finfraksjoner også influerer sterkt på massenes papirdannende egenskaper, spesielt på de optiske egenskapene, men også på styrke. En videre diskusjon av dette hører ikke innunder her.

I veden er fibrene stort sett rake, i papirmasser er de derimot mer eller mindre deformerte. I enkelte tilfeller er fibrene bevisst deformerte, så som ved høykonsistensmaling av kjemisk masse for sekkepapir, hvor man ønsker krøllede fibre fordi disse vil bidra til høy tøybarhet og dermed seighet i papiret. Et annet eksempel er krølling av fibre i mekanisk masse for å oppnå bedre kjørbarhet i papirmaskinen. Betydningen av deformerte fibre for massekarakterisering og papiregenskaper er bl.a. diskutert av Mohlin & Alfredsson (1990). Storebråten (1999) understreker også fiberdeformasjonenes betydning, og hevder at de tillegges for liten vekt i massefabrikken, til tross for at deformasjonene kanskje er den viktigste egenskapene for bruken av fibrene, fordi de påvirker hvor effektivt den enkelte fiber vil bidra til å fordele de belastningene som en papirbane vil bli utsatt for. Storebråten peker på at moderne prosessutstyr i en massefabrikk, så som MC-pumper og MC-miksere, vil deformere fibre uten at dette noen gang dokumenteres av utstyrsleverandørene. Til tross for at

fiberdeformasjonene kan være svært viktige for papiregenskapene, er de en industriell fiberegenskap. De vil derfor ikke bli nærmere diskutert her, men nevnes for deres betydning for en bedre forståelse av sammenhengen mellom virkesegenskaper, masse- og papirfremstillingsprosesser og sluttproduktene egenskaper.

5. Aptering og sortering

Fra tre i skogen til ferdig produkt vil trevirke bli utsatt for en kvalitetsangivelse mange steder i videreførelseskjeden. Første gang skjer dette når tømmerstokkens kvalitet skal avgjøres. Hovedkvalitetene er tømmer som går til sagbruk (sagtømmer) og masse-/papirproduksjon (massevirke). Sagtømmer er i dag det mest verdifulle tømmeret, og følgelig det skogeiere forsøker å produsere mest av. Tømmer som går til massevirke har falt i verdi i mye større grad enn sagtømmer, og gir i dag veldig lite dekningsbidrag. I massevirke er det kun volumet av stokken som bestemmer prisen og ikke dimensjon. På sagtømmer derimot vil stokkene ha forskjellig pris avhengig av lengde og toppdiameter, siden sagbruket prøver å styre tømmerdimensjonene i forhold til sin produksjon og hvilke produkter man ønsker. Denne prisforholdstabellen var felles for hele Norge frem til midten av 90-årene, og er blitt revidert en rekke ganger. Den siste revisjonen nasjonalt kom i 1989. Etter hvert har forskjellige skogeiereforeninger i samarbeid med sagbrukene omarbeidet disse tabellene slik at de er mer kundespesifikke, og med fargekart som visualiserer hvilke diametre og lengder som lønner seg å levere. I og med at hogstmaskiner nå står for meste parten av avvirkningen i de fleste distrikter, har det blitt etablert systemer for å legge inn endringer i apteringsrutinene, slik at en nesten er on-line med prisforholdstabeller tilpasset sagbrukets til enhver tid ønsker og behov.

5.1 Dagens sorteringssystem for tømmer

I dag sorteres sagtømmer hovedsaklig i to kvaliteter, prima og sekunda. I tillegg en spesial for furu. Dagens system for kvalitetsvurdering av sagtømmer ble i hovedsak utviklet på 1960-tallet, og er basert på kvaliteten av skurlasten vurdert etter reglene Østlandets Skurlastmåling (ØS). Utgangspunktet var at det ble skåret toplankskur, der en fra en primastokk skulle få to u/s-planker, mens sekunda skulle gi 5. sort. Ble en planke fra sekundastokken 6. sort, skulle parplanken tilsvarende bli u/s. Spesial skulle primært gi sløyd og u/s snekkerlast (Müller 1984). Undersøkelser gjort av Lier & Foslie ved NTI i perioden 1968 til 1969 (Lier & Foslie 1971) viste at prima sagtømmer av gran ga 70 % u/s, mens sekunda sagtømmer av gran ga 40 % u/s. Forsøkene til Müller (1984) viste en treffprosent på stokk kvalitet mot parplankenes kvalitet på 55 %, og et utfall på 80 % u/s og 20 % 5. og 6. sort fra primatømmer, og 50/50 for sekundatømmer.

Forsøkene til både Dalen & Høibø (1985) og Haugen (1996) viste at sammenhengen mellom sagtømmer og trelastkvalitet var svak. De aller fleste sagbruk har i dag en helt annen skurteknikk enn når reglene ble etablert, og de skjærer mange postninger der det tas ut flere enn to planker i sentrumsuttaket. I tillegg er det i dag vanlig å skjære tilnærmet skarpkant på sentrumsutbyttet, i motsetning til 2/3 kant som var vanlig på 60-tallet. Reglene gir derfor liten hjelp i sagbrukenes sortering av tømmeret, og de aller fleste sagbruk i Norge i dag skiller da heller ikke på prima og sekunda på tømmerlageret.

Mange steder viskes også forskjellen mellom sekunda og prima ut, og i disse dager opererer mange skogeierforeninger med et samssortiment, der det i prinsippet bare er en kvalitet sagtømmer. Som regel er kvalitetskriteriene sekundakravene. De fleste sagbrukene er tilfreds med resultatet av et slikt sortiment, og får lengre stokker i gjennomsnitt. Lengre stokker gir mer rasjonell produksjon og høyere effektivitet på sagbruket. I tillegg er det mer etterspørsel etter lengre lengder på trelasten. Problemet kan være at skogeierne hogger bestand med lav tømmerkvalitet når det kun eksisterer et skursortiment. Det er imidlertid naturlig å tro at dette kun vil forekomme i en overgangsfase til disse bestandene er "tømt", og at den generelle kvaliteten vil komme opp på samme nivå når omsetningssystemet får satt seg. De senere år har også en rekke nye tømmer-sortimenter etablert seg i markedet. Disse er ofte lokale, og veldig bedriftspesifikke (laftetømmer, takåser m.m.) som ofte er direkte knyttet opp mot sluttprodukt.

5.2 Objektiv måling av tømmerkvalitet

5.2.1 Sortering ut fra kvistegenskaper

De senere år har nye måter å sortere tømmer på blitt undersøkt, og en prøver hele tiden å finne frem til objektivt målbare kriterier på tømmer, som kan gi informasjon om skurlastkvaliteten en kan forvente seg.

Modellering av virkesegenskapenes variasjon i tømmer har det blitt arbeidet med ganske intensivt på 80- og 90-tallet i Norden. I Norge er dette hovedsakelig gjennom prosjektene "Eurotre", "Skogbehandling og virkeskvalitet", "Mjøsskog 2000" og "Vindu mot skogen". Resultatene fra disse prosjektene viser at det er potensiale for å forbedre utnyttelsen av sagtømmer gjennom bedre tilpasning til naturlige variasjoner i virkesegenskaper (Vestøl 1998, Øyen 1999). Resultatene fra prosjektet "Skogbehandling og virkeskvalitet" tyder på at dagens praksis for kapping av sagtømmer fører til at kvistegenskaper som er avgjørende for trelastkvaliteten ikke utnyttes optimalt (Høibø 1991, 1998). Gjennom hovedoppgavene til Molteberg & Sundby (1994), Flæte & Haartveit (1996), Holmstad & Husum (1997) og doktorarbeidene til Vestøl (1998) og Øyen (1999) om friskkvistlengdens fordeling i stammer og prediksjon av en industriell friskkvistsylinder, har prosjektet Mjøsskog 2000, med Silvinova AS som prosjektleder, kommet frem til en aptering for gran som tar sikte på å få frem friskkvistvirke. Utgangspunktet er at en deler trelast i to hovedsegmenter kalt konstruksjon og interiør. Hovedforskjellen er at i konstruksjon differensieres det ikke mellom tørr- og friskkvist, siden de har like stor styrkereduserende effekt. I interiørvirke derimot er tørre kvister uønsket. Apteringsmetodene er implementert i praktisk bruk, og kombinerer modeller for prediksjon av friskkvistsylinder, utarbeidet av Øyen (1999), med aktuelle blokkhøyder for friskkvistvirke. Tanken bak dette er å kunne ta med "sagbruket til skogs" med sitt postningsprogram, et for interiør og et for konstruksjonstrelast, sammen med fordelingsønsket for dimensjon, lengde og volum. Systemet

er implementert i apteringsprogram i hogstmaskin, og det hogges for tiden store kvanta tømmer med dette opplegget. Dette systemet fungerer bra i rimelig ensaldrete granbestand på middels og høy bonitet, men er svakere i glisne uensaldrete og lavproduktive granbestand. Det er uansett lite friskkvistvirke i slike bestand. Høibø *et al.* (1999) og Berdal & Eikrem (2001) har også forsøkt å prediktere friskkvistsylinder på furu ut fra samme teknikk som ble brukt for gran, men det er ikke i praktisk bruk ennå.

Konstruksjon og interiør er de mest betydningsfulle tømmer Sortimentene og trelastkvalitetene ved aptering etter Silvinovas metode. "Mjøsskog 2000" konkluderer med at sammenhengen mellom tømmerkvalitet og trelastkvalitet varierer på bestandsnivå. Et gjennomsnitt av de fire bestandene som viser best sammenheng mellom målt tømmerkvalitet og trelastkvalitet, gir 84 % interiørtrelast fra det som ble klassifisert som interiørtømmer etter Forestia-sortering, og 72 % konstruksjonstrelast av konstruksjonstømmeret (Silvinova AS 1998). Tilsvarende tall etter Moelven-sortering er henholdsvis 71 % og 81 %. Dette viser at det fortsatt er mulighet for forbedringer. Sammenhengen mellom tømmerkvalitet og trelastkvalitet er likevel bedre enn etter tradisjonell skur av prima og sekunda sagtømmer av gran. Det konkluderes også med tilfredsstillende resultat på oppnådde trelastlengder i forhold til kundeønsker og tidligere preferanser fra tradisjonell aptering (Silvinova AS 1998). Ut fra bestemte forutsetninger ble merverdien gjennom kjeden skog – sag – marked beskrevet til kr. 168,- pr. m³ trelast i Mjøsskog-prosjektet (ca. kr. 80,- pr. m³ tømmer) (Øyen *et al.* 2000).

Også i Sverige er det gjort mye rundt modellering av virkesegenskaper, og da særlig med hensyn til kvist på furu. Bjørklund (1997), Petersson (1998) og Moberg (1999) har alle gått grundig til verks for å gi gode bilder av kvistfordelingen i furu- og til dels grantømmer. Bjørklund (1997) har forsøkt å dele stammehøyden inn i vekstsoner som skal si noe om kvistfordelingen. Modellene er basert på 200 furutrær fra svenske prøveflater som er CT-skannet, den såkalte Furustambanken. Han fant en form for konstant vekstsoner fra 2,5 meters høyde og opp mot kronegrensen, der både kvistdiameter og antall kvist i hver krans er temmelig konstant, slik at det ikke er noen klare kvalitetskiller i dette området. Moberg (1999) har gått videre med det samme materialet og modellert kvistdiameter, tørr og friskkvistlengde samt kvistvinkel, og finner større variasjon mellom bestand enn innad i bestand. Han mener at tetthet, vekstbetingelser og andre miljøfaktorer vil påvirke kvistutviklingen i konstant vekstsonen. Hovedtesen er at hvis en klarer å prediktere største kvist i treet (TK), kan en si mye om treet generelle kvalitet. En bygger derfor opp modeller med forskjellige parametere som skal forklare variasjonen i TK. Modellene er i første rekke aktuelle for evaluering av bestand og regioner, mer enn i praktisk aptering. Modellene er sofistikerte og gir gode forklaringsgrader, men det er diskutert hvor representative de er siden dataene stammer fra intensivt skjottede prøveflater (Høibø 2002, pers. medd.). Modellene er i motsetning til Øyen (1999) ikke validert, men det jobbes med saken. I et datamateriale NLH har for furu ga ikke modellene til Moberg (1999) noen god forklaring (Vestøl 2002, pers. medd.).

Petersson (1998) har sett på kronehøyde på furu og gran og funnet parametere for å prediktere denne i planarbeid og takseringsøyemed. Han har også sett på grenfordelingen hos furu med samme mål. Fra stammebankdata har han også funnet regresjonsmodeller for TK fra furustambankens data. Disse bruker han til å sammenligne kvaliteten på furuskogen i Sverige ut fra Riksskogstakseringens tall fra 1966 og 1988-92. Konklusjonen er at kviststørrelse og årringbredde er signifikant større i materialet fra 1988-92.

Også i Frankrike har kvistegenskaper i gran blitt modellert (Colin & Houllier 1991, 1992), og også de opererer med største kvist som god indikator for generell tømmerkvalitet, og undersøkelsene går mer på å få frem målbare kriterier i planarbeid for å kunne estimere kvalitet på bestand og regioner, og ikke på enkeltrær.

Finnene har modellert kvistegenskaper i mange år, og har utviklet modeller som tar hensyn til plantefysiologi og vekstbetingelser (Kärkäinen 1986, Väisanen *et al.* 1989) som er ganske kompliserte og lite implementert ennå.

5.2.2 Sortering etter ytre form

Avsmalningen har vært diskutert som kvalitetsindikator i lang tid innen forskningen. I Norge var det i første rekke professor Gustav S. Klem som tok tak i dette temaet. Han kom i hovedsak frem til at stor avsmalning ga større kvistmengder i tømmeret, og fant en korrelasjon r på 0,8 på forholdet for gran (Klem 1934). I forsøkene til Gislerud (1974) viste det seg at avsmalning på grantømmer var en bedre kvalitetsparameter enn prima og sekunda, og dette kun noen få år etter at reglene var etablert. For furu ga ikke avsmalningen samme grad av kvalitetsforklaring. Dalen & Høibø (1985) fant også at avsmalning på furu ikke ga noen god prediksjon av kvalitet etter ØS-reglene eller NS 3080. Turolski & Bucholz (1964) derimot kom til at mindre avsmalning ga mindre kvistmengder i deres forsøk på furustolper. Løge (1988) undersøkte om avsmalning og jevnhet kunne si noe om skurlastkvaliteten i grantømmer. Han fant i likhet med Gislerud (1974) en ganske god sammenheng mellom avsmalning og kvalitet på små stokker, men denne var dårligere på større stokker. Dette forklarer han med at "normal form på trestammer tilsier et omvendt proporsjonalt forhold mellom stokkdimensjon og avsmalningen fra rot mot topp". Jevnheten på stammen ga bedre forklaring på skurlastkvalitet enn avsmalning når hele materialet ble sett under ett. Weslien (1983) får også gode korrelasjoner mellom avsmalning og skurlastkvalitet, og også her er korrelasjonen størst for små stokker (mindre enn 15 cm i toppdiameter). Oldertrøen (1999) undersøkte frisk- og tørrkvistandeler sammenheng med avsmalning hos gran. Han fant større friskkvistandeler ved større avsmalning, med best sammenheng for rotstokker. Tørrkvistandelen minket med økende avsmalning for rotstokker og motsatt for midtstokker. Kvaelommeforekomsten økte ved økende avsmalning både for rot- og midtstokker, noe som underbygges av Sklett (1998), som fant at kvaelommeforekomsten var størst i toppstokkene.

Nye teknikker i tømmermålingen har gitt nye muligheter, og både svenske (Nylinder 1995) og norske forsøk (Oswald 1998) har blitt gjort for å sortere ut ulik tømmerkvalitet på bakgrunn av stokkenes geometri.

5.2.3 Andre sorterings- og apteringsmetoder

Wilhelmsson (2001) har sett mer på virkesegenskaper som er viktige for masseindustrien, bl.a. basisdensitet, sommer-/vårved, kjerne-/yteved, ungdomsved og fiberegenskaper. Mye av dette arbeidet går inn i systemer for en bedre virkesflyt.

Möller (1998) har sett på et nytt sorteringssystem for sagtømmer i Sverige – VMRs nye sorteringssystem, og vurdert kvalitetsapting mot lengdeapting. Systemet er basert på to grunnleggende prinsipper:

1. Kvaliteten henspeiler direkte til sluttproduktet, for eksempel snekkervirke eller konstruksjonsvirke
2. Mantelyten og endeflatene bestemmer kvaliteten

Systemet deler tømmeret inn i fem klasser for furu og fire for gran etter sluttprodukter en kan forvente seg av dem, som snekkervirke, emballasje, konstruksjon osv. I et trevareskjema beskrives kvalitetskravene til trelast etter egenskaper som maksimal kviststørrelse, kvisttype, antall kvister og tillatt mengde andre feil. Studien til Möller (1998) viste at kviststrukturen langs stammen beskrives bra av VMRs nye system, men at grensene mellom kvalitetene ikke er eksakte, men består av overgangssoner. Furuas kvalitetsklasser viste bedre sammenheng med ferdigvarekvaliteten enn gran, og er derfor interessant å kvalitetsapting. Sortering etter VMRs system gir en bra beskrivelse av kvalitetsfordelingen hos ferdigproduktet, og er derfor bra som grunnlag for vederlag til større leverandører.

5.3 Simulering av oppdeling

5.3.1 Aptering

Det finnes i dag flere simuleringsprogrammer for optimal aptering, både til operativ bruk i hogstmaskiner og som verktøy for utarbeiding av apteringsinstrukser. De fleste maskinprodusenter har i dag sine egne apteringsprogram installert i hogstmaskinene. Disse optimerer kappepunkt ut fra gjeldende prislister og en kombinasjon av målinger og prognoser på den enkelte stamme. OptApt er et program som beregner optimal og eventuelt utført aptering for ett eller flere tre (Finstad & Gobakken 2000). Det kan dermed brukes til opplæring i aptering, kontroll av aptering på enkelttre- og partinivå og til å beregne effekter av feil aptering. OptApt er også et hjelpemiddel for planlegging, ved at man kan se hvordan priser slår ut på totalverdi og fordeling på sortiment og dimensjoner. På denne måten kan man også se hva slags bestand man bør hogge for å

oppfylle en kjøpers behov. OptApt er fleksibelt ved at kvaliteter og virkesfeil kan beskrives uavhengig, samt at data kan legges inn manuelt og importeres fra hogstmaskin. Det jobbes for tiden med å koble skursimuleringsprogram opp mot OptApt.

SilviA er et eksempel på et noe tilsvarende program utviklet i Sverige. Silvinova AS bruker SilviA, og har lagt friskkvistmodellen til Øyen (1999) til grunn for beregning av en optimal postningsaptering. Aptan og DaptBas er eksempler på to andre simuleringsverktøy for aptering, og som nytter stammedata fra hogstmaskin som datagrunnlag (Kihlblom & Sondell 1994).

Birkeland & Mjåland (2001) sammenlignet i forbindelse med prosjektet "Sagtømmerets foredlingsverdi" to apteringsmetoder for gran, ved bruk av de to optimeringsprogrammene for aptering beskrevet over (OptApt og SilviA). Programmene bygger på ulike input og forutsetninger. Kun kvist ble tatt hensyn til ved kvalitetsfastsettelse av trelasten (kun plankedimensjoner fra sentrumsutbytte), og bare kvistkvaliteten, og ikke dimensjon/lengde, ble tatt med i betraktningen. SilviA ga gjennomgående høyere kvalitetsutfall enn OptApt. Dette skyldtes i dette tilfellet i stor grad at stokklengdene, og dermed lengden på trelasten, var betydelig kortere etter aptering i SilviA enn i OptApt. Forskjellen i kvalitet mellom apteringsmetodene var større enn forskjellen i middellengde kunne forklare. Dette skyldtes den lavere variasjonen i kvalitet i planker fra tømmer aptert i SilviA. Dette betyr at måten trærne ble aptert på i SilviA, etter Øyens (1999) friskkvistmodell, (og måten stokkene ble skåret på) var bedre tilpasset kvistegenskaper enn i OptApt. Lengde er en kvalitet i seg selv siden den er viktig for sluttbruken og verdien på sluttproduktet. Lengde og andre kvaliteter må derfor vurderes samlet for å oppnå høyest mulig totalverdi i foredlingskjeden (Birkeland & Mjåland 2001). Puumalainen (1996) fant at volumet av kvistfrie stokker ble tredoblet i enkelte bestand ved å redusere stokklengden fra 37 dm til 22 dm. Volumfortjenesten oppnådd ved å slakke på dimensjonskravene var størst i bestand av lav kvalitet. Gjennomsnittshøyde for øvre del av død krone viste seg å være den beste indikatoren for mengden kvistfri trelast i et bestand.

Det finnes integrerte modeller som inkluderer både optimering av kapping og skurprosess. En slik integrert modell er bygd på en slik måte at kappeoperasjonen må ta resultatet av den simulerte oppdelingen på sagen i betraktning. Ved kjennskap til en gitt stokks egenskaper, kan det være verdifullt å vurdere trelastutbyttet ved å bruke disse egenskapene (Grondin 1996). Slike programmodeller er i bruk blant annet i Nord-Amerika og New Zealand der tømmeret kappes på sagen, men burde i prinsippet kunne fungere også ved aptering i skogen, forutsatt god informasjonsflyt. Eksisterende program for optimal aptering bør utvikles og i større grad tilrettelegges for det som skal skje på sagen. Tanken er da at man kan forutsi og simulere maksimalt trelastutfall totalt for hele stammen før en kapper. Først da vil en ta ut 100 % av de verdier som ligger i treet, dog innenfor de rammer dataprogram, modeller og teknikk setter.

Virkesegenskaper som basisdensitet, mikrofibrillvinkel, fiberhelling, tennarved, ungdomsved og store kvister har alle innvirkning på oppdeling, sluttbruk og

verdi av trelast (Lindström 1999). I dette perspektivet vil det være hensiktsmessig å utvikle verktøy som kan anvendes til å differensiere og velge tre som egner seg til en bestemt sluttbruk. Finere utvelgelse og differensiering av tømmerressursene vil bli ytterligere vektlagt med den gradvise veksten av en mer hurtigvoksende bartreressurs. Derfor vil nøyaktige modeller av virkesegenskaper kunne nyttes til å sikre at kvaliteten og kundenes spesifikasjoner møtes. I de senere år er enkelte modellsystemer som AUTOSAW (Todoroki & Rönqvist 1997, 1999) og SOPT (Lönner 1996) laget for å integrere informasjon om tre- og kvistegenskaper i bartrestammer i produksjonsprosessen. Med slike systemer kan man etablere en kobling mellom råstoffegenskaper, krav til sluttbruk og produktverdi, og dermed bidra til bedre utnyttelse av en gitt råstoffressurs. Input i simuleringsprogrammet kan bestå av empiriske data eller et sett ikke-destruktive generelle modeller av virkesvariasjoner.

I prosjektet "*Sagtømmerets foredlingsverdi*" ved Skogforsk (2001-2003) er hovedmålet å øke lønnsomheten til skogbruket og skogindustrien gjennom forbedret utnyttelse av tømmer som industriråstoff (Vestøl 1999). I dette prosjektet vil man utvikle et system for sagsimulering med database over virkesegenskaper. Dette vil danne et objektivt grunnlag for utvikling av nye sortiment av sagtømmer og for analyser av apteringens og skuruttakets effekt på trelastkvaliteten. Tilsvarende verktøy er utviklet i Frankrike (Leban & Duchanois 1990). Der har man utviklet modeller for virkesegenskaper og knyttet dem til produksjonsmodeller. Man har også laget en sagsimulator hvor man kan studere hvordan aptering og skurmønster påvirker trelastkvaliteten. I tilknytning til den tidligere nevnte "Furustambanken" i Sverige er det utviklet en sagsimulator (vSM) (Grundberg *et al.* 1999). Ved Institutt for skogfag, NLH, har man anskaffet dette verktøyet sammen med den svenske "Furustambanken". I tillegg er det tilgjengelig data om kviststruktur fra 72 grantrær og 30 furutrær fra tidligere prosjekter ved SKOGFORSK og NLH.

5.3.2 Skur

Sluttbrukorientert skur for videreforedling er blitt mer og mer populært for gran, som for furu, i Norden (Verkasalo *et al.* 1999). Ved det finske skogforskningsinstituttet har man i et prosjekt sammenlignet tømmerutnyttelsen av gran ved tradisjonell og sluttbrukorientert skur (Verkasalo *et al.* 1999). Hovedvekt er lagt på å forutsi kvalitet og verdi på tre og tømmerstokker for de to ulike skurfilosofiene. Stammene ble teoretisk aptert etter seks forskjellige kappereglement eller apteringsinstruksjoner ved simulering. Stokkene ble videre skåret i simuleringsprogrammer. Det ble i studien rettet særlig oppmerksomhet på ytre og indre kviststruktur. Det ble også sett på forholdet mellom tømmerforbruk, kubikkmeter tømmer per kubikkmeter trelast, og DBH. Resultatet ble som forventet at tradisjonell skur ga lavere tømmerforbruk enn brukerorientert skur, særlig for de største DBH-klassene. Effekten av aptering var større for "spesialskur" enn for bulkproduksjon. Disse forskjellene var størst for de minste og største DBH-klassene. Generelt økte tømmerforbruket ved økning i DBH, særlig ved spesialskur. Følgelig øker ikke, men heller avtar, relativt trelastutbytte med økende dimensjoner. Bruttoverdien oppnådd for de to

skurfilosofiene er også analysert for de ulike apteringsinstruksjonene. Sluttbrukorientert skur ga 30-35 % høyere trelastverdi enn bulkproduksjon når en så bort fra effekten av tennar. Ved å ta den med i betraktningen, ble trelastverdien redusert med 15 % for sluttbrukorientert skur og 10 % for bulkskjæring. Apteringseffekten var forholdsvis liten.

Sederholm (1981) har sett på aptering, måling og sortering av sagtømmer med hensyn til avsmalning og krok. Han kom til at hvis man kan gjennomføre en perfekt krokskur, behøver man ikke kompensere for krok ved dimensjons-sortering av tømmer. Om stokkens avsmalning og krok er kjent, kan sorteringen styres slik at systematiske ileggingsfeil ved vanlig skur (ikke krokskur) kompenseres med diameterøkning eller sideforskyvning i delingssagen. Ved normal skur opprettholdes vankant i toppenden på sentrumsutbyttet når stokken er krokete. Krok i tømmeret medfører redusert utbytte i sagbruket, som kan minskes med bedre aptering og sortering.

Han & Toverød (1994) vurderte i prosjektet "Årringer som uttrykk for tømmerkvalitet" et system for måling av årringer i forbindelse med tømmermåling i trelastindustrien. Det ble også sett på sammenhengen mellom tømmerkvalitet og årringmønster. Et synssystem bestående av linjekamera, belyningsanlegg og PC ble montert, og målinger ble utført på stammeskiver av gran og furu. Det ble testet en rekke sammenhenger mellom årringer og tømmerkvalitet. Svake direkte sammenhenger ble funnet, men det er sannsynligvis i sammenheng med andre, ytre kvalitets-trekk at årringmåling lettest kan tolkes. Synssystemets nøyaktighet ble målt ved å sammenligne med manuelle målinger som hadde høy nøyaktighet. Resultatene var lovende, men hovedproblemet var at de leste kontrastene var meget små. Høyoppløsning er derfor nødvendig.

Prosjektet ble ført videre sammen med NISK og PFI i prosjektet "Måling av tømmerkvalitet". I Han (1995) foreligger en rekke presentasjoner vedrørende forskning og utvikling i de nordiske land når det gjelder måling av tømmerkvalitet og sortering av tømmer. Optiske målerammer og kamerateknikk er to vanlige metoder for eksternt skanning. Røntgentomografi, gammastråling og ultralydtransmisjon er for intern kvalitetsbedømmelse. Mikrobølgerrefleksjon er brukt for å måle barktykkelse. På bakgrunn av ytre geometri (bulighet, krok, ovalitet, avsmalning etc.) kan man også si noe om den indre kvaliteten – kvistfordelingen.

5.3.3 Utbytte ved tynning

I Finland har man sett på betydning av tynningsstrategi på utbytte og kvalitetsfordeling for furu (Mäkelä & Usenius 2000) ved hjelp av PipeQual (vekstmodell) og WoodCim (skursimuleringssystem). PipeQual er en dynamisk vekstmodell for simulering av grensetting og andre egenskaper hos tre av ulike dimensjoner, og er tilpasset furu i Finland. Modellen produserer 3D-stammer tilpasset lokalmiljøet trærne er hentet fra. PipeQual ble kombinert med simuleringssystemet WoodCim (beskrevet tidligere), et modellsystem

bestående av en sagsimulator og optimeringsmodeller til beregning av optimalt sagmønster/postning på bakgrunn av gitt råstoff, skurteknologi og markedssituasjon.

Fire ulike tynningsprogrammer ble definert og simulert med PipeQual, og de oppnådde stokkene var input i WoodCim. Med tanke på total produksjon og kvalitetsfordeling, ga lett tynning best resultat. Dette skyldes trolig at en høy opprettholdt tretetthet fremmet rask oppkvisting og sakte individuell trevekst. Ved ikke-tynning fikk en selvtynning, og dette kvantumet ble i stedet avvirket ved tynningsinngrep. Hard tynning ga lavest total produksjon, da en her hogger en del tre før deres fulle vekstpotensial er utnyttet. Høyest produksjon fikk en altså med et mer forsiktig tynningsprogram enn tradisjonelt anbefalt i Finland, og ikke-tynningsscenariet ga dårligst resultat (Mäkelä & Usenius 2000). Størst andel u/s-trelastkvalitet (34 %) ble oppnådd ved tradisjonelt tynningsprogram, men det forsiktige inngrepet ga også en ganske stor andel u/s (28 %). Den kraftige tynningen kom dårligst ut her (21 %).

Heräjärvi *et al.* (2000) har i en studie sett på egenskaper og potensial for furu og gran avvirket ved førstegangstynning som sagtømmer. Målet var å undersøke mekaniske egenskaper, tilgang, anvendbarhet, avvirkning og produksjon av konstruksjonsvirke fra småtømmerdimensjoner (prosjektet "Round small-diameter timber for construction", del av EC's 4th framework programme). Hoveddelen av småtømmeret i Finland går til massefabrikker (Heräjärvi *et al.* 2000). Det er imidlertid potensial for skur og rundvirkeproduksjon av dette råstoffet, hvis ulemper i produksjonsprosessen kan unngås eller minimeres.

5.4 Systemer for virkesstyring

I Sveits arbeides det med et instrument – a knowledge management tool (KM-tool) – for styring av landets virkeskjede. Målet er økt utnyttelse av tre i Sveits (Mischler 2000). Dette verktøyet skal være til hjelp for alle aktører i virkeskjeden (ikke minst sluttbrukere), og føre til at bruken av tre skal bli lettere, mer interessant og raskere. Dette skal igjen lede til økt behov og etterspørsel av trebaserte produkter. Systemet vil bestå av flere deler, rettet mot ulike brukergrupper.

Siden tidlig på 1970-tallet er det ved VTT – Technical Research Centre of Finland – utviklet simulerings- og optimeringssystemer for mekanisk skogindustri (Usenius 1999). Integrerte programsystemer beskriver hele foredlingskjeden fra skog til kunder. Fra et sagbruksøkonomisk synspunkt er en totaloptimering mye viktigere enn optimering av enkeltprosesser. WoodCim er et avansert planleggings- og optimeringssystem for sagbruksindustrien, og er en videreutvikling av VTT-Simulog beskrevet av Usenius (1997).

For å kunne utvikle mer kundeorienterte og mer integrerte produksjonskjeder, trengs mer spesifikk og nøyaktig informasjon om skogen som skal hogges. Uusitalo & Kivinen (2000) har utviklet en enkel og effektiv stikkprøvet metode for bestand og en programpakke, EMO, som analyserer innsamlede data, bruker

tremodeller og fordelingsfunksjoner, og genererer en total liste for hvert enkelt tre beskrevet med de viktigste trekarakteristika. EMO viser straks fordelingsgrafer og spesielle bestandstrekk på grunnlag av måledataene, og gir tredata i STM-format som kan brukes i forbindelse med utarbeidelse av apteringsinstrukser før hogst.

Skogforsk og SLU i Sverige har utviklet en Fibre Database, et nytt beregnings- og apteringsverktøy som beskriver tre- og fiberegenskaper til furu (*Pinus sylvestris*) og gran (*Picea abies*) (Wilhelmsson *et al.* 1997). Databasen skal beskrive tre- og fiberegenskaper, analysere effekter av ulik aptering/kapping og sammensetning av sortiment, beskrive effekter av varierende skogbehandling, og utføre økonomisk kalkulering av ulike sortiment basert på beskrivelse og vurdering av ulike egenskaper.

Skogforsk i Sverige har i senere tid arbeidet aktivt med nye hjelpemidler for markedstilpasset virkesforsyning. En stokknota kan tenkes å komme fra et nyutviklet dataprogram som kalles ProLog, som brukes av råvareansvarlig på sagen (Sondell *et al.* 2000). Tømmer bestilles på grunnlag av alle tilgjengelige virkesdata (ordre, lager av tømmer og trelast, tømmer på veg eller under opparbeiding etc.). For skogsiden finnes også et nytt program – StandOrd. For å kunne nytte dette optimalt, kreves inventeringsdata fra aktuelle avvirkningsobjekter. Med utgangspunkt i disse bestandsdataene genereres en representativ stammefordeling per hektar i et eget program (Standin), og utfallet simuleres (apteres) så ved hjelp av programmet Aptan. Aptan kjøres under StandOrd, som kan håndtere et stort antall bestand samtidig. Resultatet er nøye spesifisert på stokkdimensjoner per sortiment og kvalitetsklasser, samt virkesverdi ut fra gjeldende prislister.

Innenfor FoU-programmet ”Marknadskrav og råvareutnyttjande” ved SkogForsk i Sverige er det gjort en videreutvikling av Aptan-funksjonen i TimAn for å, i samband med avvirkningsprognoser, også prognostisere ved- og fiberegenskaper for avvirkede sortiment. Programmet Timan inneholder blant annet Aptan og Aptupp (se skogs-shopen på www.skogforsk.se). Det er også gjort simulering av modellenes følsomhet for målefeil i inndata. Det arbeides ellers med utvikling av hogstmaskinenes programvarer i samarbeid med maskinprodusenter. Aptering etter automatisk klassifisering ved hjelp av egenskaper som friskkvistsylinder (Silvinova AS er inne i samarbeid med SkogForsk, Sverige), kvistegenskaper, densitet, kjerneved, ungdomsved, formstabilitet etc. er sentralt. Det er utført test av ulike apteringssystemer med hensyn til krav om virkesbehandling og aptering, og sett på hogstmaskinmåling av tømmer og nye prissettingsformer. Innen kundestyrt optimering av kjeden skog – sag – høvleri arbeides det med en optimeringsmodell for analyse av ulike handlingsalternativ i kjeden. Hos enkelte bedrifter prøver man også ut hjelpemiddel for beregning av sorteringskostnader. I prosjektet Skog – Masse – Papir har man blant annet sett på andelen av total variasjon i vedegenskaper som kan forklares gjennom løpende registrering av diameter og årringer under hogst, og på bakgrunn av dette utviklet fibermodeller for gran og furu.

I Lineset skal SkogForsk analysere kvalitetssammenheng mellom stående skog og ferdig trelast. Prosjektet handler om sporing av virke ved individmerking av stokker i skogen og deretter følge virket gjennom sagen og ut til sluttforbruker. I programmet jobbes det ellers med effektivisering av virkesflyt og avvirkningsplanlegging.

5.5 Sortering av skurlast

I dagens trelastproduksjon sorteres skurlast etter to hovedprinsipper. Til høvellast, såkalt handelssortering – offisielt etter Nordisk Tre (NT), og til konstruksjonslast etter INSTA 142 eller NS-EN 519.

5.5.1 Handelssortering

I tidligere tider fantes det ingen offisielle regler for kvalitetene av skurlast, og reglene var temmelig lokale, slik at skurlastkvaliteter varierte fra distrikt til distrikt. I 1930 kom det en lov om ”annamming av skurlast”, og reglene har blitt revidert og endret mange ganger siden det. Østlandets Skurlastmålings reglement fra 1932, revidert i 1955, har vært det mest vanlige å bruke i Sør-Norge de siste 45 år, og erstattet de lokale sorteringsreglene. Også ”Grøna boken”, som er de tilsvarende sorteringsreglene fra Sverige for skurlast, har blitt benyttet ved mange sagbruk. I Trøndelag har det vært en egen ”Trønder-sortering”. Felles for alle disse sorteringene er u/s (o/s i Sverige), 5. og 6. sort som begreper, noe som også er etablerte begreper i Storbritannia og Amerika. Nordisk Tre (den Blå boka) er nå de offisielle reglene for skurlastsortering i Norge, selv om mange fortsatt benytter de gamle reglene. Mange sagbruk bruker Nordisk Tre for intern sortering, mens de bruker de gamle benevnelsene med u/s, 5. sort osv. når de selger skurlasten. Etter hvert har det også kommet en felleseuropeisk standard for handelssortering av skurlast som heter EN 1611-1. Den er ikke så fleksibel som NT, og er ikke i noe særlig aktiv bruk ennå, men er vedtatt og gyldig. En kan her velge mellom en tosidig eller firesidig sortering.

I Nordisk Tre er de tradisjonelle kvalitetsbetegnelsene u/s, 5. og 6. sort forlatt, og erstattet med A, B, C og D, der A igjen kan deles i fire fra A1 til A4. Dette er temmelig parallelt med de gamle reglene der A tilsvarer u/s, B 5. sort, C 6. sort og D utlegg. Disse reglene er nordiske, og er laget på bakgrunn av Grøna boken i Sverige og Finland og ØS-reglene i Norge. Slike handelssorteringsregler ble opprinnelig laget for skurlast som gikk til eksport, men har i stor utstrekning også blitt benyttet på innlandsmarkedet. I Nordisk Tre er det muligheter for å spesifisere sin egen ”kvalitetsprofil”, slik at reglene er temmelig fleksible.

I de senere år har det blitt mer og mer vanlig at kundene ved de forskjellige sagbrukene selv definerer sine kvalitetskrav, og ofte uten noen henvisning til regler eller standarder.

5.5.2 Sortering av konstruksjonslast

Ved sortering av konstruksjonslast er det styrken som er det dimensjonerende for en plankes kvalitet. I tillegg må selvfølgelig planken være noenlunde rett og uten biologiske skader som kan svekke trelasten på sikt. Norges første standard for sortering av konstruksjonstrevirke kom i 1972, og definerte kvalitetsklassene E, S og C. I 1988 ble denne revidert, og en fikk kvalitetsklassene T12, T18, T24, T30 og T40M. Tallene står for den karakteristiske verdien for bøyefasthet til plankene, og T40M kunne bare sorteres ut maskinelt. Etter hvert ble det vedtatt europeiske standarder for styrkeklasser, og for hvordan visuelle (EN 518) og maskinelle (EN 519) sorteringsregler skulle bygges opp. Følgen av dette var at de nordiske landene i 1997 vedtok INSTA 142 som oppfyller kravene i EN 518. Denne er i dag den gjeldende standarden for visuell sortering av konstruksjonstrevirke i Norden. Her er kvalitetsklassene T3, T2, T1 og T0, som samsvarer med styrkeklassene C30, C24, C18 og C14 i EN 338. I tillegg blir EN 519 brukt som gjeldende standard for utarbeiding av innstillingsverdier for styrkesorteringsmaskiner. Siden konstruksjonstrevirke er et ingeniørmateriale med absolutte krav til styrke, er disse reglene ganske presise, og de fleste produsenter av konstruksjonstrevirke av noe størrelse er i dag underlagt tredjeparts-kontroll i form av medlemskap i Norsk Trelastkontroll.

De europeiske sorteringsstandardene for konstruksjonstrevirke er for tiden under revidering i TC 124 i CEN-systemet, og ny sorteringsstandard (prEN 14081), som dekker både visuell og maskinell sortering, er til høring i de forskjellige europeiske medlemsland.

6. Logistikk

Logistikk er betegnelse for forsyningstjeneste i videste forstand (anskaffelse, lagring m.m.), og temaet er omtalt i en rekke skriftlige arbeider (Björkheden & Eriksson 1989, Imponen & Lampén 1995, Hameri 1996, Weintraub *et al.* 1996, Beauregard *et al.* 1997, Equi *et al.* 1997, Palander 1997, Haavardtun 1998, Vlosky *et al.* 1998, Andersson *et al.* 1999, Carlsson & Rönnqvist 1999, Epstein *et al.* 1999, Hameri & Nikkola 1999, Lethonen 1999, Helstad 2000, Olsson 2000, Sjöström 2000, Sjöström & Rask 2001, Pulkki 2001, Wästerlund & Lundqvist 2001).

Logistikk som fagområde startet sin historiske utvikling gjennom utvikling av systemer for å forsyne tropper i militære operasjoner. Sentralt i så måte var transport og lager av varer. Når logistikkbegrepet anvendes på hele kjeder, der også produksjon inngår som et sentralt element, blir det nødvendig å studere forsyningstjenesten som avhengig av de ulike produksjonsleddene. Dette innebærer at planlagt produksjon, enten denne er basert på prognoser for etterspørsel eller en følge av innkomne ordre, får stor betydning for hvordan logistikken skal organiseres. Det er i dag akseptert at logistikk som fag har fokus på hele kjeden fra første råvareprodusent til sluttbruker. Likevel kan logistikk også studeres på et snevrere arbeidsfelt, for eksempel for kjeden fra skog til sagbruk, eller for sekvensen av operasjoner som foregår inne på sagbruket.

Forsyningstjenesten fra skog til sagbruk, eller en annen industribedrift, består av mange operasjoner som bør samordnes. Målsetningen er riktig mengde, av riktig kvalitet, på riktig sted, til riktig tid.

6.1 Lagerfunksjonen

Lagerfunksjonen er en viktig del av forsyningstjenesten, enten man ser på det innenfor en enkelt skogeiendom, innenfor en enkelt bedrift eller totalt i en skogregion. Lagring av virke er nødvendig. Det er knapt mulig, eller i tilfelle ikke økonomisk forsvarlig, å få full overensstemmelse mellom tilgang på og forbruk av tømmer. Det opptrer forstyrrelser og avvik fra planlagt produksjonsnivå på enkelte steder i den kjede av operasjoner et virkesforsyningssystem består av. Dette kan være på grunn av for eksempel klima, tekniske sammenbrudd eller konflikter. Tømmer er et råstoff med begrenset holdbarhet. Avhengig av årstid, treslag, dimensjon, lagringsplass og lokale variasjoner i klima, kan selv relativ kort lagringstid redusere kvaliteten betydelig.

Lager har på mange måter samme funksjon i et økonomisk system som fjærene i et mekanisk. Lager frikobler forskjellige operasjoner fra hverandre. Plassering og dimensjonering av lagrene har betydning for fleksibiliteten. Fleksibilitet koster penger i form av kapitalbinding og renter, økte handteringskostnader, kvalitetsforringelse m.m. På den andre siden koster det også penger å ikke ha, eller ha for små, lagre. Kostnadene opptrer da i form av stopp på grunn av

råstoffmangel, dårlig kapasitetsutnyttelse og overtid. For en bedrift er mengden lager av ferdigproduserte produkter en avveining mellom kostnadene for å lagerføre varer, og i hvilken grad det er påkrevd med en leveringstid som ikke kan overholdes uten at varene er ferdig produsert. Eksempel på lagerkostnader, er kapital bundet i lager, materialhåndtering, materialforringelse og kostnader forbundet med ukurante/ikke etterspurte varer.

Leveringspresisjonen fra skog til sagbruk er vanligvis ikke god nok, og varierer betydelig gjennom året. Dette fører til at størrelsen på lageret på sagbrukstomt også varierer betydelig. Sagbrukene må bygge opp lagrene i perioder med god tilgang på virke, for så å tære på dette lageret gjennom perioder med lavere virkestilgang.

6.2 Informasjon

Materialflyten går fra skogen til kundene. Informasjonsflyten i samme retning burde også gå andre vegen (Usenius 1997). I foredlingskjeden er produktet fra den forrige fasen, råstoff for produktet i den neste. I flere tilfeller er ikke skog-råstoffet eller råmaterialet i overenstemmelse med det endelige produktet. Det dårlige samsvaret betyr stort tap av trevirke og betydelige økonomiske tap. For å oppnå et godt økonomisk resultat må verdikjeden ses på i sin helhet. Råstoff må velges ut på bakgrunn av krav til virkesegenskaper i sluttproduktet. Kundernes individuelle krav må i større grad tas hensyn til. Produksjonen bør være fleksibel nok til å kunne tilpasse seg endringer og konjunkturer. I fremtiden vil derfor optimeringsmodeller og informasjonssystemer bli mer og mer viktige i skogbruk og skogindustri. For å modellere sammenhenger mellom råstoffkvalitet og kvalitet på sluttproduktet, kreves en beskrivelse av foredlingskjeden. Dette innebærer beskrivelse av produkter, dimensjoner og kvalitet på råstoff, og beskrivelse av foredlingsprosesser og logistikksystem.

I Sveits arbeides det for eksempel med et instrument – a knowledge management tool (KM-tool) – for styring av landets virkeskjede. Målet er økt utnyttelse av tre i Sveits (Mischler 2000). Dette verktøyet skal være til hjelp for alle aktører i virkeskjeden (ikke minst sluttbrukere), og føre til at bruken av tre skal bli lettere, mer interessant og raskere. Dette skal igjen lede til økt behov og etterspørsel av trebaserte produkter. Systemet vil bestå av flere deler, rettet mot ulike brukergrupper.

I flere år har en i sagbruksindustrien innsett viktigheten av å innlemme informasjon om skoglige forhold og potensielle markeder i produksjonsplanleggingen (Uusitalo & Kivinen 2000). For å kunne utvikle mer kundeorienterte og mer integrerte produksjonskjeder, trengs mer spesifikk og nøyaktig informasjon om skogen som skal hogges. Uusitalo & Kivinen (2000) har utviklet en enkel og effektiv stikkprøvemethode for bestand, og en programpakke, EMO, som analyserer innsamlede data, bruker tremodeller og fordelingsfunksjoner, og genererer en total liste for hvert enkelt tre beskrevet med de viktigste trekarakteristika. EMO viser straks fordelingsgrafer og spesielle bestandstrekk på

grunnlag av måledataene, og gir tredata i STM-format som kan brukes i forbindelse med utarbeidelse av apteringsinstruksjer før hogst.

6.3 Optimeringssystemer

Siden tidlig på 1970-tallet er det ved VTT – Technical Research Centre of Finland – utviklet simulerings- og optimeringssystemer for mekanisk skog-industri (Usenius 1999). Integrerte programsystemer beskriver hele foredlingskjeden fra skog til kunder. Fra et sagbruksøkonomisk synspunkt er en total-optimering mye viktigere enn optimering av enkeltprosesser. WoodCim er et avansert planleggings- og optimeringssystem for sagbruksindustrien, og er en videreutvikling av VTT-Simulog beskrevet av Usenius (1997). WoodCim består av følgende program (software):

- Simuleringsprogram for beregning av verdiutbytte
- Program for optimering av tømmer-sortering/tømmerklasser
- Skurmodell basert på lineær programmering
- Integrert optimeringsmodell fra ”stubbe til sluttprodukt”
- Flytmodell for sagbruk
- Praktiske erfaringer

Planlegging, prosesskontroll og forskningsproblemer kan løses ved matematiske modeller og programverktøy (Usenius 1999). Det er viktig at modellutviklingen skjer i nært samarbeid med brukerne, for i tillegg til et teoretisk grunnlag kreves inputdata om råstoff, prosesser, produkter, salgsinformasjon etc. Dataprogram i planlegging av sagbruksaktiviteter har så langt gitt gode resultater. Det er blitt mulig å øke salgsverdien til produktene med flere prosent, sammenlignet med manuell innsats eller bruk av enklere dataprogrammer. I fremtiden, når kundene vil kreve ytterligere spesifiserte dimensjoner og kvaliteter, vil antall skuroperasjoner og alternativer øke betydelig. På grunn av mangel på empiriske data for disse produktene, vil planleggingssystemer bli enda viktigere. Matematiske modeller kan brukes til å etterligne virkelige situasjoner. En fordel er at en slik modell gir et totalbilde av prosessene, selv om det ikke skjer en fysisk produksjon. Modellene gjør også at en kan skape teoretiske produksjonslinjer og produkter, og slik studere fortjenesten ved ulike alternativer. Datamaskinen beregner optimal verdi for parametrene i modellen ut fra gitte kriterier. Jo nærmere virkeligheten disse forholdene er, desto bedre er modellen.

7. Erfaringer fra organisering og gjennomføring av større virkesundersøkelser

En rekke undersøkelser av samme type som vårt SSFF-prosjekt har vært gjennomført, og er i gang, i den hensikt å finne ut hvordan man kan oppnå en mer optimal utnyttelse av virkesressursene, bedre tilpasning til kvalitet og prosesskrav i masse- og papirfabrikker, sagbruk og andre produsenter. I dette arbeidet må det samtidig tas hensyn til begrensninger i tilgjengelige ressurser, logistikk, kostnader og så videre. Lundqvist *et al.* (2001) gir en god beskrivelse av hvordan virkesundersøkelsene kan gjennomføres, og understreker behovet for ytterligere undersøkelser over hvordan fiber morfologien endres fra hva man finner i veden, og gjennom masse- og papir-fremstillingsprosessene frem til sluttproduktene.

7.1 "Wood Wisdom"

I The Finnish Forest Cluster Research Programme *Wood Wisdom* (1998-2001), er målet å fremme konkurransedyktigheten til skogbruk og skogbasert industri i Finland (www.woodwisdom.fi, Paavilainen 2000a, 2000b). Hovedtyngden av forskningen går på markedsstyrt bruk av finsk tømmerstoff for optimal tre- og papirproduksjon. Programmet skal integrere forskning i skogbruk, skogindustri og markedsføring av skogbaserte produkter. Et viktig mål er å lære opp spesialister i markedsdrevet produksjon og foredling av tre. De brukervennlige og funksjonelle kvalitetene til sluttproduktene setter kravene og rammene for fremstilling av produkter og bruk av råstoff. Programmet er delt i fire hovedforskningsområder, med flere tilhørende temaer og prosjekter: *Forest Industry operating environment, Pulp and Paper Production, Mechanical Wood Processing and Raw Material Questions*.

Raw material questions er det største forskningsområdet i programmet, med flere tilhørende temaer og prosjekter. Temaet "Unifiber" omfatter optimal utnyttelse av de ulike kvalitetene i trevirke og fibre fra de finske skoger. Målet er å kartlegge hvordan de kjemiske og morfologiske egenskapene i tre påvirker kvaliteten på papir, mekaniske treprodukter og kompositter, og det utvikles nye metoder for måling av fiber og tre. Posisjon, størrelse og kvalitet på kvister og virkesfeil er studert. Det samme gjelder densitet, styrke og trærnes vekst.

Under temaet *Wood quality variations* ser en på effekter av skogbehandling og miljømessige faktorer på virkesegenskaper og produktkvaliteter, samt genetisk variasjon i råteresistans. Effekter av ulike miljøfaktorer (tilgang på næring, lys, vann etc.) er undersøkt i forbindelse med karbonfordeling, og egenskaper og kvalitet hos trevirke av gran, furu og bjørk. I tillegg til vekstparametre har en undersøkt egenskaper som er viktige spesielt for masse- og papirfremstilling (basisdensitet, ungdomsvedandel, fiberlengde, diameter, celleveggykkelse og mikrofibrillvinkel) samt kjemisk sammensetning (cellulose, lignin). Materialet i forsøket er brukt til å modellere treets vekst og stamme- og virkesegenskaper. Hensikten er å modellere hvordan stamme- og virkesegenskaper er knyttet til

hverandre, hvordan de fordeler seg langs stammen, og skogbehandlingens innvirkning på egenskapene. Ved modellering er det de lokale lysforholdene som skuddene utsettes for, som er basis for beregningene. Stammeform, grensetting, årringbredde, densitet, ungdoms- og modenvedsegenskaper og yte- og kjernevedegenskaper, kvister og fiberlengde er modellert gjennom hele treets liv ved et års intervaller (Kellomäki *et al.* 1999a, 1999b). Til dette arbeidet er det videreutviklet en sagsimulator (Väisänen *et al.* 1989) for å kunne undersøke sammenhengen mellom kvaliteten på sagstokker og trelast, samt ulike stamme og virkesegenskaper relatert til skogbehandling.

Forskningsprosjekt relatert til temaet *Raw material optimisation and control* dekker hele verdikjeden fra kunde til skogen. Prosjektene har som mål å optimere og kontrollere råstoffproduksjon og -flyt til massefremstilling og mekanisk treproduksjon.

I prosjektet *Optimisation of wood raw material conversion* er målet å utvikle et integrert kunde- og produktorientert optimeringsystem for råstoffutnyttelse for strategisk og operativ ledelse av mekanisk treproduksjon. En trevekstmodell utvikles for å forutsi den indre grenstrukturen i tre som skal avvirkes. En optimal produksjonsmetode fra bestandet blir beregnet ut fra produktspesifikasjoner og kundeordre. Kapping kontrolleres for å matche markedskrav best mulig.

I *Monitoring of wood raw material flow and intelligent control of the conversion chain* skal man finne en metode for kontroll av råstofflyten fra skog til sagbruk gjennom produksjonsprosess og videre til sluttbruker ved merking av sagstokker og produkter, enten samlet eller individuelt, og ved å identifisere merkingen i ulike deler i produksjonskjeden. Denne informasjonen vil nyttes til å skape en link mellom råmaterialets og sluttproduktets egenskaper.

I forbindelse med prosjektet *Optimisation of wood handling in pulping* er målet å utvikle metoder og utstyr for mer nøyaktig kvalitetskontroll av råstoffet brukt til massefremstilling, og å øke teknologinivået ved håndtering av trevirke. Det skal opprettes en fleksibel og representativ database for kvalitetsvariasjoner i massevirke, som skal danne grunnlaget for kvalitetskontroll og kvalitetsbaserte sortimentsystemer. På den annen side vil en studere effektene av råtoffsortering på kvaliteten til masse og papir. Resultatene vil nyttes til bestemmelse av sortimentskriterier for massevirke. Anvendbarheten og kostnadene ved fremstilling og håndtering av virke vil analyseres.

Sentralt i *Process-oriented management of the raw material supply chain* er arbeid med en tredatabase til produksjonsstyring. Det arbeides ellers med GIS og GPS i hogstmaskin i *GIS data capture by using harvester-mounted GPS*, og med et prosjekt kalt *Description of commercial roundwood and its distribution when estimating future timber production possibilities*.

7.2 "Skog – Massa – Papper"

Dette er et svensk samarbeidsprosjekt mellom Skogforsk (Sverige) og STFI. Prosjektet ble slutført i april 2002. I henhold til muntlig opplysning fra Sven-Olof Lundqvist, STFI, forventes sluttrapport ferdig i løpet av sommeren 2002. Prosjektet er ført videre som del av arbeidet med prosjektet EUROFIBER, se nedenfor.

Prosjektet SKOG – MASSA – PAPPER omhandler optimal utnyttelse av eksisterende skogsressurser, og omtales også av Lundqvist (2001). Man har undersøkt forskjeller i ved- og fiberegenskaper mellom forskjellige bestand, trær og deler av trær. Det er bygget opp en database for svensk barved. Videre er det utviklet modeller for ved- og fiberegenskaper, og forskjellige applikasjoner av disse ble undersøkt.

Det understrekes at man for å finne en optimal virkesutnyttelse må se oppgaven i et helhetsperspektiv. Man må se på alle optimaliseringsmuligheter: i skogen, i logistikken, på vedgården og i fabrikk.

Arbeidet må foregå i forskjellig skala: bestand, trær, ved, fibre og mikrofibriller. Det er imidlertid ikke nok å finne gjennomsnittsverdier for de ulike egenskapene, det er nødvendig å kjenne variasjonene i de ulike egenskapene, så vel som relasjonene mellom dem. Her mangler det fortsatt mye kunnskap, og mye av årsaken til dette er mangelen på effektive målemetoder. Når nye målemetoder blir tilgjengelige, åpnes dørene til nye muligheter. Som et godt eksempel på dette, nevnes undersøkelser av årringbredde, fibertverrsnitt-dimensjoner og mikrofibrillvinkel (alt målt på ved) ved hjelp av det australske måleinstrumentet SilviScan. Dette er et automatisert avskende røntgenmikro-densitometer kombinert med en bildeanalysator. Instrumentet er beskrevet av Evans (1994), Evans *et al.* (1995) og Evans *et al.* (1999). SilviScan er langt mer effektivt enn målinger på enkeltfibre når det gjelder vedundersøkelser, selv om det ikke er så presist. For eksempel vil måling av fibervegtykkelsen også ta med halve midtlamellen. Som eksempel på kapasiteten, oppgis at målinger på 60 radielle vedsnitt krevde totalt 60 arbeidstimer (utenom hugging av trærne, resultatevaluering og software-utvikling) og 160 maskintimer. Maskintiden gikk hovedsakelig med til bildeanalyse. En total radiell vedsnittslengde på 6,5 meter ble undersøkt med en hastighet på 0,7 mm/min. I alt ble det målt på ca. åtte millioner trakeider. Senere ble hastigheten økt ved bruk av en kraftigere datamaskin til 3,0 mm/min, eller omlag 60 trakeider per sekund. Dette er sammenlignbart med hastigheten på kommersielle fiberlengdeanalysatorer.

Lundqvist *et al.* (2001) beskriver strategien for uttak av prøver, og også en del veddata. Bestand og trær ble valgt ut for å gjenspeile vanlige variasjoner i vedegenskaper i Sverige. Følgende faktorer ble ansett for viktige for veddannelsen: veksthastighet, treets modning (alder, størrelse, del av stammen), genetisk variasjon og klimatiske betingelser. Ut fra dette ble det valgt en prøveuttaksstrategi, som dekket de viktigste miljøbaserte variasjonskildene fra det sydlige til det nordlige Sverige. I og med at anleggspregene for de enkelte trærne ikke

lar seg kontrollere i vanlige bestand, ble denne variasjonskilden kontrollert ved gjentak av bestand og utvalgte trær innen hvert bestand og hver størrelsesklasse. Alle bestand og trær ble karakterisert. Seks trær ble valgt ut fra hvert bestand. I alt 1 740 vedprøver ble tatt fra forskjellig høyde i stammene av 372 trær som representerte 62 bestand i fire regioner fra syd til nord i Sverige. Alle vedprøver ble frosset ned før transport, prøvepreparering, målinger og evaluering av data.

Et omfattende sett av ved- og fiberegenskaper ble målt. Hensikten var å lage en database med data av forskjellig detaljeringsgrad for ulike typer forskning og andre anvendelser. Radielle variasjoner ble bestemt langs diametre orientert fra nord til syd i stående trær, for å skaffe sammenhørende data for forskjellige variable. Et annet mål var å få frem statistiske fordelinger for viktige egenskaper, i tillegg til bare gjennomsnittsverdier.

Av egenskaper som ble målt kan nevnes årringbredde, andel sommerved, vedtetthet, fuktighetsinnhold, andel kjerneved, fiberlengde og fiberbredde. Radielle undergrupper av prøver som representerte ungdomsved, unge voksne trær og fullvoksne trær, ble laget. Fibrene i disse prøvene ble kjemisk frilagt (macererings) og analysert i STFI FiberMaster. Ca. 1 000 slike prøver ble laget og karakterisert for å skaffe informasjon om den radielle variasjonen i for eksempel fiberlengde. SilviScan-instrumentet ble benyttet til å skaffe detaljert informasjon om variasjonene i fiberbredde (radielt og tangentielt), fiberveggtykkelse og andre parametre med høy oppløsning. Et mål her var å karakterisere en stor del av prøvematerialet med FiberMaster og SilviScan for å skaffe bedre data for modellering av fiberegenskaper.

Modeller ble laget i forskjellig detaljeringsgrad: gjennomsnitt for tverrsnitt og radiell variasjon. Hensikten var å lage modeller for å kunne forutsi ved og fiberegenskaper allerede i hogstmaskinen. En viktig ambisjon var også å utvikle modeller som var mer basert på kjennskap til treets vekst og variasjoner i vedkvalitet enn bare til statistikk alene.

I artikkelen presenteres lineære regresjonsmodeller for gjennomsnittsverdier for fiberlengde og fiberbredde på forskjellig høyde i trestammene. Modeller med variasjonskoeffisienter mellom 70 og 80 ble oppnådd. Ytterligere data fra analyser av flere prøver vil senere bli brukt til å lage blandede modeller for å definere tre- og bestandseffekter.

Datamaskinprogrammer ble laget for å anslå variasjoner i egenskaper i en og samme trestamme, basert på målinger på prøver fra forskjellig høyde i treet. Radiell og langsgående vekststruktur i treet ble beregnet fra målte årringbredder. Variasjonene i forskjellige ved- og fiberegenskaper ble interpolert ut fra data fra forskjellig høyde med referanse til denne vekststrukturen, noe som gjorde det mulig å konstruere "egenskapskart" for trestammen. Ut fra disse kartene kunne man så beregne volum og egenskaper for masseved og sagbruksflis fra forskjellig høyde i stammen, egenskaper som er av betydning for produksjon av masse og papir.

Resultatene viser store variasjoner i årringbredde og fiberlengde i prøver fra nord respektive syd i Sverige. Fiberlengde viste klar samvariasjon med årringbredde. Dette bekrefter da noe som er vel kjent fra tidligere. Videre vises typiske variasjoner i fiberlengde innen en og samme trestamme. For hver årring, fra ungdomsved til voksen ved, finnes de korteste fibrene ved roten av treet og helt i toppen, noe som også bekrefter tidligere resultater. Lignende effekter fant man også for fiberbredde, med en signifikant variasjon langs treet radius.

En generell observasjon var at det er en positiv sammenheng mellom veksthastighet og fiberdimensjoner. Hvis treet vokser hurtigere blir fibrene lengre, bredere og får tykkere vegger. Dette er uavhengig av hva som er årsaken til den hurtigere veksten. Dette er i motsetning til tidligere observasjoner, men støttes av andre resultater fra STFI.

Av fiberegenskaper som antas å være av betydning for fibrenes evne til å gi gode treforedlingsprodukter, kan, i tillegg til fiberlengde og fiberbredde, nevnes fiberveggtykkelse, coarseness (vekt per lengdeenhet fiber, vanligvis uttrykt som mg per 100 meter fiber), spesifikt overflateareal (m^2/kg) og mikrofibrillvinkel. Alle disse egenskapene kan måles ved hjelp av SilviScan og kartlegges for de ulike delene av trestammen. Dermed kan man se hvordan egenskapene er for ved som går til sagtømmer, masseved og sagbruksflis. Eksempelvis vil masseved fra toppstokker og tynningsvirke forventes å gi papirmasser med større lysspredningspotensiale, fordi fibrene der er slankere og mer tynnveggede, med større spesifikt overflateareal. Et viktig poeng her er at fibermaterialet ikke bare bør karakteriseres ved sine enkeltegenskaper, men ved kombinasjonen av egenskaper, noe Lundqvist (2001) betegner som "multidimensjonale fiberdata". Eksempelvis er dette kombinasjonen av fiberveggtykkelse, fiberdiameter og fiberlengde, slik den kan fremstilles i et tredimensjonalt rom.

Slike data som her presenteres, vil ikke bare være av betydning for utnyttelsen av virket til masse og papir, men også for utviklingen av treeteknologi, skogbruk og vedbiologi.

Ut fra prosjektet SKOG –MASSA – PAPPER vet vi mye om egenskapen til fibrene i skogen. Utdfordringen er nå å gi en bedre beskrivelse av sammenhengene mellom disse egenskapene og papirets egenskaper. Vi vet at fibrene gjennomgår store endringer gjennom massefremstillingsprosessene, enten disse er kjemiske, mekaniske eller kombinasjoner av prosesser. Likeså vil selve papirfremstillingsprosessen og videre konvertering av papiret påvirke papiregenskapene i stor grad. Lundqvist (2001) beskriver dette som en visjon om utvikling av et nytt konsept for modellering og simulering kalt "Fiber Object Oriented Modelling", som beskriver hvordan fiberegenskapene suksessivt endres gjennom produksjonslinjen. Her er det mye arbeid å gjøre.

7.3 "EUROFIBER"

Samarbeidet mellom Skogforsk (Sverige) og STFI i prosjektet SKOG – MASSA – PAPPER fortsetter i et pågående EU-prosjekt kalt EUROFIBER. Full tittel er "Fiber variability of European spruce and wood assortments for improved TMP production". Her undersøkes egenskapene til "Norway spruce" i Norge, Sverige, Estland og Frankrike, og til Sitkagran i Skottland, som råstoff for termomekanisk masse (TMP). Noen forsøk vil også bli gjort på Loblolly Pine, osp og bjørk. SilviScan-målinger gjennomføres i stort omfang, og fibrene følges gjennom massefremstilling i laboratorieskala, pilotskala og senere i fullskala. I tillegg til STFI og Skogforsk, deltar AFOCEL i Frankrike, fem treforedlingsbedrifter og en leverandør av prosessutstyr i prosjektet. Prosjektets økonomiske ramme er 22 MSEK over tre år, og prosjektet er i skrivende stund (april 2002) 2/3 ferdig.

I følge en kort Internettpresentasjon av prosjektet, er dets mål "Forbedret papirkvalitet og produksjonseffektivitet gjennom mer selektiv utnyttelse av de europeiske vedressursene, med fokus på "Norway spruce" og friske massefibre for produkter basert på mekanisk masse". Man vil beskrive ved- og fiberegenskaper, utvikle og teste modeller og analysere ved- og fiberegenskapers betydning for TMP-prosessen og massens egenskaper.

Det er ikke publisert mye fra prosjektet ennå. Resultatene fra fremstilling av TMP i laboratorieskala er beskrevet i Fauchon *et al.* (2001a) og Fauchon *et al.* (2001b). AFOCEL har utviklet en laboratorieraffineringsmetode som arbeider med utvalgte deler av trestammene. 400 gram ved er nok til testing av TMP-kvaliteten. Hensikten med slik raffinering er å studere den spesifikke effekten av en del faktorer uavhengig av hverandre, så som posisjon innen stammen (høyde og avstand fra margin), åringbredde, densitet, fiberdimensjoner og vedens lyshet. Laboratoriemetoden tillater hurtige, pålitelige og reproduserbare målinger i liten skala. Forsøk på Douglas-furu ga samme ranking av kloner som ved fullskalaraffinering. Metoden er videreutviklet, og arbeider med kontrollert flisfuktighet og flisstørrelsesfordeling. Vedens densitet måles slik at konstant matehastighet oppnås. Spesielle skivemønstre gir redusert fiberkutting og økt spesifikk kantbelastning. Latency mellom første og andre raffineringstrinn er redusert.

Det arbeides nå (april 2002) med raffinering i pilotskala. Fullskalaforsøk vil følge neste år.

7.4 "Marknadskrav og råvareutnyttjande"

Innenfor området "Marknadskrav og råvareutnyttjande" ved SkogForsk i Sverige er målet å øke kunnskapene om råvarens betydning for ulike prosesser og produkter, og stimulere til en tettere dialog mellom skog og skogindustri. Verktøy skal utvikles slik at markedets krav bedre kan oppfylles og lønnsomheten i næringen bedres (www.skogforsk.se). Forskingen drives i nært

samarbeid med skogs- og industriforetak, industriforskningsinstitutt, universiteter og høyskoler.

Et av temaene innenfor dette området er ”Råvaror – beskrivningar och analyser”. Her inngår blant annet utvikling av beregnings- og oppfølgingsrutiner for å beskrive virkets ferskhet i skogen og ved industrien, samt å beregne akseptabel lagringstid med hensyn til industrielle krav til bl.a. ferskhet.

Videre inngår det egenskapsundersøkelser av virkesråstoffet, der det inngår både testing og modelleringsarbeid. Dette gjelder egenskaper som stammeform, årringmønster, densitet, ungdomsved, sommerved/vårved, kjerneved, fuktighetsinnhold, fiberegenskaper (lengde, bredde, veggtykkelse), friskkvistsylinder og andre kvistegenskaper, formstabilitet og barktykkelse. Det blir også gjort arbeid for å analysere hvilken betydning ved- og fiberegenskapene har for ulike prosesssteg i masse- og papirfremstillingen.

I arbeidet vil det også bli foretatt regionale og/eller lokale analyser av råvarens egenskaper med hjelp av modeller for ved- og fiberegenskaper, sammen med input fra for eksempel riksskogtakseringen eller bestandsregister. Likeledes vil det bli gjort enkeltundersøkelser og analyser når det gjelder ulike industrireners ønsker og anstrengelser for å tilpasse seg råvareflyten. Arbeidet er beskrevet på www.skogforsk.se.

Referanser

Litteratur

- Almquist, G. & Hallmans, G. 1947. Redogörelse för undersökning av volymviktens och kvistförekomstens samband med avsmalningen för massaved. Skogsstyrelsens expert-kommitté för virkesmätning, Stockholm. Stensiltryck.
- Andersson, P., Bendz, J., Rask, L-O., & Svensson, V. 1999. Den logistiska flödeprocessen från skog til bygge. Struktur, funktioner, problem och potentialer. Rapport från projekt Skogsresurs Logistik. Växjö Universitet, Sverige.
- Andersson, S. O. 1985. Röining och sågtimmerkvalitet. Skogsfakta 6/85: 33-38.
- Anon. 1967. Wood structure and identification (tracheid length in *Pinus patula*). Rep. Forest Dep. Un. S. Afr. 1966: 34.
- Anon. 1970. Ved- och massaegenskaper hos björk. En orienterande undersökning (Wood and pulp properties in birch. A pilot investigation). Rapp. Inst. Skogsprod., Skogshögsk. 18: 1 - 23 + vedl.
- Apneseth, T., Kleppe, L. & Aalstad, O. H. 1999. Småskala sagbruksvirksomhet i Norge. Rapport 43, NTI, Oslo.
- Armstrong, F. H. 1955. The Strength Properties of Timber (The 2-CM Standard for Tests of Small Clear Specimens). Forest Prod. Res. Bull. No. 34: 1-27.
- Atmer, B. & Thörnqvist, T. 1982. Fiberegenskaper i gran (*Picea abies* Karst) och tall (*Pinus silvestris* L.). Rapp. For. Prod., SLU 134: 1-78.
- Bailey, J. K., Feret, P. P., Stipes, R. J. & Bramlett, D. L. 1974. Extractive contents and fungal degradation of branches from well-pruned and poorly-pruned mature Virginia pine. *Silvae Genet.* 23(6): 185-188.
- Baker, G. & Shottafer, J. E. 1968. Specific gravity relationships in plantation-grown red pine. Res. Pap. USDA For. Serv. NC-23: 15-19.
- Bannan, M. W. 1967. Anticlinal divisions and cell length in conifer cambium. *Forest Prod. J.* 17: 63-69.
- Barber, N. F. & Meylan, B. A. 1964. The anisotropic shrinkage of wood, a theoretical model. *Holzforschung* 18: 146-156.
- Bauschinger, J. 1887. Über die Elasticität und Festigkeit verschiedener Nadelhölzer. Mitt. K. Techn. Hochschule, München. Hft. 16.
- Beauregard, R., Beadoin, M., Ait-Kadi, D. & Monegeau, J-P. 1997. A systemic modeling approach to reengineering sawmills: A suppliers perspective. *Forest Prod. J.* 47(2): 38-46.
- Berdal, K. & Eikrem, E. 2001. Friskkvistsylinder i furu. Inst. for skogfag, NLH. Hovedoppgave.
- Bergman, L. B., Fransson, B. & Thörnqvist, T. 1997. Rätt kvalitet och dimension hos byggnadsvirke. Rapport nr. 5-1997, Högskolan i Växjö, Sverige.
- Bernhart, A. 1964. Über die Rohdichte von Fichtenholz. *Holz Roh- u. Werkstoff* 22: 215-228.
- Bernhart, A. 1965. Frichfeuchtigkeit und Schwindvervaren von Fichtenholz. *Forstwiss. CentBl.* 30.
- Bertog, H. 1895. Untersuchungen über den Wuchs und das Holz der Weisstanne und Fichte. *Forstl. naturw. Zschr.* 4: 177-216.
- Besley, L. 1960. Relations between wood fibre properties and paper quality. *Pulp and Paper Mag. Can.* 6: 136-146.
- Besley, L. 1962. Quality control could start in the woods. *TAPPI J.* 45 (2): 20A-32A.

- Birkeland, T. & Mjåland, O. 2001. Effekt av aptering på trelastkvaliteten av gran (*Picea abies* (L.) Karst.). Inst. for skogfag, NLH. Hovedoppgave.
- Birkeland, R. & Rønningen, J. 1985. Emneproduksjon, markeder og produksjonsopplegg. Rapport 9. NTI, Oslo.
- Björheden, R. & Eriksson, L. O. 1989. Optimal storing, transport and processing for a forest-fuel supplier. *European Journal of Operational Research* 43: 26-33.
- Björklund, L. 1997. The Interior Knot Structure of *Pinus sylvestris* Stems. *Scandinavian Journal of Forestry Research* 12: 403-412.
- Björklund, L., Bengtson, K. & Lönner, G. 1997. An integrated approach to improved utilisation of Scots pine. Swedish University of Agricultural Sciences (SIMS), Department of Forest-Industry-Market Studies. In: Nepveu, G. (ed.). IUFRO, Second Workshop "Connection between Silviculture and Wood Quality through Modelling Approaches and Simulation Softwares", South Africa 1996. Publication France 1997. Topic 7: 271- 284.
- Björklund, L. & Walfridsson, E. 1993. Tallvedens egenskaper i Sverige – Torr-rådensitet, kärnvedhalt, fuktighet och barkhalt. The Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest products. Report No. 234.
- Boutelje, J. 1968. Juvenile Wood, with Particular Reference to Northern Spruce. *Swed. For. Prod. Lab. Nr. 17*: 581-585.
- Braastad, H. 1979. Vekst og stabilitet i et forbandsforsøk med gran (Growth and Stability in a spacing experiment with *Picea abies*). *Medd. Nor. inst. skogforsk.* 34(7): 169-215.
- Braastad, H. 1985. Lav utgangstetthet – Tynningsfritt skogbruk. *Aktuelt fra SFFL* 3/85: 47-53.
- Braaten, K. R., Palm, A. & Omholt, K. 1993. Wood classification leads to more uniform TMP. *International Mechanical Pulping Conference, Oslo*: 23-31.
- Braathe, P. 1953. Undersøkelser over utviklingen av glissen gjenvekst av gran (Investigations concerning the Development of Norway Spruce Regeneration which is Irregularly Spaced and Varying Density). *Medd. norske SkogforsVes.* 12: 209-301.
- Braathe, P. & Okstad, T. 1964. Omsetning av trevirke basert på veiing og tørrstoffbestemmelse. *Medd. norske SkogforsVes.* 72.
- Bray, M. W. & Curran, C. E. 1937. Sulphate Pulping of Southern Yellow Pines. Effect of Growth Variables on Yield and Pulp Quality. *Paper Trade J.* 1937: 39-46.
- Brill, J. W. 1985. Effects of wood and chip quality on TMP. *International Mechanical Pulping Conference, Stockholm*: 153-161.
- Bryndum, H. 1969. Rødgranhugstforsøget i Gludsed plantage. *Forst. ForsVæs. Danm.* 32: 1-156.
- Bryndum, H. 1974. Rødgranhugstforsøget på Ravnholt. *Forst. ForsVæs. Danm.* 43: 1-160.
- Bryndum, H. 1978. Hugstforsøg i ung rødgran på leret morænejord. *Forst. ForsVæs. Danm.* 36: 1-180.
- Bunkholt, A. 1992. Fremtidige markedskrav. Internasjonal trelasthandel – et delprosjekt i EURO-TRE. *Norsk inst. for skogforskning, Ås.*
- Bunkholt, A. 1994. Industrikundenes krav – Møbel, trevare, trehus. Internasjonal trelasthandel – et delprosjekt i EURO-TRE. *Norsk inst. for skogforskning, Ås.*
- Burger, H. 1952. Holz, Blattmenge und Zuwachs. XII. Mitteilung. Fichten im Plenterwald. *Mitt. Schweiz. Aust. Forstl. VersWes.* 28: 109-156.
- Burger, H. 1953. Holz, Blattmenge und Zuwachs. XII. Mitteilung. Fichten im gleichaltrigen Hochwald. *Mitt. Schweiz. Aust. Forstl. VersWes.* 29: 38-130.
- Carelius & Co. 1984. Markedsundersøkelse om trelast blant forbrukere. Carelius & Co, Oslo.

- Carlsson, M., Henningsson, B. & Hägglund, B. 1985. Kvalitet – behövde vi det? Skogsfakta 6/85: 3-6.
- Carlsson, D. & Rönnqvist, M. 1999. Wood flow problems in Swedish forestry. SkogForsk. Report No. 1: 1-48.
- Christiansen, E. & Kucera, B. 1999. Resin pockets in Norway spruce wood are not caused by the bark beetle *Ips typographus* (Kvaelommer i gran skyldes ikke angrep av granbarkbillen). Rapport fra skogforskningen – Supplement 12.
- Clifton, N. C. 1969. Resin pockets in Canterbury radiata pine. N. Z. J. For. 14(1): 38-49.
- Colin, F. & Houllier, F. 1991. Branchiness of Norway spruce in north-eastern France: modelling vertical trends in maximum nodal branch size. Annales des Sciences Forestières 48: 679-693.
- Colin, F. & Houllier, F. 1992. Branchiness of Norway spruce in north-eastern France: predicting the main crown characteristics from usual tree measurements. Annales des Sciences Forestières 49: 511-538.
- Constantinescu, A. 1956. Cercetari preliminare asupra formatiunii de lemn de compresiune la bradul (*Abies alba*) din paduera Chilerei – Valea Timisului (Preliminary investigations on the formation of compression wood in *Abies alba* in Chilerei forest in Timis Valley. Ind. Lemn. 5: 455-457.
- Corson, S. R. 1983. Thermomechanical and refiner mechanical pulps of New Zealand grown radiata pine. TAPPI International Mechanical Pulp Conference, Washington DC., USA: 1-13.
- Corson, S. R. 1991. Wood characteristics influence pine TMP quality. TAPPI J. 74 (11): 135-146.
- Corson, S. R. & Richardson, J. D. 1986. Chemimechanical and thermomechanical pulps of radiata pine slabwood and corewood. Part 1. Pulp properties. APPITA 39 (5): 374-378.
- Corson, S. R. & Kibblewhite, R. P. 1986. Chemimechanical and thermomechanical pulps of Radiata pine slabwood and corewood. Part 2: Characteristics of fibres and fines. APPITA 39 (5): 380-386.
- Cown, D. J. 1973. Resin pockets: their occurrence and formation in New Zealand. N. Z. J. For. 18: 233-251.
- Curran, C. E. 1936. Some Relations Between Growth Conditions, Wood Structure and Pulping Quality. Paper Trade J. 1936: 36-40.
- Dadswell, H. E. 1958. Wood Structure Variation during The Growth. J. Inst. Wood Sci. 1: 11-33.
- Dadswell, H. E. 1960. Tree growth – wood property inter – relationships. In: Proceedings of a special field institute in forest biology. Ed. T. E. Maki, School of Forestry, University of North Carolina, Raleigh, North Carolina.
- Dadswell, H. E. & Nicholls, J. W. P. 1959. Assesment of wood qualities for tree breeding. I. *Pinus elliotti* var. *Elliotti* from Queensland. Technol. Pap. Div. Forest Prod. C.S.I.R.O. Aust. 4.
- Dadswell, H. E. & Wardrop, A. B. 1959. Growing trees with wood properties desirable for paper manufacture. Appita J. 12 (7):129-136.
- Dahlblom, O., Persson, K., Ormarsson, S. & Petersson, H. 1999. Stiffness and shape stability analysis of sawn timber based on experimentally found variations of wood properties. In: Nepveu, G. (ed.). IUFRO, Third Workshop “Connection between Silviculture and Wood Quality through Modelling Approaches and Simulation Software”, France 1999. Publication France 1999: Topic 5: 363-373.
- Dalen, R. & Høibø, O. A. 1985. Sammenhengen mellom kvalitetsmålt skurtømmer og skurlastkvaliteten. Inst. for treteknologi, NLH. Hovedoppgave.

- deMommency, W. H. 1962. Chip moisture as a factor in the manufacture of mechanical pulp from chips. *Pulp and Paper Mag. Can.* 63 (10): 475-480.
- deMommency, W. H. 1964. The moisture in wood as a factor in the groundwood process. *Pulp and Paper Mag. Can.* 65 (6): 235-245.
- Dietrichon, J. 1964. Proveniensproblemet belyst ved studier av vekstrytme og klima. (The provenance problem illustrated by studies of growth – rythm and climate). *Medd. norske SkogforsVes.* 19: 499-656.
- Donaldson, L. A. 1983. Longitudinal splitting of bark: a likely cause of "type 3" resin pockets in *Pinus radiata*. *N. Z. J. For. Sci.* 13: 125-129.
- Dølven, K. R. 1998. Produksjon av emne i bjørk – Utbytte og økonomi. NLH, Ås.
- Echols, R. M. 1958. Variation in tracheid length and wood density in geographic races of Scots pine. *Bull. Sch. For. Yale Univ.* 64.
- EDG. 1994. EDG-recommendation – Assesment of drying quality of timber, European Drying Group.
- Elowson, T. & Rydell, R. 1987. System för teknisk specifikation av ämnen av sågad furu och gran. Rapport 8705031, Träteknik, Stockholm, Sverige.
- Eide, E. 1922. Om tømmerets form i Trøndelags vassdrag. *Medd. norske SkogforsVes.* 1: 29-71.
- Eikenes, B. 1991. Egenskaper hos gran (*Picea abies* (L.) Karst.) fra Vestlandet målt på trelast i hele dimensjoner. Norges landbrukshøgskole, Ås.
- Eikenes, B., Kucera, B., Fjærtøft, F., Storheim, O. N. & Vestøl, G. I. 1995. Virkeskvalitet i fleraldret skog. Rapport XXV fra forskningsprogrammet "Skogøkologi og flersidig skogbruk". Rapport fra Skogforsk, 24/95. NISK-NLH, Ås.
- EN 1611-1. 1999. Handelssortering av skurlast i Europa. Trelastindustriens Landsforening, Svenska Träutbildningsgruppen, Karlstad.
- Epstein, R., Morales, R., Serón, J. & Weintraub, A. 1999. Use of OR Systems in the Chilean Forest Industries. *Intrefaces* 29: 7-29.
- Equi, L., Gallo, G., Marziale, S. & Weintraub, A. 1997. A combined transportation and scheduling problem. *European Journal of Operational Research* 97: 94-104.
- Ericson, B. 1960. Latewood Percentage, Density and Volumetric Shrinkage in wood of *Picea abies*. *Inst. Skogsprod., Stockholm.* 2: 1-15.
- Ericson, B. 1966. Gallringens inverkan på vedens torr-råvolymvikt, höstvedhalt och kärnvedhalt hos tall och gran (Effect of thinning on basic density and content of late wood and heartwood in Scots pine and Norway spruce). *Rapp. Inst. Skogsprod., Skogshögsk.* 10: 1-116.
- Ericson, B. & Jonson, T. 1961. Preliminär rapport över björkvedsundersökningen 1958-1960. *Medd. CellulosInd. Centrallab. Ser. B Nr 44.*
- Evans, R. 1994. Rapid measurement of the transverse dimensions of tracheids in radial wood sections from *Pinus radiata*. *Holzforschung* 48(2): 168-172.
- Evans, R., Downes, G. M., Menz, D. N. J & Stringer, S. L. 1995. Rapid measurement of variation in tracheid transverse dimensions in a radiata pine tree, *Appita J.* 48 (2): 134-138.
- Evans, R., Hughes, M. & Menz, D. 1999. Microfibril angle variation by scanning x-ray diffractometry, *Appita J.* 52 (5): 363.
- Fauchon, T., Mraz, P., Chantre, G., Dahlqvist, G. & Cleuet, J.-C. 2001a. Modelling relationships between wood and fiber properties and thermo-mechanical pulp properties through a new TMP pilot unit. Part 1: Description of the method. 2001 Pulping Conference, Seattle, WA, USA, 4-7. november 2001. Session 7: 11 (TAPPI Press, Atlanta, GA, USA).

- Fauchon, T., Dahlqvist, G., Mraz, P., Cleuet, J.-C. & Chantre, G. 2001b. A new TRMP pilot unit to assess cause and effect relationships between wood and fibre properties and mechanical pulp quality. I Proceedings fra International Mechanical Pulping Conference, Helsinki 2001, Vol. 1: 133-141.
- Fellers, C. & Norman, B. 1996. Pappersteknik. Avdelningen för Pappersteknik, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm. 3. opplag.
- Fielding, J. M. 1967. The influence of silvicultural practices on wood properties. Inst. Rev. For. Res. 2: 95-126.
- Finstad, K. & Gobakken, T. 2000. Manual – Utkast. Optimal aptering (OptApt). Versjon 1.0 ALFA. Norsk institutt for skogforskning, Ås.
- Fjærtøft, F. & Kucera, B. 1994. Sorteringsreglement for tømmer og trelast av bjørk, resultat fra skurforsøk. Skogforsk Ås.
- Fjærtøft, F., Eikenes, B., Flæte, P. O. & Høibø, O. A. 1998. Osp som konstruksjonsvirke – sorteringskriterier og styrkeegenskaper. Rapport fra skogforskningen, 2/98. NISK-NLH, Ås.
- Flæte, P. O. 2000. Furukjerneved – ressurs med muligheter. Kontaktkonferansen skogbruket-skogforskningen i Møre og Romsdal og Sogn og Fjordane. Aktuelt fra skogforskningen 1/00. NISK/ NLH, Ås: 14-19.
- Flæte, P. O. & Haartveit, E. Y. 1996. Faktorer som påvirker kvaliteten hos gran (*Picea abies* (L.) Karst) med hensyn på kvist, og effekten av konkurranse mellom trær på noen kvalitetsparametre. En undersøkelse av to sjiktede bestand på Ringkollen i Ringerike kommune, Buskerud. Inst. for skogfag, NLH. Hovedoppgave.
- Fløtaker, S. , Sandland, K. M. & Tronstad, S. 1996. Tørkespenninger – kondisjonering. Bakgrunn, forsøk, metoder. Rapport 35. NTI, Oslo.
- Foslie, M. 1971. Norsk granvirkes styrkeegenskaper. 3. Styrkeegenskaper for små, feilfrie prøver. Meddelelse nr. 42, NTI, Oslo.
- Foslie, M. 1981. Sorteringsregler for skurlast, slik de ble praktisert av Østlandets Skurlastmåling, NTI, Oslo.
- Foslie, M. & Moen, K. 1968. Norsk granvirkes styrkeegenskaper. 1. Bøyestyrke, elastisitetsmodul og strekkstyrke målt på 3"x8" og 2"x4". Meddelelse nr. 33, NTI, Oslo.
- Foslie, M. & Moen, K. 1972. Norsk granvirkes styrkeegenskaper. Del 2: Bøyestyrkens og strekkstyrkens sammenheng med enkelte sorteringskriterier. Meddelelse nr. 45, NTI, Oslo.
- Fournier, M., Bordonne, P. A., Guitard, D. & Okuyama, T. 1990. Growth stress patterns in tree stems. Wood Science & Technology.
- Friberg, I. M. 2000. Kvalitetssegenskaper i fulle bruksdimensjoner av hengebjørk i relasjon til tynningsstyrke. NLH, Ås.
- Furuno, T., Saiki, H. & Harada, H. 1969. Ultrastructural feature of compression wood tracheids stressed to tensile failure. Mokuzai Gakkaishi 15: 104-108.
- Föreningen Svenska Sågverksmän (FFS). 1982. Guiding principles for grading of Swedish sawn timber. "Gröna boken".
- Föreningen Svenska Sågverksmän (FFS), Finlands sågindustrimannaförening (FS) & Treindustriens Tekniske Forening (TTF). 1994. Nordisk tre. Sorteringsregler for skurlast av furu och gran.
- Gaalaas, H. 1934. Om kvalitetsfeil i granvirke. Medd. norske SkogforsVes. 5: 493-535.
- Gaby, L. I. 1972. Warping in southern pine studs. US For. Serv. Res. Pap. SE 96.

- Gava, M. 1974. Contributii la cunoasterea factorilor care influenteaza caderea ramurilor uscate la molid. *Silvicultura si Exploatarea Padurilor* 89(1): 8-12.
- Gensci, L. 1967. Changes in wood structure in different parts of *Pinus sylvestris* stems. *For. Abstr.* 29: 535.
- Gensci, L. 1969. Variation in average values of anatomical characteristics of Scots pine wood with height in stem. *For. Abstr.* 31: 591.
- Gislerud, O. 1974. En orienterende undersøkelse over sammenhengen mellom skurlastkvalitet og avsmalning hos skurtømmer (A preliminary investigation on relation lumber quality and taper of sawtimber). *Medd. Nor. inst. skogforsk* 31(6): 242-270.
- Gjerdrum, P. 1999. Prediction of heartwood in *Pinus sylvestris*. In: Nepveu, G. (ed.). IUFRO, Third Workshop "Connection between Silviculture and Wood Quality through Modelling Approaches and Simulation Software", France 1999. Publication France 1999: Topic 3: 145.
- Gjerdrum, P. & Swärd, H. 1998. IR photographs for heartwood detection. In: Lindgren, O., Grönlund, A. & Hagman, O. (ed.). IUFRO, 3rd International Seminar/Workshop on Scanning Technology and Image Processing on Wood, Skellefteå. ISSN: 1402-1536: 1-8.
- Goggans, J. F. 1961. The interplay of environment and heredity as factors controlling wood properties in conifers with special emphasis on their effects on specific gravity. *Tech. Rep. Sch. For. N. Carol. St. Coll.* 11.
- Goggans, J. F. 1962. The correlation, variation and inheritance of wood properties in loblolly pine (*Pinus taeda* L.). *Tech. Rep. Sch. For. N. Carol. St. Coll.* 14.
- Goggans, J. F. 1965. Variation of tracheid width and wall thickness within and between trees of southern pine species. *Proc. Mgt. Sect. 41 Int. Union For. Res. Organ., Melbourne* 2.
- Green, D. W., Pellerin, R. F., Evans, J. W. & Kretschmann, D. E. 1990. Moisture Content and Tensile Strength of Douglas Fir Dimension Lumber. Research Paper FPL – RP 497, USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison.
- Grundberg, S., Grönlund, A., Oja, J. & Israelsson, M. 1999. Log models reconstructed from X-ray LogScanner signals. In: Nepveu, G. (ed.). IUFRO, Third Workshop "Connection between Silviculture and Wood Quality through Modelling Approaches and Simulation Software", France 1999. Publication France 1999: Topic 6: 394-398.
- Grönlund, A. 1992. Sågverksteknik del II. Sveriges Skogsindustrieförbund, Tekniska Högskolan i Luleå, Sverige.
- Guth, E. B. De. 1968/1969. Variation in fibre length in wood of *Pinus elliotti*. *Idia: Supl. For.* 5: 31-35.
- Göhre, K. 1955a. Einfluss vom Wuchsgebiet, Standort, Rasse und Bewirtschaftung auf die Rohwichte des Holzes. *Arch. Forstw.* 4: 414-433.
- Göhre, K. 1955b. Die Rohwichte des Douglasienholzes, ihre Verteilung im Stamm und Abhängigkeit vom Abstand vom Mark, Jahrringbreite und Spätholzanteil. *Arch. Forstw.* 4: 639-661.
- Götze, H. 1959. Vergleichende Untersuchungen über die Beziehung zwischen Baumalter und Rohwichte. *Wissensch. Zschr., Mathematische – naturwissensch. Reihe* 8(4/5): 737-751.
- Haavardtun, J. 1998. Supply Chain management in the Forest Industry, a Ecoplan case study. SINTEF Report.
- Hakkila, P. 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. *Metsät. Tutkimuslait. Julk.* 61(5).
- Hakkila, P. 1967. Dry weight of pine pulpwood in different parts of Finland. *Paperi Puu* 49: 715-717.

- Hakkila, P. 1968. Geographical variation of some properties of pine and spruce pulpwood in Finland. Comm. Inst. For. Fenn. 66.
- Hakkila, P. 1969. The Finnish pulpwood zones. Paperi Puu 51: 145-152.
- Hakkila, P. 1970. Spruce saw logs as raw material for pulp. Folia Forestalia 92.
- Hakkila, P. 1979. Wood Density Survey and Dry Weight Tables for Pine, Spruce and Birch Stems in Finland. Comm. Inst. For. Fenn. 96.3.
- Haller, B. 1935. Untersuchungen über das exzentrische Dickenwachstum der Nadelholzstämme. Mitteil. d. Forstw. Abtl. g.d. Univers. Tartu. Heft. 24: 131-153.
- Halvorsen, B., Dahm, H. P. & Mørkved, K. 1971. Råstoff-kvalitetens betydning for den industrielle produksjon. Tidsskr. Skogbr. 79: 414-430.
- Hameri, A-P. 1996. A method to avoid demand amplification in bulk paper distribution. Paperi Puu 78(3): 102-106.
- Hameri, A-P. & Nikkola, J. 1999. Demand amplification in supply chains of mills close to and far from main markets. Paperi Puu 81(6): 434-438.
- Han, W. 1995. Måling av tømmerkvalitet. Measurement of log quality. Seminar, 25-10-1994, Oslo. Rapport 24. NTI, Oslo.
- Han, W. & Toverød, H. 1994. Årringer som uttrykk for tømmerkvalitet. Rapport 23. Norsk Treteknisk Institutt.
- Handler, M. M. 1990. Et planteafstandsforsøg med gran, *Picea abies* (L.) Karst. Forsøg 626/627, Spikkestad (Spacing experiment with Norway spruce, *Picea abies* (L.) Karst. Experiment 626/627, Spikkestad). Medd. Nor. inst. skogforsk. 43(4): 1-75.
- Handler, M. M. & Jacobsen, B. 1986. Nyere danske planteafstandsforsøg med rødgran (Recent Danish spacing experiments with Norway spruce). Forst. ForsVæs. Danm. 40 (4): 362-442.
- Harris, J. M. 1965. The heritability of wood density. Proc. Mtg. Sect. 41 Int. Union For. Res. Organ., Melbourne. 2.
- Harris, J. M. 1967. Latewood, earlywood, and wood density. Proc. 14.th Congr. Int. Union For. Res. Organ., Munich, Sect. 41: 56-69.
- Hartig, R. 1884. Untersuchungen über die Veränderungen des Holzkörpers mit zunehmenden Baumalter und über den Einfluss der Jahrringbreite auf die Güte des Holzes. Bot. CentBl. 19: 377-378.
- Hartig, R. 1895. Untersuchungen des Baues und der technischen Eigenschaften des Eichenholzes. Forstl. naturw. Zschr.
- Hartig, R. 1898. Bau und Gewicht des Fichtenholzes auf bestimmten Standorte. Forstl. naturw. Zschr.
- Hartler, N. 1977. Influence of chip moisture in mechanical pulping. EUCEPA International Mechanical Pulping Conference, Helsinki, Vol I, 6: 1-6, 19.
- Harvald, C. & Olesen, P. O. 1987. The Variation of the Basic Density within the Juvenile Wood of Sitka Spruce (*Picea sitchensis*). Scand. J. For. Res. 2: 525-537.
- Harwood, V. D. 1971. Variation in carbohydrate analyses in relation to wood age in *Pinus radiata*. Holzforschung 25: 73-77.
- Hatton, J. V. & Hunt, K. 1992. Wood density and chemical properties of second-growth Lodgepole pine. 1992 TAPPI Pulping Conference, Book 3: 873-882, 1-5. nov. 1992, Boston MA, USA. (TAPPI Press, Atlanta, GA, USA).
- Hatton, J. V. & Johal, S. S. 1993. Mechanical and chemimechanical pulps from second-growth softwoods. International Mechanical Pulping Conference, Oslo: 34-43.

- Haugberg, A. 1927. Kvalitetsproblemet. Tidsskr. Skogbr. 35: 122-136, 191-207.
- Haugen, J. V. 1996. Sammenhengen mellom skurtømmerkvalitet og trelastkvalitet. Inst. for tekniske fag, NLH. Hovedoppgave.
- Haygreen, J. G. & Bowyer, J. L. 1989. Forest products and wood science, an introduction. 2. opplag, Iowa State University Press, USA.
- Heikinheimo, O. 1953. Puun rungon luontaisesta karsiutumisesta (Summary: Natural pruning of trees). Metsä. Aikakaust. No. 12: 397-399.
- Heikkurinen, A. 1992. Puun mekaanisessa kuidutuksessa muodostuvien hienojen, sen vaikutus massaarkin ominaisuuksiin ja johtopäätökset kuituuntumismekanismeista. Osa 1. Literature review, PSC Communications 40, KCL.
- Heiskanen, V. 1955. Voutiluston paksuuden ja sahatukin välisestä riippuvuudesta (On the interdependence of annual ring width and sawlog quality). Comm. Inst. For. Fenn.44(5): 1-31.
- Heiskanen, V. 1966. Puiden paksuuden ja nuoruuden kehityksen sekä oksaisuuden ja sahapuulaadun välisistä suhteista männiköissä (On the relations between the development of the early age and thickness of trees and their branchiness in pine stands). Acta For. Fenn. 80(2): 1-62.
- Hellberg, L. 1997. Träindustriprojekt för utveckling av nya våtlimmade byggkomponenter. Nordic Wood, Projekt P 95432. TräteknikByrå AB.
- Helstad, K. 2000. Skiftformer för framtidens råvaruförsörjning – flexibilitet, kostnader och arbetsmiljö (Shift schedules for future wood supply – production flexibility, harvesting costs and work environment). SLU, Studentuppsatser nr. 46.
- Hempel, H. 1932. Vergleichende Untersuchungen von hochnordischer mit deutscher Kiefer. Mitt. d. Fachausschusses f. Holzfragen.
- Hergert, H. L. et al. (1982) The relationship between wood structure and chemical properties of wood pulp from southern pine. TAPPI 1982 Research and Development Division Conference, 29. aug.-1.sept., Asheville, NC., USA, Paper 1-6: 43-50 (TAPPI Press, Atlanta, GA, USA).
- Heräjärvi, H., Boren, H., Pietilä, J. & Stöd, R. 2000. Properties and potential of Scots pine and Norway spruce harvested in first commercial thinnings for manufacture of round timber and saw milling. In: IUFRO, Third Workshop on Measuring of Wood Properties, Grades and Qualities in the Conversion Chains and Global Wood Chain Optimisation. Proceedings. June 2000, VTT Building Technology, Finland. Session Supply Chain: 103-122.
- Hirai, S. 1949. Studies on the variation in density of woods in the green stem of Japanese-larch. Res. Bull. Coll.Exp. For., Hokkaido Univ. 14(2): 124-154.
- Hoel, H. & Aarsand, R. 1994. Acute toxicity of particulate, colloidal and dissolved extractives in TMP-effluents. International Symposium of Wood and Pulping Chemistry, Beijing, Kina: 136-142.
- Holmsgaard, E. & Jakobsen, B. 1970. Barktykkelse og barkprocenter for løv- og nåletræer. Forst. ForsVæs. Danm. 32: 265-294.
- Holmstad, T. E. & Husum, T. 1997. Registrering av friskkvistsylinder på stående gran (*Picea abies* (L.) Karst) som utgangspunkt for kvalitetsprognose. Inst. for skogfag, NLH. Hovedoppgave.
- Howe, J. P. 1968. Influence of irrigation on ponderosa pine. Forest Prod. J. 18: 84-93.
- Howe, J. P. 1970. Effect of irrigation on wood formed at various heights in ponderosa pine. Wood Sci. 3: 126-128.
- Hudson, W. N. 1967. The strength properties of european redwood (*Pinus sylvestris*) and whitewood (*Picea abies*). Spec Rep. Forest Prod. Res. D.S.I.R. 24.

- Hägg, A. 1989. Björkens inverkan på tallens kvalitetsdaning. Skogsfakta – Teknik och virke 27/89.
- Høibø, O. A. 1991a. Virkeskvalitet til gran (*Picea abies* (L.) Karst.) plantet med forskjellig avstand (The quality of wood of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) planted with different spacing). Inst. for skogfag, NLH. Stensiltrykk (Unpubl.).
- Høibø, O. A. 1991b. Sammenhengen mellom tømmerkvalitet og planteavstand hos gran (*Picea abies* (L.) Karst.) (The relationship between timber quality and spacing of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.)). Inst. for skogfag, NLH. Stensiltrykk (Unpubl.).
- Høibø, O. A. 1991c. Sammenhengen mellom objektivt målbare egenskaper på skurlast og planteavstand hos gran (*Picea abies* (L.) Karst.) (The relationship between measurable properties on sawn wood and spacing of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.)). Inst. for skogfag, NLH. Stensiltrykk (Unpubl.).
- Høibø, O. A. 1991d. Sammenhengen mellom skurlastkvalitet og planteavstand hos gran (*Picea abies* (L.) Karst.) (The relationship between sawn wood quality and spacing of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.)). Inst. for skogfag, NLH. Stensiltrykk (Unpubl.).
- Høibø, O. A. 1998. Skogbehandling og virkeskvalitet. Institutt for skogfag, NLH. Foredragsnotat.
- Høibø, O. A. & Eikenes, B. 1991. Egenskaper hos granvirke (*Picea abies* (L.) Karst.) plantet med stort forband (Properties of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) planted with wide spacing). Inst. for skogfag, NLH. Stensiltrykk (Unpubl.).
- Høibø, O. A. & Vestøl, G. I. 2000. A method for characterization and selection of wood suitable for window manufacturing. In: IUFRO, Third Workshop on Measuring of Wood Properties, Grades and Qualities in the Conversion Chains and Global Wood Chain Optimisation. Proceedings. June 2000, VTT Building Technology, Finland. Session Wood: 193-201.
- Høibø, O. A., Vestøl, G. & Øyen, O. 1999. Modelling sound knot length in Scots pine. In: Nepveu, G. (ed.). IUFRO, Third Workshop "Connection between Silviculture and Wood Quality through Modelling Approaches and Simulation Software", France 1999. Publication France 1999: Topic 1: 35-41.
- Høibø, O. A., Vestøl, G. I., Sundby, H. J. & Molteberg, D. E. 1997. Modelling knottiness and knot characteristics of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst): The influence of diameter and height growth on knot characteristics. In: Nepveu, G. (ed.). IUFRO, Second Workshop "Connection between Silviculture and Wood Quality through Modelling Approaches and Simulation Softwares", South Africa 1996. Publication France 1997. Topic 1: 45-48.
- Ifju, G. & Labosky, P., Jr. 1972. A study of loblolly pine growth increments. Part I. Wood and tracheid characteristics. Tappi 55: 534-529.
- Imponen, V. & Lampén, S. 1995. Förbättrad styrning av virkesförsörjningen (Puunkhankinnan ohjattavuunden parantaminen). Sluttrapport från ett av Nordiska Skogstekniska Rådet genomfört forskningsprojekt 1991-1993. Metsäteho, Helsinki.
- INSTA 142. 1997. Nordiske regler for sortering av trelast til konstruksjonsformål. Inst. for treteknologi, u.å. Uregelmessigheter og feil hos trevirket. Inst. for treteknologi, NLH. Stensiltrykk.
- Jalva, M. 1945. Strength properties of Finish pine, spruce, birch and aspen. Comm. Inst. For. Fenn. 33.
- Jang, H. F., Weigel, G., Seth, R. S. & Wu, C. B. 2001. The effect of fibril angle on the transverse collapse of papermaking fibres. I Proceedings fra International Mechanical Pulping Conference, Helsinki 2001, vol. 1: 27-33.
- Janka, G. 1904. Untersuchungen über die Elasticität und Festigkeit der Österreichischen Bauhölzer. II. Fichte von Nordtirol, vom Wienerwalde und Erzgebirge. Mitteil. a. d. forstl. Versuchswes. Österreichs. Hft. 28.

- Janka, G. 1909. Untersuchungen über die Elasticität und Festigkeit der Österreichischen Bauhölzer. III. Fichte aus den Karpaten, aus dem Böhmerwalde, Ternovanerwalde und den Zentralalpen. Technische Qualität des Fichtenholzes im Allgemeinen. Mitteil. a. d. forstl. Versuchswes. Österreichs. Hft. 35: 1-127.
- Johansson, D. 1933. Något om vedmateriallets inverkan på massakvaliteten vid sulfitkokning. Sv. PappTidn. nr. 4: 137-155.
- Johansson, D. 1939. Något om vår- och höstved hos tall och gran och dess inverkan på sulfit- och sulfatmassans egenskaper. Papperi Puu. 21 (7a): 54-72.
- Johansson, G., Kliger, R. & Perstorper, M. 1990. Kvalitetskrav på byggnadsvirke. Publ. S 90:1, Chalmers Tekniska Högskola, Sverige.
- Johansson, M. & Kliger, R. 2000. An assessment of spiral grain on logs predicts twist in dried timber. In: IUFRO, Third Workshop on Measuring of Wood Properties, Grades and Qualities in the Conversion Chains and Global Wood Chain Optimisation. Proceedings. June 2000, VTT Building Technology, Finland. Session Wood: 205-214.
- Johansson, G., Kliger, R. & Perstorper, M. 1990. Kvalitetskrav på byggnadsvirke. Byggeforskningsrådet, Stockholm. Rapp. R 105: 1990.
- Johansson, G., Kliger, R. & Perstorper, M. 1993. Inköpsregler för byggnadsvirke. R20: 1993, Byggeforskningsrådet, Chalmers Tekniska Högskola, Sverige.
- Johnstone, W. D. 1970. Some variations in specific gravity and moisture content of 100-years old lodgepole pine trees. Inform. Rep. For. Res. Lab., Calgary A-X-29.
- Kellomäki, S., Ikonen, V.P., Peltola, H. & Kolström, T. 1999. Modelling the structural growth of Scots pine with implications for wood quality. In: IUFRO, Workshop on Canopy Dynamics and Forest Management - A missing link?.
- Kellomäki, S., Peltola, H. & Ikonen, V. P. 1999. Modelling the structural growth and timber quality of Scots pine related to silvicultural management. In: Nepveu, G. (ed). IUFRO, Third Workshop "Connection between Silviculture and Wood Quality through Modelling Approaches and Simulation Software", France 1999. Publication France 1999: Topic 8: 565-570.
- Kennedy, R. W. 1966. Intra-increment variation and heritability of specific gravity, parallel-to-grain tensile strength, stiffness and tracheid length in clonal Norway spruce. Tappi 49: 292-296.
- Kibblewhite, R. P. 1973. N.Z. J. Forestry Sci. 3 (2): 220.
- Kihlblom, P. & Sondell, J. 1994. Prov med två simuleringsverktyg för aptering. Resultat Nr 16 1994. Skogforsk, Sverige.
- Kilde, V. 1999. Oppgradering av ikke-bærende trelast ved bruk av fingerskjøting. Inst. for skogfag, NLH. Hovedoppgave.
- Kilde, V. 2001. Bjørk i limtre. NTI, Oslo.
- King, J. P. 1968. Seed source variation in tracheid length and specific gravity of five-year old jack pine seedlings. Res. Pap. NC. Forest Exp. Stn. NC-23: 5-9.
- Kinnman, G. 1923. Kvalitetsfordringar på pappersved och skogsvårdsåtgärdernas avpassande därefter. Undersökningar över pappersvedens tekniska egenskaper III. Sv. SkogsvFör. Tidskr. 21: 201-225.
- Kinnman, G. 1932. Bidrag till kännedomen om sulfitvedens kvalitet. Sv. ForstMästFörb. Medl.bl. 19(4): 25-42.
- Klem, G. G. 1929a. En oversikt over granvirkets kvalitet. Bilag til Tidsskr. Skogbr. 37(9): 1-96.
- Klem, G. G. 1929b. Om undersøkelser over grantømmerets kvalitet (vedinnhold) og et forslag til kvalitetsbedømmelsen av tømmer. Sliperiforsøk. Medd. PapInd. ForskKom. nr. 5: 22-50.

- Klem, G. G. 1930. Kvalitetsundersøkelser i granskog og på grantømmer. Medd. norske SkogforsVes. 3: 397-452.
- Klem, G. G. 1931. En oversikt over trefiberens finere anatomi. Papirjour. 19: 71-145.
- Klem, G. G. 1933. Hvilke lett synlige egenskaper er det hos grantømmer som betinger dets verdi for papirindustrien? Bør de nugjeldende måleregler i støpeskjeen for også å gi plass for kvalitetsmerking? Skogbrukeren 8: 7-11, 17-20.
- Klem, G. G. 1934. Undersøkelser av granvirkets kvalitet (Untersuchung über die Qualität des Fichtenholzes). Medd. norske SkogforsVes. 5: 197-348.
- Klem, G. G. 1944. Planteavstandens innflytelse på granvedens og sulfitcellulosens kvalitet. Medd. norske SkogforsVes. 8: 257-293.
- Klem, G. G. 1952. Planteavstandens virkning på granvirkets kvalitet (The Influence of Spacing on Spruce Quality). Medd. norske SkogforsVes. 11: 473-506.
- Klem, G. G. 1957. Kvalitetsundersøkelser av norsk og tysk gran (The quality of Norway spruce (*Picea abies*) of Norwegian and German origin). Medd. norske SkogforsVes. 14: 285-314.
- Klem, G. G., Løschbrandt, F. & Bade, O. 1945. Undersøkelser av granvirke i forbindelse med slipe- og sulfitkokeforsøk. Medd. norske SkogforsVes. 9: 1-127.
- Klem, G. S. 1965a. Tørrvolumvektsvariasjoner hos vanlig gran (*Picea abies* (L.) Karst.) i Norge. Norsk Skogind. 9: 348-351.
- Klem, G. S. 1965b. En sammenlikning av tørrvolumvekt og ekstraktinnhold hos furuartene *Pinus nigra*, var. *Austrica* og *Pinus sylvestris* vokst i Danmark. Dansk Skovforen. Tidsskr. 50: 434-441.
- Klem, G. S. 1974. Egenskaper til trevirke fra gjødslet gran- og furuskog. NTI, Oslo. Medd. No. 51.
- Knigge, W. 1962. Untersuchungen über die Abhängigkeit der mittleren Rohdichte nordamerikanischer Douglasienstämme unterschiedlichen Wuchsbedingungen. Holz Roh- u. Werkstoff 20: 352-360.
- Knudsen, M. V. 1956. A Comparative Study of Some Technological Properties of Norway Spruce in a Provenance Test. IUFRO, Sekt. 41, 12. Congress Oxford.
- Kollmann, F. 1951. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Springer Verlag, Erster Band.
- Kollman, F. & Côté, A. 1968. Principles of Wood Science and Technology. Springer Verlag, Berlin. Vol. 1.
- Kramer, H. & Spellmann, H. 1980. Beiträge zur Bestandesbegründung der Fichte. Schriften Forstl. Fak. Univ. Gött. u. d. Nieders. Forstl. Vers.anst. 64.
- Kubler, H. 1987. Growth Stresses in Trees and Related wood Properties. For. Abstr. 48: 132-189.
- Kucera, B. 1980. Fysiske og anatomiske egenskaper hos lavlandsbjørk. Rapp. NLVF 343/80.
- Kucera, B. 1983. Kvalitetskrav til Skurlast av lauvtre. Rapport 7. NTI, Oslo.
- Kucera, B. 1984. Bjørkevirkets mekaniske, teknologiske og fysiske egenskaper. Landbruksvitenskaplig Forskningsråd, Oslo. Sluttrapport nr. 500.
- Kucera, B. 1989. Anatomiske og fysiske egenskaper hos granvirke (*Picea abies* L. Karst) fra Spikkestad. Aktuelt fra NISK 1/89: 13-20.
- Kucera, B. 1991. Trevirkets anatomi og ungdomsveden. NSIT seminar – virkesegenskaper og produktkvalitet. Stensiltrykk.

- Kucera, B. 1992. Skandinaviske normer for testing av små feilfrie prøver av heltre. Skogforsk, Ås.
- Kucera, B. & Næss, R. 1999. Tre, Naturens vakreste råstoff. Landbruksforlaget, Oslo.
- Kurdin, J. A. 1979. Can energy costs for TMP and RMP be reduced? Paper Trade Journal 163 (11): 23-27.
- Kyrkjeeide, P. A & Thörnqvist, T. 1993. Tryckved – En litteraturstudie med reflexioner (Compression wood – A literature review with comments). Rapp. SIMS, SLU 35.
- Kärkkäinen, M. 1986. Model of knottiness of wood material in pine, spruce and birch. Silva Fennica. Vol. 20 (2): 107-116.
- Kärkkäinen, M. 1987. Vad kan skogsskötaren göra för at få bättre kvalitetsvirke? Sv. SkogsvFörb. Tidskr. 85(1): 27-32.
- Kärkkäinen, M. & Marcus, M. 1985. Shrinkage Properties of Norway Spruce Wood. Silva Fenn. 19: 67-72.
- König, E. 1958. Fehler des Holzes. Holz-ZentBl. Verlags-GMBH, Stuttgart.
- Larson, P. R. 1957. Effect of environment on the percentage of summerwood and specific gravity of slash pine. Bull. Sch. For. Yale Univ. 63.
- Larson, P. R. 1964. Some indirect effects of environment on wood formation. In: The formation of wood in forest trees. Ed. By M. H. Zimmermann. Academic Press. New York: 345-365.
- Larson, P. R. 1967. Silvicultural control of the characteristics of wood used for furnish. In: Proceedings of the 4th Forest Biology Conf. Of Tappi, Pointe Claire, Quebec: 143-151.
- Larson, P. R. 1969. Wood formation and the concept of wood quality. Bull. Sch. For. Yale Univ. 74.
- Lassen, L. E. 1968. Effect of summer precipitation and elevation on the wood characteristics of coast Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). Diss. Abstr. 28 B (1): 4842.
- Lassila, I. 1930. Metsätyypin vaikuttuksesta puun painoon (Summary: On Influence of Forest Type on Weight of Wood). Acta For. Fenn. 36.
- Lassila, I. 1933. Om pappersvedens egenskaper. Forstl. Tidsskr. 50: 16-18.
- Leask, R. A. 1987. Pulp quality. I Leask, R.A. og Kocurek, M.J. (red.) Mechanical Pulping 2. 3rd edition. TAPPI/CPA, Montreal: 138-194.
- Leban, J. M. & Duchanois, G. 1990. Simqua: un logiciel de simulation de la qualité de bois. Annales des Sciences Forestières. Vol. 47, Nr. 5 1990: 483-494.
- Lehmann, R., Schunnesson, C. & Strömberg, L. 1984. Enkel bedömning av sågtimmerkvalitet genom studium av sambandet mellan årsringsbredd/kvistgrovlek. Seminariearbete i virkeslära, Umeå.
- Lehtonen, J.-M. 1999. Supply Chain Development in Process Industry. Acta Polytechnica Scandinavia, Industrial Management and Business Administration Series, No. 4. Espo 1999.
- Leinert, S. 1962. Die Bedeutung der Rohwichte für die Beurteilung des Zuwaches bei Fichte – dargestellt an Fichten verschiedener Höhenlage im Raum Freiburg. Forstwiss. CentBl. 81: 297-314.
- Liepins, R. 1933. Die technischen Eigenschaften der Birke Lettlands (Lativialaisen koivun teknilliset ominaisuudet). Commentationes Forestales 6.
- Lier, B. & Foslie, M. 1971. Sammenhengen mellom det nye kvalitetsreglement for skurtømmer og skurlastkvaliteten. Skurlastens avhengighet av dimensjon. Norsk Treteknisk Institutt. Intern rapport.

- Lind, P. 1993. Liming av uhøvlede bakbord. Rapport 526013. NTI, Oslo.
- Lindeberg, J., Bergsten, U., Claesson, K., Sahlén, K. & Egnell, G. 1999. Silviculture and wood quality in boreal Scots pine: Can we exploit the within-tree and between-tree variation in wood quality? In: Nepveu, G. (ed.). IUFRO, Third Workshop "Connection between Silviculture and Wood Quality through Modelling Approaches and Simulation Software", France 1999: Publication France 1999. Topic 4: 253-258.
- Lindström, H. 1999. Intra-tree models of basic density in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) as an input to simulation software. In: Nepveu, G. (ed.). IUFRO, Third Workshop "Connection between Silviculture and Wood Quality through Modelling Approaches and Simulation Software", France 1999. Publication France 1999: Topic 3: 168-176.
- Low, A. 1964. A study of compression wood in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Forestry* 37: 179-201.
- Lundberg, G. 1928. Torrvolumvikten hos tall- och granved. Några bidrag till kännedomen om dess variation (Das Trockenvolumgewicht bei Kiefern- und Fichtenholz. Beiträge zur Kenntnis seiner Variation). *Sv. SkogsvFör. Tidskr.* 26: 564-588.
- Lundqvist, S.-O. 2001. Application of SilviScan for Optimal Utilization of Forests in Sweden. Presentasjon ved Marcus Wallenbergs Price Seminar, Stockholm, 2. oktober 2001.
- Lundqvist, S.-O., Ekenstedt, F., Grahn, T., Hedenberg, Ö., Olsson, L., Arlinger, J., Wilhelmsson, L. & Evans, R. 2001. Variability in fiber properties of Norway Spruce of importance for mechanical pulping. I Proceedings fra International Mechanical Pulping Conference, Helsinki 2001, vol. 2B: 9-18.
- Løge, K. 1988. Stammeform – skurkvalitet. En undersøkelse over sammenhengen mellom ytre form og skurlastens kvalitet. Arbeidsrapport. Norsk Treteknisk Institutt.
- Lönner, G. 1996. A model system for optimizing the industrial output from trees. In: Nepveu, G. (ed.). IUFRO, First Workshop "Connection between Silviculture and Wood Quality through Modelling Approaches and Simulation Software", Sweden 1994: Publication France 1996: 58-62.
- Madsen, T. L. , Moltesen, P. & Olesen, P. O. 1978. Tyndingsstyrkens indflydelse på rødgranens rumtæthed, grenrykkelse og grenmængde. *Forst. ForsVæs. Danm.* 36: 181-203.
- Madsen, T. L. , Moltesen, P. & Olesen, P. O. 1985. Gødskningens indflydelse på rødgranens rumtæthed og tørstofproduktion. *Forst. ForsVæs. Danm.* 40: 141-171.
- Maguire, D. A. & Hann, D. W. 1987. A stem dissection technique for dating branch mortality and reconstruction past crown recession. *Forest Science*. Vol. 33, Nr. 4 1987:858-871.
- Markström, D. C. & Yerkes, V. P. 1972. Specific gravity variation with heighth in Black Hill ponderosa pine. *Res. Not. Rocky Mount. For. Rang. Exp. Stn.* RM-213.
- Markwardt, L. J. & Wilson, T. R. C. 1935. Strength and related properties of wood grown in the United States. *U.S. Dept. Agric. Techn. Bull.* No. 479.
- Martin, H. 1901. Kritische Vergleichung der wichtigsten forsttechnischen und forstpolitischen Massnahmen deutscher und ausserdeutscher Forstverwaltung. *Zschr. f. Forst- u. Jagdwesen.* 33: 511-588.
- Mayer-Wegelin, H. 1952. *Das Aufasten der Waldbäume.* 3. Auflage. Verlag M & H Schaper, Hannover.
- McKinnell, F. H. & Shepherd, K. 1971. The effect of moisture availability on density variation within annual ring of radiata pine. *J. Inst. Wood Sci.* 5: 25-29.
- McMillin, C. W. 1968. Gross wood characteristics affecting properties of handsheets made from loblolly pine refiner groundwood. *TAPPI J.* 51 (1): 51-56.

- Megraw, R. A. & Nearn, W. T. 1972. Detailed DBH density profiles of several trees from Douglas fir fertilizer/thinning plots. In: Proceedings of the Symposium on the Effect of Growth Acceleration on the Properties of wood. USDA For. Serv. Res. Pap. FPL, Madison, Wis.
- Meier, H. 1964. On the chemistry of reaction wood. "Chemistry and biochemistry of lignin", Symposium, Grenoble: 405.
- Melyan, B. A. 1968. Cause of high longitudinal shrinkage in wood. Forest Prod. J. 18 (4): 75-78.
- Mengkrog, Ø. 1985. Furu (*Pinus sylvestris* L.). Geografisk variasjon i vedegenskaper hos masse ved fra Østlandet. Inst. for treteknologi, NLH. Stensiltrykk.
- Merforth, C. 2000. Influence of Raw Material Parameters on Twist of Kiln Dried Battens of Norway Spruce. In: IUFRO, Third Workshop on Measuring of Wood Properties, Grades and Qualities in the Conversion Chains and Global Wood Chain Optimisation. Proceedings. June 2000, VTT Building Technology, Finland. Session Wood: 217-227.
- Mimms, A., Kocurek, M. J., Pyatte, J. A. & Wright, E. E. (red.) 1993. Kraft pulping. A compilation of notes. TAPPI Press, Atlanta, GA., USA.
- Mischler, V. 2000. WOOD: better knowledge – better use! In: IUFRO, Third Workshop on Measuring of Wood Properties, Grades and Qualities in the Conversion Chains and Global Wood Chain Optimisation. Proceedings. June 2000, VTT Building Technology, Finland. Session Supply Chain: 23-28.
- Mitchell, H. L. 1964. Patterns of variation in specific gravity of southern pine and other coniferous trees. Tappi 47: 276-283.
- Moberg, L. 1999. Models of knot properties for Norway Spruce and Scots Pine. Doctoral thesis. Department of Forest Management and Products. Swedish University of agricultural Sciences. Uppsala, Sverige 1999.
- Mohlin, U-B. & Alfredsson, C. 1990. Fibre deformation and its implications in pulp characterization. 24. EUCEPA Conference 1990: Pulp Technology Energy, Stockholm: 207-221.
- Molteberg, D. E. & Sundby, H. J. 1994. Modelling av kvalitetsutvikling hos gran (*Picea abies* (L.) Karst). Inst. for tekniske fag, NLH. Hovedoppgave.
- Molteberg, D. 2001. Norwegian industrial experiences with a system for selecting wood for pulp production. Seminar COST E10 "Wood properties for industrial use", Hurdal, 20-23. oktober 2001.
- Moltesen, P. 1986. Tørrsvind i rødgran. Træ og Industri 13: 8-12.
- Moltesen, P. 1988. Skovtræernes ved og dets anvendelse. Skovteknisk Institut, København.
- Münch, E. 1937. Entstehungsursachen und Wirkung des Druck- und Zugholzes der Bäume. Forstl. Wochenschr. Silva 25: 337-341, 345-350.
- Müller, M. 1984. Sammenhengen mellom kvalitetsmålt skurtømmer og trelastkvaliteten. Arbeidsrapport. Norsk Treteknisk Institutt.
- Müller, M. & Haugen, J. V. 2002. Kundeorientert sortering av trelast. Rapport 50. NTI, Oslo.
- Myhra, H. H., Holøs, S. B. & Gobakken, L. R. 1997. Egenskaper hos soppfarget trevirke. Rapport 36. NTI, Oslo.
- Myhra, H. H. & Kucera B. 1997. Egenskaper hos de viktigste norske lauvtrær. Rapport 33. NTI, Oslo.
- Mäkelä, A. & Usenius, A. 2000. Impact of thinning strategy on yield and quality distribution of Scots pine stems – projections of the PipeQual growth model and the WoodCim conversion system. In: IUFRO, Third Workshop on Measuring of Wood Properties, Grades and Qualities in the Conversion Chains and Global Wood Chain Optimisation. Proceedings. June 2000, VTT Building Technology, Finland. Session Supply Chain: 29-45.

- Möller, J. J. 1998. Kvalitets- eller längdaptering? Utvecklingskonferens 1998. Skogforsk, Sverige. Redogörelse nr 5, 1998: 62-69.
- Nagoda, L. 1965. Flattrykking og eksentrisk vekst hos bjørk. Norsk Skogbr. 11(11/12): 388, 392.
- Nagoda, L. 1966. Volumvekt og vanninnhold hos bjørk (*Betula sp.*) og gråor (*Alnus incana*). Tidsskr. Skogbr. 74: 1-32.
- Nagoda, L. 1968. Målereglene straffer tennar- og strekkved. Norsk Landbruk nr. 9 1968.
- Nagoda, L. 1981. Mekaniske egenskaper hos osp (*Populus tremula* L.). Meld. Norg. Landb. Høgsk. 60(8): 1-66.
- Nagoda, L. 1985. Styrkeegenskaper hos gran (*Picea abies* (L.) Karst.) fra Nord-Norge målt på trelast i hele dimensjoner (Strength properties of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) from Northern Norway tested on timber in structural sizes). Medd. Nor. inst. skogforsk. 38(17): 1-31.
- Necesaný, V. & Oberlänarová, A. 1967. The analysis of causes of different formation of reaction wood in gymnosperms and angiosperms. Drev. Vysk. 12: 61-71.
- Nergaard, K. T. 1928. Undersøkelser over variationer i massevedens fysiske egenskaper. Medd. PapInd. ForskKom. nr. 6: 1-25.
- NBR. 1997. Norsk Standard NS-INSTA 142. Nordiske regler for sortering av trelast til konstruksjonsformål.
- NBR. 1995. Norsk Standard NS-EN 338. Konstruksjonstrevirke – Styrkeklasser.
- NBR. 1995. Norsk Standard NS-EN 519. Konstruksjonstrevirke – Sortering – Krav til maskinelt styrkesortert trevirke og sorteringsmaskiner.
- NS-EN 519. 1995. Konstruksjonstrevirke – Sortering – Krav til maskinelt styrkesortert trevirke og sorteringsmaskiner.
- NS 3180. 1976. Generelle krav til høvellast. NBR, Oslo.
- NS 3181. 1976. Pløyningsprofiler for høvellast. NBR, Oslo.
- NS 3182. 1976. Gulvbord. NBR, Oslo.
- NS 3183. 1976. Panelbord. NBR, Oslo.
- NS 3184. 1976. Glattkant. NBR, Oslo.
- NS 3185. 1977. Underpanel. NBR, Oslo.
- NS 3186. 1977. Utvendig kledning. NBR, Oslo.
- NS 3187. 1981. Innvendig listverk av tre. NBR, Oslo.
- NS-EN 1313-2. 1999. Tømmer og skurlast. Tillatte avvik og anbefalte dimensjoner. Del 2: Skurlast av løvtre. NSF, NBR, Oslo.
- NS-EN 1315-1. 1997. Klassifisering av tømmer etter dimensjoner. Del 1 Tømmer av løvtre. NSF, NBR, Oslo.
- NS-EN 1316-1. 1997. Tømmer av løvtre. Klassifisering etter kvalitet. Del 1 Eik og bøk. NSF, NBR, Oslo.
- NS-EN 1316-2. 1997. Tømmer av løvtre. Klassifisering etter kvalitet. Del 2 Poppel. NSF, NBR, Oslo.
- NS-EN 1316-2. 1998. Tømmer av løvtre. Klassifisering etter kvalitet. Del 3 Ask og lønn. NSF, NBR, Oslo.
- NS-EN 975-1. 1996. Skurlast. Sortering etter løvtrevirkets utseende. Del 1 Eik og bøk. NSF, NBR, Oslo.

- Nylinder, P. 1951. Beräkning av höstvedhalt och medel årsringsbredd. En metodstudie (The calculation of the summer wood content and the average breadth of annual rings). Medd. St. SkogforskInst. 40(10): 1-40.
- Nylinder, P. 1953. Volymviktvariationer hos planterad gran (Variations in density of planted Norway spruce). Medd. St. SkogforskInst. 43.
- Nylinder, P. 1958. Synspunkter på produktionens kvalitet. Upps. St. SkogforskInst. 64: 1-21.
- Nylinder, P. 1959. Synspunkter på produktionens kvalitet. Statens Skogforsknings-institut, Stockholm. Uppsats 64.
- Nylinder, P. 1961a. Om träd- och vedegenskapers inverkan på råvolymvikt och flytbarhet. I. Tall (Influence of tree features of wood properties on basic density and buoyance. I. Scots pine (*Pinus silvestris*)). Upps. Inst. Virkeslära, Skogshögsk. 35: 1-35.
- Nylinder, P. 1961b. Om träd- och vedegenskapers inverkan på råvoymvikt och flytbarhet. II. Gran (Influence of tree features of wood properties on basic density and buoyance. II. Norway spruce (*Picea abies*)). Upps. Inst. Virkeslära, Skogshögsk. 36: 1-35.
- Nylinder, P. 1967. Non-destructive field sampling systems for determining the wood density of standing timber over large areas, variation within and between species, and the influence of environmental and other measurable factors on wood density. Rapp. Inst. Virkeslära, Skogshögsk. 56: 1-19.
- Nylinder, P. & Hägglund, E. 1954. Standorts- och trädegenskapers inverkan på utbyte och kvalitet vid framställning av sulfitmassa av gran (The influence of stand and tree properties on yield and quality of sulphite pulp of Swedish spruce). Medd. St. SkogforskInst. 44(11): 1-184.
- Nylinder, M., Grace, L., & Jonsson, L. 1995. Utsortering av friskkvistvirke, tall. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för virkeslära. Rapport nr. 245.
- Nördlinger, H. 1860. Die technische Eigenschaften der Hölzer. Cottascher Verlag, Stuttgart.
- Nördlinger, H. 1866. Die Ringbreite allein noch kein Maßstab für die Güte des Holzes. Kritische Blät. f. Forst- u. Jagdwissensch. 48(1): 46-61.
- Oja, J. 1997. Measuring Knots and Resin Pockets in CT-images of Norway Spruce. Licentiate thesis. Skellefteå Campus. Division of wood technology. Sverige.
- Oja, J. 1999. X-ray Measurement of Properties of Saw Logs. Doctoral thesis. Skellefteå Campus. Division of wood technology. Sverige.
- Okkonen, E. A., Wahlgren, H. E. & Magelin, R. R. 1972. Relationships of specific gravity to tree height in commercially important species. Forest Prod. J. 22: 37-42.
- Okstad, T. 1965. Barktykkelse og tørrstoffinnhold hos gran. Norsk Skogbr. 21: 693-694.
- Okstad, T. 1967. Omsetning av lauvtrevirke etter vekt. NISK, Skogtekn. avd. Stensiltrykk.
- Okstad, T. 1987. Mekaniske egenskaper hos små feilfrie prøver av sitkagranvirke (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) (The mechanical properties of small clear specimens of Sitka spruce wood (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.)). Medd. Nor. inst. skogforsk. 40(5): 1-33.
- Okstad, T. 1988. Virkesegenskaper hos massevirke av gran (*Picea abies* L.Karst.) fra Midt-Norge. Rapport Norsk Inst Skogforsk 9: 1-28.
- Okstad, T. & Kårstad, H. 1985. Mekaniske egenskaper hos små, feilfrie prøver av granvirke (*Picea abies* L. Karst.) fra Nord-Norge (The mechanical properties of spruce wood (*Picea abies* L. Karst.) in Northern Norway). Medd. Nor. inst. skogforsk. 38(18): 1-47.
- Okuyama, T., Kawai, A., Kikata, Y. & Yamamoto, H. 1986. The growth Stresses in Reaction Wood. Proceedings 18th IUFRO World Congress in Yugoslavia 7.-21. September 1986. Div. 5, Forest Products: 249-260.

- Oldertrøen, A. 1999. Målbare kvalitetskriterier på tømmer og trelastkvalitet. Forestia FoU-rapport nr. 8-99.
- Olesen, P. O. 1976. The interrelation between Density and Ring Width of Norway Spruce. Forst. ForsVæs. Danm. 24: 339-360.
- Olesen, P. O. 1977. The variation of the Basic Density Level and Tracheid Width within the Juvenile and Mature wood of Norway Spruce. For. Tree Impr. Arbor. Hørsholm. 12: 1-21.
- Olesen, P. O. 1982. The Effect of Cyclophysis on Tracheid Width and Basic Density in Norway Spruce. For. Tree Impr. Arbor. Hørsholm. 15: 1-80.
- Olinmaa, P. J. 1959. Reaktiipuututkmuksia (Study on reaction wood). Acta For. Fenn. 72.1: 1-54.
- Olsson, F. 2000. Supply Chain Management in the Construction Industry – Opportunity or utopia? Department of Design Sciences, Logistics. Lund University, Sweden.
- Olsson, A-M., Ottestam, C. & Salmén, L. 2001. The ideal fibre for mechanical pulps. I Proceedings fra International Mechanical Pulping Conference, Helsinki 2001, vol. 1: 45-50.
- Omeis, E. 1895. Untersuchung des Wachstumsganges und der Holzbeschaffenheit eines 110 jährigen Kiefernbestandes. Forstl. naturw. Zschr. Hft. 4: 137.
- Oswald, P. 1998. Utvidet kvalitetssortering av furu skurtømmer ved bruk av data fra måleramme. Forestia FoU-rapport nr. 5-98.
- Page, D. H., Seth, R. S., Jordan, B. D. & Barbe, M. C. 1985. Curl, kinks and microcompressions in pulp fibres – their origin, measurement and significance. 8th Fundamental Research Symposium "Papermaking raw materials", Mech. Eng. Publ. Ltd, London.
- Palander, T. 1997. A Local DLP – GIS – LP System for Geographically Decentralized Wood Procurement Planning and Decision Making. Silva Fenn 31(2): 172-192.
- Parham, R. A. 1983. Structure, chemistry and physical properties of woody raw materials. I Kozurek, M. J. & Stevens, C. F. B. (red.) Pulp and paper manufacture 1, 3. utgave, TAPPI/CPPIA, Montreal: 1-89.
- Park, J. C. & Parker, C. E. 1982. Predicting value losses due to resin pockets in timber from pruned radiata pine. N. Z. For. Serv., FRI Bull. no. 51.
- Paterson, A. 1938. The occlusion of pruning wounds in Norway Spruce (*Picea excelsa*). Ann. Bot. N. S. 2(7): 681-698.
- Paul, B. H. 1938. When to prune Southern Pine. Sth. Lumberm.
- Paul, B. H. 1950. Wood Quality in Relation to Site Quality of Second-Growth Douglas Fir. J. For. 48: 175-179.
- Paul, B. H. 1957. Juvenile Wood in Conifers. U.S. For. Prod. Lab. Rep. No. 2094.
- Paul, B. H. 1963. The application of silviculture in controlling the specific gravity of wood. Tech. Bull. U. S. Dept. Agr. No. 1288.
- Pearson, A. J. 1983. Towards a unified theory of mechanical pulping and refining. TAPPI International Mechanical Pulping Conference, Washington DC, USA: 131-138.
- Pearson, R. G. & Gilmore, R. 1971. Characterization og the strength of juvenile wood of loblolly pine (*Pinus taeda* L.). Forest Prod. J. 21: 23-31.
- Pechmann, H. V. 1958. Die Auswirkung der Wuchsgeschwindigkeit auf die Holzstruktur und die Holzeigenschaften einiger Baumarten. Schweiz Z. Forstwes. 109: 615-647.
- Pechmann, H. V. & Lippemeier, P. 1975. Untersuchungen über die Schnittholzqualität von Tannen- und Fichtenholz aus Plenterbeständen. Forstwiss. CentBl. 94: 351-364.

- Pechmann, H. V. & Schaile, O. 1955. Untersuchungen über die Holzeigenschaften japanischer Lärchen von bayerischen Anbauorten. Forstwiss. CentBl. 74: 87-113.
- Peel, J. D. 1999. Paper Science and Paper Manufacture, Angus Wilde Publications, Vancouver B.C., Canada.
- Pensar, G. 1968. Distribution and composition of extractives in wood. I. Ether extractives of earlywood and latewood in spruce (*Picea abies*). Trans. Commonw. Sci. Industr. Res. Organ. Aust. 9110.
- Perem, E. 1960. The effect of compression wood on the mechanical properties of white spruce and red pine. For. Prod. Lab. Can. Tech. Note 13.
- Persson, A. 1976. Förbandets inverkan på tallens sågtimmerkvalitet (The influence of spacing on the quality of sawn timber from Scots pine). Rapp. upps. Inst. Skogshögsk., Skogshögsk. 42.
- Persson, A. 1977. Kvalitetsutveckling inom yngre förbandsförsök med tall (Quality development in young spacing trial with Scots pine). Rapp. Upps. Inst. Skogshögsk., Skogshögsk.45.
- Persson, A. 1985. Beståndsanläggningens inverkan på kvaliteten. Skogsfakta 6/85: 27-32.
- Perstorper, M. 1994. Quality of structural timber – end-user requirements and performance control. Chalmers Tekniska Högskola, Sverige.
- Peterson, H. 1991. En orienterande studie om kådlåpor med speciell hänsyn till gran. Examensarb. Inst. f. Virkeslära, SLU. Stensiltryck.
- Peterson, O. & Winqvist, T. 1960. Vekt- och Fuktighetsvariationer hos björk under olika årstider. Rapp. Inst. Virkeslära, Skogshögsk. 28.
- Petersson, H. 1998. Functions for Predicting the Quality of Standing Timber in Scots Pine. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences Department of Forest Resource Management and Geomatics, Umeå.
- Philips, E. W. 1966. The use of beta-particle radiation methods in timber research. News Bull. Int. Ass. Wood Anat. 2: 17-28.
- Pilz. 1907. Einiges über die Verkernung der Kiefer. Allg. Forst- und Jagd- Zeitung 83: 265-272.
- Polge, H. 1967. Proposals for better use of curves of wood density variation. Proc. 14.th Congr. Int. Union For. Res. Organ., Munich, Sect. 41: 286-299.
- Polge, H & Illy, F. 1967. The "anisotropy" variations of wood properties with compass direction of *Pinus pinaster* in Landes. Ann. Sci. Forest. 24: 205-231.
- Polge, H. & Keller, R. 1968. Influence of water supply on the internal structure of rings: an irrigation experiment of *Pinus sylvestris*. Ann. Sci. For. 25: 123-133.
- Posey, C. E. & Robinson, D. W. 1969. Extractives of shorleaf pine: an anlysis of contributing factors and relationships. Tappi 52: 110-115.
- Pulkki, R. 2001. Role of supply chain management in the wise use of wood resources. South. Afr. For. J. No. 191: 89-95.
- Pumalainen, J. 1996. Optimal cross-cutting and sensitivity analysis for various log dimension constrains by using dynamic programming approach. Scandinavian Journal of Forest Research. Vol. 13, Nr.1 1998: 74-82.
- Reck, S. 1969. Controlling growth rate and wood density within conifer species by means of genetical selection and intensive culture. 2nd FAO / IUFRO World Consult. For Tree Breed, Washington FO – FTB – 69 12/2.
- Reme, P. A., Johnsen, P. O. & Helle, T. 1998. Fibre characteristics of some mechanical pulp grades. Nordic Pulp and Paper Res. J., 13 (4): 263-268.

- Reme, P. A., Johnsen, P. O. & Helle, T. 1999. Changes induced in early- and latewood fibres by mechanical pulp refining. *Nordic Pulp and Paper Res. J.*, 14 (3): 260-266.
- Rendle, B. J. 1959. Fast-grown coniferous timber – some anatomical considerations. *Quart. J. For.* 53: 116-122.
- Rendle, B. J. & Phillips, E. W. J. 1958. The effect of rate of growth (ring-width) on the density of Softwoods. *Forestry* 31(2): 113-120.
- Richardson, J. D., Corson, S.R. & Foster, R. S. 1992. Comparison of Scandinavian spruce and Radiata pine as raw material for high yield pulping. *APPITA*, 45 (1): 33-37.
- Romell, L. G. 1937. Kvistrensning och övervallning hos okvistad och torrkvistad tall. *Særtrykk av Sv. SkogsvFör. Tidskr.* 1937: 299-328.
- Romell, L. G. 1940. Kvistningsstudier hos tall och gran. *Medd. St. SkogförsAnst. Hft.* 32: 143-194.
- Rone, V. M. 1970. Variation in wood density and tracheid length in *Picea abies* progeny. *Lesoved.* 5: 78-82.
- Rudelloff, M. 1889. Bericht über die im Auftrage des Herrn Ministers für Landwirtschaft, Domänen und Forsten ausgeführten Holzuntersuchungen, Berlin.
- Rudie, A. W., Morra, J., St. Laurent, J.M. & Hickey, K. L. 1994. The influence of wood and fibre properties on mechanical pulping. *TAPPI J.* 77 (6): 86-90.
- Rudman, P. 1968. Growth ring analysis. *J. Inst. Wood Sci.* 4: 58-63.
- Rydell, R. 1992. Framtida krav på snickerivirke. Rapport R1:1992, Byggeforskningsrådet, SLU-Träteknik, Uppsala, Sverige.
- Sandland, K. M. 1999. Deformations in wood – The influence of the wood drying process. Doctor scientiarum theses 1999:9, Inst. for skogfag, NLH, Ås.
- Sandland, K. M. & Tronstad, S. 2001. Possibilities to control deformations in wood during drying to meet the requirements from timber end-users. Paper presentert på 3rd Workshop on softwood drying to specific end-uses, COST Action E15, Advances in the drying of wood (1999-2003). VTT Building and Transport, Espoo, Finland.
- Sandland, K. M., Gjerdrum, P. & Hamar, B. 2001. Virkesegenskapenes betydning for tørke- og høvlingskvalitet. Rapport 49. NTI, Oslo.
- Sandland, K. M. & Tronstad, S. 2002. Increased yield by reduced cupping – Reflections and initial experiments of press drying. Paper presentert på 4th COST E15 Workshop, Methods for improving drying quality of wood. Santiago de Compostela, Spania.
- Scaramuzzi, G. 1965. The relationships of fiber wall thickness, fiber diameter and percentage of summer wood (late wood) to specific gravity. *Proc. Mtg. Sect. 41 Inst. Union For. Res. Organ.*, Melbourne 2.
- Scaramuzzi, G. 1969. Estimation of wood density of standing trees of poplar from core samples. *Publ. Cent. Sper. Agric. For.* 10: 213-237.
- Schaffer, E. R. 1961. Effect of condition and kind of wood on groundwood pulp quality. *Forest Products Laboratory Report* 2220.
- Schlyter, R. & Winberg, G. 1929. Svenskt furuvirkes hållfasthetsegenskaper och deras beroende av fuktighetshalt och volymvikt (The strength of Swedish Redwood timber (pine) and its dependence on moisture content and apparent specific gravity). *Medd. St. ProvAnst.* 42.
- Schulz, H. & Bellmann, B. 1982. Untersuchungen an einem durch druckholz stark verkrümmten Fichtenbrett. *Inst. Holzforsch., Maximilian – Ludwig Univ. München.*
- Schultze-Dewitz, G. 1969. The variation in the structural elements in conifer wood. *Holztechnol.* 10: 185-189.

- Schwappach, A. 1892. Beiträge zur Kenntniss der Qualität des Kiefernholzes. Zschr. f. Forst- u. Jagdwesen 1892: 71-88.
- Schwappach, A. 1897. Untersuchungen über Raumgewicht und Druckfestigkeit des Holzes wichtiger Waldbäume. I. Die Kiefer. Springer Verlag, Berlin.
- Schwappach, A. 1898. Untersuchungen über Raumgewicht und Druckfestigkeit des Holzes wichtiger Waldbäume. II. Fichte, Weisstanne, Weymuthkiefer und Rothbuche. Springer Verlag, Berlin.
- Schwarz, F. 1899. Physiologische Untersuchungen über Dickenwachstum und Holzqualität von *Pinus silvestris*, Berlin 1899.
- Schöpf, J von. 1954. Untersuchungen über Astbildung und Astreinigung der Selber Kiefer. Forst- Wissenschaftliches Centralblatt. 73 Jahrgang: 275-289.
- Sederholm, J. 1981. Aptering, mätning och sortering med hänsyn till krok. STFI-meddelande serie A nr 685. Svenska Träforskningsinstitutet.
- Silvinova AS. 1998. Mjøsskog 2000. Rapport. Delprosjektene "Råstoffbasen" og "Foredling". Takst-, hogst- og skurforsøk.
- Sjöström, E. 1981. Wood chemistry. Fundamentals and applications. Academic Press, New York.
- Sjöström, K. 2000. Logistics in the Forest Sector. Timber Logistics Club, Helsinki 2000.
- Sjöström, K. & Rask, L.-O. 2001. Supply chain management for paper and timber industries. Växjö University, Sweden.
- Sklett, K. 1998. Undersøkelse av kvaelommer i skurtømmer hos Van Severen. Forestia FoU-rapport nr. 1-98.
- Smith, D. M. 1965. Rapid measurement of tracheid cross-sectional dimensions of conifers: Its application to specific gravity determinations. Forest Prod. J. 15: 325-334.
- Smith, W. J. 1967. The heritability of fibre characteristics and its application to wood quality improvement in forest trees. Silvae Genet. 16: 41-50.
- Sommerville, A. 1980. Resin pockets and related defects of *Pinus radiata* grown in New Zealand. N. Z. J. For. Sci. 10: 439-444.
- Sondell, J., Möller, J. J. & Ogemark, T. 2000. Nya hjälpmedel för marknadsanpassad virkesförsörjning. Utvecklingskonferens 2000. Skogforsk, Sverige. Redogörelse nr 2, 2000: 31- 36.
- Spurr, S. H. & Hshiang, W. 1954. Growth rate and specific gravity in conifers. J. For. 52: 191-200.
- Spurr, S. H. & Hyvärinen, M. J. 1954. Wood fiber length as related to position in tree and growth. Bot. Rev. 20: 561-575.
- Stamm, A. J. 1967. Flow of fluids in wood. Wood Science Technology 1(2):122-141.
- Statens Landbruksbank. 1999. Handlings- og strategiplan for lauvtrenæringen i Norge. Utarbeidet for Statens Landbruksbank av en koordineringsgruppe for lauvtrenæringen. Oslo.
- Staven, K. 1973. En undersøkelse av bjørk i Troms. Inst. for treteknologi, NLH. Hovedoppgave.
- Stemsrud, K. D. 1988. Trevirkets oppbygging, Vedanatomi. Universitetsforlaget, Oslo.
- Stemsrud, F. & Gudim, Å. 1962. Fordeling av bark og ved, vann og tørrstoff, volumvekter m.m. hos vortebjørk (*Betula verrucosa*). Tidsskr. Skogbr. 70: 36-50.
- Storebråten, S. 1999. Karakterisering av massa och fibrer. Gamla gudar hindrar utvecklingen. Sv. Papperstidning nr. 6: 125-130.
- Strand, L. 1968. Skogbrukets Produksjonslære. Vollebekk. Forelesningsnotat.

- Stuenes, O. 1973a. Arkitekters syn på trelast som byggemateriale. Inst. for skogøkonomi, NLH, Ås.
- Stuenes, O. 1973b. Entreprenørers og byggmesteres syn på trelast som byggemateriale. Inst. for skogøkonomi, NLH, Ås.
- Säll, H. & Dahlblom, O. 1999. Silviculture influence on spiral grain in Norway spruce. In: Nepveu, G. (ed.). IUFRO, Third Workshop "Connection between Silviculture and Wood Quality through Modelling Approaches and Simulation Software", France 1999. Publication France 1999: Topic 3: 181-185.
- Tamminen, Z. 1962. Fuktighet, volymvikt m.m. hos ved och bark. I. Tall (Moisture content, density and other properties of wood and bark. I. Scots pine). Rapp. Inst. Virkeslära, Stockholm. R 47: 1-46.
- Tamminen, Z. 1964. Fuktighet, volymvikt m.m. hos ved och bark. II. Gran (Moisture content, density and other properties of wood and bark. II. Norway spruce). Rapp. Inst. Virkeslära, Stockholm. R 47: 1-56.
- Tamminen, Z. 1970. Fuktighet, volymvikt m.m. hos ved och bark. III. Björk. Rapp. Inst. Virkeslära, Skogshögsk. 63: 1-34.
- Temnerud, E. 1994. Kådlåpor i virke från ett svenskt granbestånd (An Analysis of the Amount of Pitch Pockets in the Wood from a Swedish Spruce Stand). Rapp. Inst. Virkeslära, SLU 242.
- Temnerud, E. 1997. Formation and prediction of resin pockets in *Picea abies* (L.) Karst. Docoral Thesis, Swedish university of Agricultural Sciences.
- Thor, E. & Bates, L. 1970. Relationships of some wood properties of shortleaf pine with radial growth and site factors. Tappi 53: 290-294.
- Thunell, B. 1952. Trä dess byggnad och felaktigheter. Byggstandardiseringen.
- Thunell, B. & Perem, E. 1952. Svenskt trä. C. A. Strömberg A/B, Stockholm.
- Thörnqvist, T. 1990. Ungdomsved i Barrträd (Juvenile wood in Coniferous Trees). Rapp. SIMS, SLU 10.
- Thörnqvist, T. & Kyrkjeeide, P. A. 1991. Ungdomsved – en vedkvalitetsfaktor att räkna med. Skogsfakta 15/91.
- Timell, T. E. 1967. Wood Sci. Technol. 1: 45.
- Timell, T. E. 1986. Compression wood in Gymnosperms. Vol 1-3, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.
- Tododroki, C. L. & Rönnquist, E. M. 1997. Secondary log breakdown optimization with dynamic programming. The Journal of the Operational Research Society. Vol. 48, Nr. 5 1997: 471-478.
- Tododroki, C. L. & Rönnquist, E. M. 1999. Combined primary and secondary log breakdown optimisation. The Journal of the Operational Research Society. Vol. 50, Nr. 3 1999: 219-229.
- TRADA. 2001. Section 2/3 Sheet 55 Desember 2001. UK-grown birch: Suitable end-uses. TRADA Technology Ltd.
- Trendelenburg, R. 1939. Das Holz als Rohstoff. München.
- Trendelenburg, R. & Mayer-Wegelin, M. 1955. Das Holz als Roh- und Werkstoff. Carl Hansen Verlag, München.
- Tronstad, S. 1996. Øket sideborduttak. Forprosjekt. Rapport 32. NTI, Oslo.
- Tronstad, S. 1996. Våtliming, en ny mulighet for oppgradering av trelast i sagbruket. Referat fra Nordic Wood seminar 14. juni 1996, Arlanda, Sverige. NTI, Oslo.

- Tronstad, S. 1998. Tørkekvalitet i trelastindustrien. Rapport 42. NTI, Oslo.
- Tronstad, S. 1999. Sidebord – kvalitet og utbytte. Rapport 46. NTI, Oslo.
- Tronstad, S., Sandland, K. M. & Toverød, H. 2001. Drying quality of softwood based on 140 industrial tests in Norwegian sawmills and actions to improve the quality. Paper presentert på 3rd Workshop on softwood drying to specific end-uses, COST Action E15, Advances in the drying of wood (1999-2003). VTT Building and Transport, Espoo, Finland.
- Turolski, J. & Buchholz, J. 1964. The effect of taper on the quality of pine sawtimber. *Sylwan* 8: 59-65.
- Tyrväinen, J. 1995. Wood and fiber properties of Norway spruce and its suitability for thermomechanical pulping. Doktoravhandling, Helsinki Tekniske Universitet, Fakultet for jord- og skogbruk. *Acta Forestalia Fennica* nr. 249, 1995.
- Uprichard, J. M. 1971. Cellulose and lignin content in *Pinus radiata* D. Don. Within – tree variation in chemical composition, density and tracheid length. *Holzforschung* 25: 97-105.
- Usenius, A. 1997. Optimizing the activities in the wood conversion chain from the forest to the end-users. In: Nepveu, G. (ed.). IUFRO, Second Workshop “Connection between Silviculture and Wood Quality through Modelling Approaches and Simulation Softwares”, South Africa 1996. Publication France 1997. Topic 7: 214-219.
- Usenius, A. 1999. Wood conversion chain optimisation. In: Nepveu, G. (ed.). IUFRO, Third Workshop “Connection between Silviculture and Wood Quality through Modelling Approaches and Simulation Software”, France 1999. Publication France 1999: Topic 7: 541-548.
- Uusitalo, J. 1999. Predicting wood quality with harvester data. In: Nepveu, G. (ed.). IUFRO, Third Workshop “Connection between Silviculture and Wood Quality through Modelling Approaches and Simulation Software”, France 1999. Publication France 1999: Topic 7: 549-554.
- Uusitalo, J. & Kivinen, V. P. 2000. EMO: A pre-harvest measurement tool for predicting forest composition. In: IUFRO, Third Workshop on Measuring of Wood Properties, Grades and Qualities in the Conversion Chains and Global Wood Chain Optimisation. Proceedings. June 2000, VTT Building Technology, Finland. Session Forest: 173-180.
- Vadla, K. 1999. Virkesegenskaper hos bjørk, osp og gråor i Troms. *Rapp. Skogforsk.* 5/99: 1-48.
- Vadla, K. 2002. Virkesegenskaper hos bartrevirke i Nord-Norge. *Skogforsk. Stensiltrykk (råmanus)*.
- Veal, M. A. & Jackson, M. 1985. A review of methods for characterization of mechanical pulp for papermaking. *TAPPI Pulping Conference* 1985: 367-369.
- Verkasalo, E., Maltamo, M., Sairanen, P. & Melèn, P. 1999. Predicting the quality and value of Norway Spruce trees and logs for traditional and end-use oriented sawing. In: Nepveu, G. (ed.). IUFRO, Third Workshop “Connection between Silviculture and Wood Quality through Modelling Approaches and Simulation Software”, France 1999. Publication France 1999: Topic 7: 555-563.
- Vestøl, G. I. 1998. Single-tree Models of Knot Properties in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). Doctor scientarium theses 1998: 34. Agricultural University of Norway, Ås.
- Vestøl, G. I. 1999. Sagtømmerets foredlingsverdi. Prosjektbeskrivelse (stensiltrykk, upublisert). Norsk institutt for skogforskning, Ås, 1999.
- Vestøl, G. I. & Høibø, O. A. 1998a. Internal distribution of sound and dead knots in *Picea abies* (L.) Karst. In: Vestøl, G. I. Single-tree models of knot properties in Norway spruce. Doctor scientarium theses 1998: 34. Agricultural University of Norway, Ås.

- Vestøl, G. I. & Høibø, O. A. 1998b. Prediction of knot diameter in *Picea abies* (L.) Karst. In: Vestøl, G. I. Single-tree models of knot properties in Norway spruce. Doctor scientiarum theses 1998: 34. Agricultural University of Norway, Ås.
- Vestøl, G. I. & Høibø O. 2000. Aptering av furu til produksjon av vindusemner. Rapport fra delprosjekt av "Vindu mot skogen". Institutt for skogfag, NLH, Ås.
- Vestøl, G. I., Høibø, O. A., Molteberg, D. E. & Sundby, H. J. 1997. Modelling knotiness and knot characteristics of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.): differences in the distribution of sound and dead knots between "suppressed" and "dominant" trees. In: Nepveu, G. (ed.). IUFRO, Second Workshop "Connection between Silviculture and Wood Quality through Modelling Approaches and Simulation Softwares", South Africa 1996. Publication France 1997. Topic 1: 40-44.
- Vlosky, R. P., Wilson, E. J., Cohen, D. H., Fontenot, R., Johnson, W. J., Kozak, R. A., Lawson, D., Lewin, J. E., Paun, D. A., Ross, E. S., Simpson, J. T., Smith, P. M., Smith, T. & Wren, B. M. 1998. Partnerships versus typical relationships between wood products distributors and their manufacturer suppliers. *Fores Prod. J.* 48(3): 27-35.
- Volkert, E. 1956. Holzeigenschaften von Gastbaumarten. *Holz Roh- u. Werkstoff* 14(3): 81-86.
- Väisänen, H., Kellomäki, S., Oker-Blom, P. & Valtonen, E. 1989. Structural development of *Pinus sylvestris* stands with varying initial density: a preliminary model for quality of sawn timber as affected by silvicultural measures. *Scandinavian Journal of Forest Research* 4 (2): 223-238.
- Wahlberg, E. 1921. Om massavedens cellulosavärde. *Medd. Pappersmassekontoret*. Nr. 37: 1-6.
- Wallden, P. 1934. Untersuchungen über die Abhängigkeit der Technischen Eigenschaften vom Anatomischen Bau des Birkenholzes nach Zellemessungen. *Acta For. Fenn.* 40: 329-362.
- Wardrop, A. B. 1951. Cell-wall organization and the properties of the xylem. I. Cell-wall organization and the variation of breaking load tension of the xylem in conifer stems. *Aust. J. Sci. Res. B-4*: 391-414.
- Watanabe, H., Tsutsumi, J. & Kojima, K. 1963. Studies on Juvenile Wood. I. Experiments on Stems of Sugi trees (*Cryptomeria Japonica* D. Dou.). *J. Jap. Wood Res.* 9(6): 225-230.
- Wardrop, A. B. 1951. Cell-wall organization and the properties of the xylem. I. Cell-wall organization and the variation of breaking load tension of the xylem in conifer stems. *Aust. J. Sci. Res. B-4*: 391-414.
- Wegelius, T. 1946. Det finska granvirkets egenskaper och kvalitetsvariasjoner. *Sv. PappTidn.* 49: 51-61.
- Weiner, J. & Roth, L. 1966. The influence of environment and genetics on pulpwood quality. *Biblic. Ser. Inst. Pap. Chem.* 224.
- Weintraub, A., Epstein, R., Morales, R., Serón, J. & Traverso, P. 1996. A Truck Scheduling System Improves Efficiency in the Forest Industries. *Interfaces* 26: 1-12.
- Wellwood, R. W. 1960. Specific Gravity and Tracheid Length Variations in Second Growth Western Hemlock. *J. For.* 58(5): 361-368.
- Weslien, H. 1983. Värdeklassificering av sågtimmer med objektiva mätbara faktorer. Del II. Klassificering av gransågtimmer. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för virkeslära. Rapport nr. 141.
- Weslien, H. 1985. Preliminärt manuskript till litteraturstudie angående kvalitetsförbättring genom stamkvistning. Nordiska Samarbetsgruppen i Virkeslära. Stensiltryck (Upubl.).
- Weslien, H. 1993. Uppskattning av kådlåpors storlek och mängd i rundvirke (Estimating size and amount of pitch-pockets in roundwood). *Upps. Inst. Virkeslära, SLU* 171.

- Weslien, H. 1995. Size, Quantity, and Distribution of Pitch Pockets in Saw Logs of Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) from 26 Stands in Sweden. (Kådlåpors storlek, mängd och fördelning i grantimmer från 26 bestånd) Rapp. Inst. Virkeslära, SLU 248.
- Westerbø, L. 1973. Huseieres innstilling til trelast som byggemateriale. Inst. for skogøkonomi, NLH, Ås.
- Wiger, Ø. 2000. Malmskur – et alternativ ved skur av grovt furutømmer? Semesteroppgave i TT 301 høsten 2000. NLH, Institutt for skogfag, seksjon treteknologi.
- Wijkander, A. 1897. Untersuchungen der Festigkeits-Eigenschaften Schwedischer Holzarten. Bihang till Tekniska Samfundets Handlingar 1897. No. 11.
- Wilhelmsson, L. 2001. Characterisation of Wood Properties for Improved Utilisation of Norway Spruce and Scots Pine. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Forest Management and Products. Uppsala, Sverige.
- Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Duchesne, I., Nylinder, M. & Spångberg, K. 1997. The Swedish "Fibre database". Skogforsk/SLU. In: Nepveu, G. (ed.). IUFRO, Second Workshop "Connection between Silviculture and Wood Quality through Modelling Approaches and Simulation Softwares", South Africa 1996. Publication France 1997. Poster communications: 440-446.
- Williams, M. F. 1993. Matching fibre characteristics to pulp and paper processes and products. TAPPI Pulping Conference, Atlanta GA, USA: 179-191.
- Wood, J. R. & Karnis, A. 1977. Towards a lint-free newsprint sheet. *Paperi ja Puu*, 10: 661-674.
- Woxblom, L. 1997. Raw material selection and adaption of sawing patterns in order to meet product requirements of the construction sector. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest – Industry – Market Studies. In: Nepveu, G. (ed.). IUFRO, Second Workshop "Connection between Silviculture and Wood Quality through Modelling Approaches and Simulation Softwares", South Africa 1996. Publication France 1997. Topic 7: 237.
- Wästerlund, J. & Lundqvist, M. 2001. Effektiv drift i skogen. Sammanfattning av föredrag. Skogskonferensen, Uppsala 4-5 december, 2001. SLU, Umeå.
- Wågberg, L. & Annergren, G. 1997. Physicochemical characterization of papermaking fibres. Transactions of the 11th Fundamental Research Symposium "The fundamentals of papermaking fibres", Cambridge, vol. 1.
- Yandle, D. O. 1956. Statistical evaluation of the effect of age on specific gravity in loblolly pine. Rep. Forest Prod. Lab., Madison. Wis. 2049.
- Yao, J. 1970. Influence of growth rate of specific gravity and other selected properties of loblolly pine. *Wood Sci. & Technol.* 4: 163-175.
- Zahner, R. 1963. Internal moisture stress and wood formation in conifers. *Forest Prod. J.* 13: 240-247.
- Zahner, R. 1967. Means and effects of manipulating soil water in managed forest. In: Forest fertilization, theory and practice. Publ. 1968 by The Tennessee Vally Authority National Fertilizer Development Center, Muscle Shoals, Alabama: 11-14.
- Zobel, B. J. 1961. Inheritance of wood properties in conifers. *Silvae Genet.* 10: 65-70.
- Zobel, B. J. & van Buijtenen, J. P. 1989. Wood variation: its causes and control. Springer-Verlag, 1989. Berlin.
- Zobel, B. J., Kellison, R. C. & Kirk, D. G. 1972a. Wood properties of young loblolly and slash pine. In: Proceedings of the Symposium on the Effect of Growth Acceleration on the Properties of Wood. USDA For. Serv. Res. Pap. FPL, Madison, Wis.
- Zobel, B. J., Kellison, R. C. & Matthias, M. F. 1969. Genetic improvement in forest trees – growth rate and wood characteristics in young loblolly pine. In: Proc. 10th Southern Conf. Forest Tree Improvement: 59-75.

- Zobel, B. J., Kellison, R. C., Matthias, M. F. & Hatsher, A. V. 1972b. Wood density of the southern pines. Tech. Bull. N. Carol. Agric. Exp. Stn. 208.
- Zobel, B. J., Thorbjørnsen, E. & Henson, F. 1960. Geographic, site and individual tree variation in wood properties of loblolly pine. *Silvae Genet.* 9: 149-159.
- Øy, H. 1974. Markedsanalyse for trelast. Inst. for skogøkonomi, NLH, Ås.
- Øyen, O. 1999. Wood Quality in Old Stands of Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). Doctor scientiarum theses 1999: 15. Institutt for skogfag, Norges landbrukshøgskole, Ås.
- Øyen, O., Høibø, O. A. & Vestøl, G. I. 1999. Modelling the yield of sound knot timber from Norway spruce. Prediction of sound knot cylinder on single tree level in old stands of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst). In: Nepveu, G. (ed.). IUFRO, Third Workshop "Connection between Silviculture and Wood Quality through Modelling Approaches and Simulation Software", France 1999. Publication France 1999: Topic 1: 57-62.
- Øyen, O., Tømte, M. & Toverud, E. 2000. Skog – sag – marked. Sagbrukets postning gjøres allerede i skogen! Resultater fra prosjektet "Mjøsskog 2000".
- Åkerbrand, V. 1957. Om sambandet mellan tallens kvistrensning och vissa ståndortsförhållanden inom Sällskapet för praktisk skogsförädling inventeringsområde 1952-1954. *Norrlands SkogsvFör. Tidskr.* 1957: 95-109.

Personlige meddelelser

- Høibø, O. A. 2002. Personlig meddelelse. Norges landbrukshøgskole, Institutt for Skogfag.
- Norsk Limtrekontroll 2002
- Norsk Trelastkontroll
- Vestøl, G. I. 2002. Personlig meddelelse. Norges landbrukshøgskole, Institutt for Skogfag.
- Øyen, O. 2001. Personlig meddelelse. Silvinova AS.
- Øyen, O. u.å. Personlig meddelelse. Silvinova AS.