

# **Fysiske og mekaniske egenskaper til rundtømmer og firkant av furu fra høyereliggende skog**

Geir I. Vestøl, Olav Høibø, Sander Lilleslett og Harald Myhre  
Norges landbrukshøgskole, Institutt for naturforvaltning  
Høgskoleveien 14, Postboks 5003, 1432 Ås



## Forord

Rapporten presenterer resultatene fra forprosjektet ”Utnyttelse av tømmer fra høyereliggende strøk i konstruksjoner” og noen resultater fra prosjektet ”Egenskaper til rundtømmer av furu”. Deler av materialet av rundtømmer er tidligere beskrevet i hovedfagsoppgaven til Harald Myhre og Sander Lilleslett ved NLH. Materialet av rundtømmer er finansiert av Mjøsen skogeierforening, mens materialet av firkant er finansiert gjennom Utvklingsfondet for skogbruk. Lesja og Dovre Treforum har bidratt i det praktiske arbeidet med tømmeret etter hogst. Kjetil Tolvstad som er skogbrukssjef i Lesja og Dovre og Engebret Norderhus som er leder av Lesja og Dovre Treforum har bidratt med å skaffe tømmer og til at det praktiske arbeidet ute har blitt gjennomført. Forskningstekniker Bjørn Slette ved NLH har deltatt i testingen av materialet. Arbeidet med rapporten er finansiert gjennom Utvklingsfondet for skogbruk. Forfatterne vil takke alle som har bidratt til at arbeidet har latt seg gjennomføre.

Ås, april 2004

*Geir I. Vestøl*  
Prosjektleder

## Sammendrag

GEIR I. VESTØL, OLAV HØIBØ, SANDER LILLESLETT OG HARALD MYHRE, 2004: Fysiske og mekaniske egenskaper til rundtømmer og firkant av furu fra høyereliggende skog. Rapport fra skogforskningen 6/04:1-29.

Bruk av rundtømmer og firkant av furu fra høyereliggende skog til bindingsverk og lafting har lange tradisjoner. Til lafting brukes det fortsatt mye rundtømmer, men i bindingsverk har det blitt mindre vanlig. I Nord-Gudbrandsdalen ønsker man å ta opp igjen tradisjonen med å bruke rundtømmer og firkant i bindingsverk, men det mangler dokumentasjon på egenskapene til slike materialer. Hensikten med dette arbeidet er å dokumentere de konstruktive egenskapene til rundtømmer og firkant av furu fra høyereliggende skog i regionen.

Statisk bøyefasthet, elastisitetsmodul ved statisk bøyning (E-modul) og basisdensitet ble testet på 94 prøver av rundtømmer med nominell dimensjon (toppdiameter) fra 100 mm til 225 mm. De samme egenskapene ble testet på 57 prøver av firkant skåret med tilnærmet 2/3 kant. Dimensjonene til firkant var fra 75 × 75 mm<sup>2</sup> til 200 × 200 mm<sup>2</sup>. Rundtømmer ble tatt ut av 60 trær fra fire felt med høyereliggende furuskog i Lesja og Dovre, mens firkant ble tatt ut av 18 trær fra to av de samme feltene. Feltene ble valgt slik at de representerer variasjon i bonitet innenfor ulike høydeler.

Gjennomsnittlig bøyefasthet til rundtømmer er 58,9 MPa og nedre 5 % fraktil er 40,0 MPa. Gjennomsnittlig E-modul er 12,1 GPa. Gjennomsnittlig basisdensitet er 382 kg/m<sup>3</sup> og nedre 5 % fraktil er 333 kg/m<sup>3</sup>. Bøyefastheten øker med økende basisdensitet og E-modul, mens den avtar med økende årringbredde og dimensjon. Basisdensitet og E-modul er lavere for andrestokker enn for rotstokker, mens det ikke er funnet noen effekt av dimensjon på disse egenskapene.

Gjennomsnittlig bøyefasthet til firkant skåret med 2/3 kant er 44,3 MPa, og nedre 5 % fraktil er 32,8 MPa. Gjennomsnittlig E-modul er 9,0 GPa. Gjennomsnittlig basisdensitet er 381 kg/m<sup>3</sup> og nedre 5 % fraktil er 327 kg/m<sup>3</sup>. Bøyefasthet til firkant av rotstokkene er høyere enn firkant fra de øvrige stokkene.

Verdiene for bøyefasthet og E-modul til rundtømmer av furu fra høyereliggende skog i Lesja og Dovre er høye. Særlig de laveste verdiene for bøyefasthet er høye sammenlignet med trelast. Dette medfører at dimensjonerende verdi for bøyefasthet til rundtømmer blir høy og at materialene derfor vil være godt egnet som konstruksjonsmaterialer. Rundtømmer kan styrkesorteres visuelt, men europeiske reglement som finnes er utviklet for tynningsvirke og undervurderer bøyefastheten til dette materialet. Styrkesortering basert på dimensjon, E-modul og basisdensitet vil gi mulighet for bedre nøyaktighet enn visuell sortering. Firkant med 2/3 kant har betydelig lavere bøyefasthet og E-modul enn rundtømmer, men verdiene for bøyefasthet er likevel relativt høye sammenlignet med skarpkantet trelast. Til formål hvor det er viktig med plane flater og hvor kravet til bøyefasthet og E-modul er mindre kan firkant være et godt alternativ.

Nøkkelord: Furu, *Pinus sylvestris* (L.) Karst., rundtømmer, firkant, årringbredde, basisdensitet, E-modul, bøyefasthet, styrkesortering.

## Innhold

1	Innledning.....	5
2	Materiale og metoder.....	6
2.1	Prøvemateriale.....	6
2.2	Visuell sortering.....	8
2.3	Registrering av fysiske og mekaniske egenskaper.....	9
2.4	Statistiske analyser.....	10
3	Resultater.....	11
3.1	Årringbredde.....	11
3.2	Egenskaper til rundtømmer av furu.....	12
3.2.1	Basisdensitet til rundtømmer.....	12
3.2.2	E-modul til rundtømmer.....	14
3.2.3	Statisk bøyefasthet til rundtømmer.....	15
3.2.4	Sorteringsutfall etter VPS-SRT-2.....	17
3.2.5	Visuell styrkesortering av rundtømmer.....	17
3.3	Egenskaper til firkant av furu.....	19
3.3.1	Basisdensitet til firkant.....	19
3.3.2	E-modul til firkant.....	20
3.3.3	Statisk bøyefasthet til firkant.....	21
3.3.4	Visuell styrkesortering av firkant etter NS-INSTA 142.....	23
3.4	Effekt av skjæring på mekaniske egenskaper.....	24
4	Diskusjon.....	25
4.1	Sammenligning med tidligere undersøkelser.....	25
4.2	Variasjon i fysiske og mekaniske egenskaper til rundtømmer.....	26
4.3	Styrkesortering av rundtømmer.....	27
4.4	Variasjon i mekaniske egenskaper til firkant.....	27
4.5	Effekt av skjæring på mekaniske egenskaper.....	28
4.6	Konklusjoner.....	28
5	Referanser.....	29

## 1. Innledning

Bruk av rundtømmer og firkant som konstruksjonsmateriale har lange tradisjoner. Fra gammelt av ble rundtømmer brukt i enkle bærekonstruksjoner som for eksempel driftsbygninger i landbruket. Dette var en vanlig måte å utnytte tømmer som var uegnet for skjæring. Også firkant som var delvis bearbeidet ble ofte brukt i driftsbygninger i landbruket. I dag brukes relativt mye rundtømmer til lafting, mens det er lite brukt til bindingsverk.

I Nord-Gudbrandsdalen finnes det mye høyereliggende furuskog og det er tradisjon for både lafting og bruk av rundtømmer og firkant i bindingsverk. Det er et ønske om å utvikle nye bruksområder for furutømmer i regionen, og bakgrunnen for dette arbeidet er at man ønsker å ta opp igjen bruken av rundtømmer og firkant i bindingsverk.

Rundtømmer er sannsynligvis sterkere enn skåret trelast av tilsvarende tømmer fordi man unngår fiberbrudd som oppstår ved skjæring. Dette er særlig viktig i virke med mye kvist og fiberforstyrrelser. En annen årsak til at rundtømmer sannsynligvis er sterkere enn skåret trelast er at man utnytter veden som ligger nær overflaten på stammen. Denne veden er vanligvis både tyngre og sterkere enn ungdomsveden som finnes nær marginen i treet. Delvis bearbeiding av overflaten som for eksempel til 2/3 kant vil sannsynligvis ha en negativ effekt på bøyefasthet og E-modul. Effekten vil sannsynligvis være mindre enn for skarpkantet trelast siden noe av overflaten fortsatt er intakt og det er mindre fiberbrudd.

Firkant er definert i NS-INSTA 142 som skurlast med tverrsnittsmål større enn  $70 \times 70 \text{ mm}^2$ , med største side høyst 1/3 større enn minste side og hvor margin ligger tilnærmet i midten (Anonym 1997). I "Nordisk tre" (Anonym 1994) og i "Terminologi for trelastbransjen" (Foslie 1983) er firkant definert som trelast med tykkelse på minst 75 mm, som oftest med ingen eller maks 25 mm forskjell mellom tykkelse og bredde og hvor margin ligger tilnærmet i midten. Foslie (1983) begrenser i tillegg dimensjonene til mellom 75 mm og 175 mm.

Prosjektet "Round small-diameter timber for construction" som var en del av EUs fjerde rammeprogram FAIR-CT95-0091 ble avsluttet i 1998 (Ranta-Maunus 1999). Hensikten med prosjektet var å øke bruken av tre fra tynninger som konstruksjonsmateriale. I prosjektet ble det bl.a. gjennomført en markedsundersøkelse for rundtømmer i ulike europeiske land. Undersøkelsen viste at det største potensialet for bruk av rundtømmer finnes i landdistrikt. De mest aktuelle bygningene er enten knyttet til fritidsaktiviteter eller landbruk. Undersøkelsen ga indikasjon på at det er marked for rundtømmer både i små bygninger og i større konstruksjoner. Ranta-Maunus (1999) vurderte de viktigste bruksområdene til å være små, tradisjonelle bygg i landområder (landbruksbygg, hytter, feriehus etc.) og større bygg med spesiell arkitektur, særlig til bruk i fritidsparker (lekeparker, tårn, broer etc.).

I prosjektet ble det også gjennomført undersøkelser av konstruksjonsmessige egenskaper til rundtømmer med liten diameter fra førstegangs tynninger. Materialet bestod av furu (*Pinus sylvestris*) fra Finland og Storbritannia, gran (*Picea abies*) fra Finland og Østerrike, sitkagran (*Picea sitchensis*) fra Storbritannia, lerk (*Larix kaempferi*) fra Nederland og douglas (*Pseudotsuga menziesii*) fra Frankrike. Rundtømmeret var mer eller mindre bearbeidet.

Det er også utviklet systemer for sortering av rundtømmer. I henhold til Ranta-Maunus (1999) sorteres rundtømmer til klassene "A" og "B" hvor det er krav både

til styrkereduserende egenskaper som kvist, fiberhelling, årringbredde, sprekk og tennar og til geometriske karakteristika som ovalitet, avsmaling, krok og biologiske karakteristika som sopp- og insektskade. Boren og Barnard (2000) har foreslått en visuell styrkesortering som sorterer rundtømmer med diameter mellom 69 og 182 mm til CEN-styrkeklassene C24 og C30 i henhold til NS-EN 388 (Anonym 1995b). Firkant sorteres som trelast i henhold til NS-INSTA 142 (Anonym 1997).

Resultatene fra EU-prosjektet kan ikke uten videre overføres til ubearbeidet rundtømmer fra gammel skog. Styrken avtar med graden av bearbeiding fordi fiber brytes under bearbeiding og andelen ved som ikke er påvirket av kvist avtar. I tillegg er tynningsvirke, som rapporten er basert på, normalt svakere enn virke som tas ut ved slutthogst. Dette skyldes at tynningsvirke inneholder en større andel ungdomsved som er svakere enn moden ved. Rundtømmer som bare er barked og som tas ut fra hogstmodne bestand vil derfor sannsynligvis ha bedre styrkeegenskaper enn det som er angitt i rapporten.

Hensikten med dette arbeidet er å dokumentere de konstruktive egenskapene til rundtømmer og firkant av furu fra høyereliggende skog i Lesja og Dovre, og å vurdere ulike former for styrkesortering.

## 2. Materiale og metoder

### 2.1. Prøvemateriale

Rundtømmer ble hentet fra fire bestand av furu (*Pinus sylvestris*) på Lesja og Dovre. Bestandene ble valgt i to ulike høydeler og med to boniteter som representerte henholdsvis høyere og lavere bonitet for hvert høydeler (Tabell 1). Innen hvert felt ble det valgt ut et område med minst 100 trær hvor diameter i brysthøyde ble registrert på alle trærne. Fordelingen av diameter i brysthøyde er presentert i Fig. 1, mens gjennomsnitt og standardavvik er presentert i Tabell 1. Fra hvert felt ble det tatt ut 15 prøvetrær med diameter i brysthøyde mellom 16 og 31 cm. Trærne i dette diameterintervallet ble delt i fem diameterklasser med 3 cm variasjonsbredde i hver klasse, og det ble trukket tilfeldig tre trær fra hver klasse. Denne måten å velge trær på medførte at utvalget ble representativt for de aktuelle diameterklassene i hvert bestand.

Fra de to bestandene med relativt høy bonitet innen hvert høydeler (2.Lesja og 4.Dovre) ble rotstokker og andrestokker tatt ut til testing. Fra de to bestandene med relativt lav bonitet innen hvert høydeler hvor det var relativt lave trær (1.Lesja og 3.Dovre) ble det tatt ut rotstokker og bare noen få andrestokker. Totalt ble det tatt ut 94 stokker til testing, derav 60 rotstokker og 34 andrestokker.

Tabell 1. Felt- og bestandsdata.

Felt	H.o.h. (m)	Bonitet	Vegetasjonstype	DBH (cm)		Alder* (år)	
				Gj.snitt	Std.avvik	Gj.snitt	Std.avvik
1. Lesja	675	F6	Lavskog	16,1	5,2	152	14
2. Lesja	650	F11	Bærlyng	23,0	5,9	141	6
3. Dovre	450	F8	Bærlyng	20,7	6,3	88	17
4. Dovre	475	F14	Bærlyng	27,3	6,0	118	10

\*Alder ble registrert på prøvetrærne og vektet i forhold til diameterfordeling mellom 16 og 31 cm.

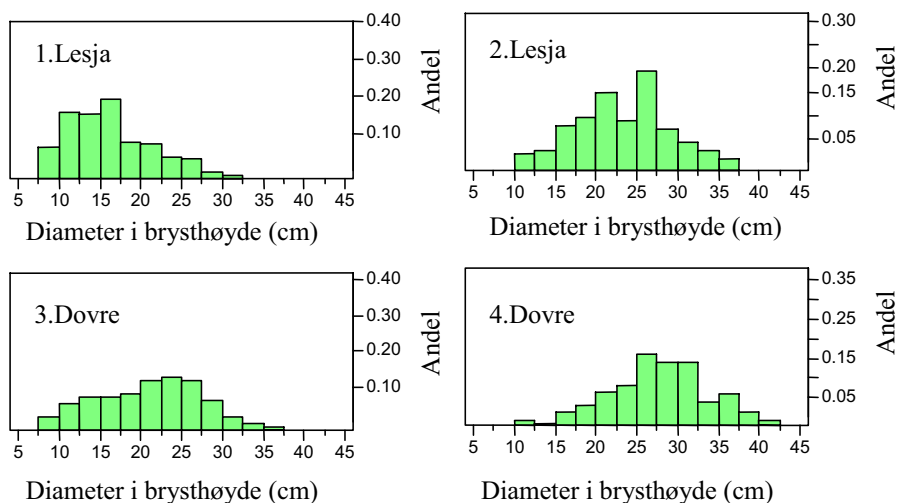


Fig. 1. Fordeling av diameter i brysthøyde for hvert bestand i undersøkelsen.

Rundtømmeret ble hogd og barket i mai 2002 og tørket i friluft til høsten før det ble lagret i lokaler uten oppvarming. Tømmeret ble tatt inn i varmt lokale 1-3 uker før testing i januar og februar 2003. Sju stokker fra feltet 4.Dovre ble ikke barket før våren 2003 og tørket ute til de ble testet i september 2003. Disse stakkene var angrepet av blåvedsopp, men det ble ikke funnet råte. Noen av stakkene hadde insekthull nær enden av stokken. Gjennomsnittlig fuktighet var 26 % for de 87 prøvene som ble testet vinteren 2003 og 20 % for de 7 prøvene som ble testet i september 2003.

Fra feltene 1.Lesja og 4.Dovre ble det tatt ut tømmer til testing av firkant våren 2003. Målet med utvalget var at firkant skulle skjæres kvadratisk med 2/3 kant på alle fire sider. Dette ble beregnet ved å forutsette 10 mm/m avmaling på tømmeret. Fra hvert bestand ble det tatt ut tre trær som gav  $100 \times 100 \text{ mm}^2$  firkant fra rotstokken, tre trær som gav  $150 \times 150 \text{ mm}^2$  firkant fra rotstokken og tre trær som gav  $200 \times 200 \text{ mm}^2$  firkant fra rotstokken. Fra de øvrige stakkene ble det tatt ut dimensjoner av firkant som ble bestemt av tømmerets diameter slik at det ble tilnærmet 2/3 kant på midten. Det ble totalt testet 57 firkanter. Materialet av firkant var innenfor definisjonen i "Nordisk tre" (Anonym 1994), men hadde større vankant enn tillatt i henhold til NS-INSTA 142 (Anonym 1997) og største dimensjon ( $200 \times 200 \text{ mm}^2$ ) var litt for stor i henhold til definisjonen hos Foslie (1983) hvor firkant er begrenset til 175 mm.

Materialet av firkant ble tørket i friluft på Lesja før det ble tatt inn til klimatisering i august. Da materialet ble testet i oktober, var gjennomsnittlig fuktighet 15,6 % og standardavviket var 1,3 %. Fuktighetsinnholdet varierte fra 11,4 % til 18,6 % og var høyest i de største dimensjonene.

## 2.2. Visuell sortering

Rundtømmeret ble sortert i henhold til kravene til kvist, fiberhelling, årringbredde, reaksjonsved, avsmaling, krok og insektskader i VPS-SRT 2 (Ranta-Maunus 1999). Etter denne standarden ble rundtømmer sortert til klassene "A" eller "B" i henhold til kravene som er gitt i Tabell 2. Kvistdiameter ble målt på tvers av stammens lengderetning. Kvistsum ble målt som summen av diameter til alle kvister innenfor 150 mm lengde av stokken. Årringbredde ble registrert som gjennomsnitt av alle årringer utenfor 25 mm fra margen langs største radius i toppenden av stokken. Krok ble målt som maksimal pihøyde over 2 m lengde.

Tabell 2. Grenseverdier for egenskaper til rundtømmer sortert etter VPS-SRT-2 (Ranta-Maunus 1999).

Karakteristika	Klasse A	Klasse B
Relativ kvistdiameter (andel av nominell dimensjon <sup>*</sup> )	25 %	30 %
Relativ kvistsum (andel av nominell dimensjon <sup>*</sup> )	75 %	100 %
Fiberhelling	1:10	1:7
Årringbredde	3 mm	5 mm
Dybde av enkelt sprekk (andel av nominell dimensjon <sup>*</sup> )	50 %	50 %
Lengde av enkelt sprekk	ubegrenset	ubegrenset
Tennar (andel av tverrsnitt)	10 %	10 %
Avsmaling	5 mm/m	10 mm/m
Ovalitet (andel av største diameter)	10 %	20 %
Krok	5 mm/2m	10 mm/2m
Insektskade	ikke tillatt	ikke tillatt

<sup>\*</sup>Nominell dimensjon er definert i Tabell 4.

Rundtømmeret ble også sortert til styrkeklassene C24 eller C30 etter Boren og Barnard (2000). Denne sorteringen er basert på rundtømmer med relativt liten diameter av tynningsmateriale av furu fra Finland og Storbritannia, og er en del av materialet til Ranta-Maunus (1999). Standarden gjelder rundtømmer med diameter mellom 69 og 182 mm, mens deler av materialet i foreliggende undersøkelse hadde større diameter. Sorteringskriteriene var kvistsum, relativ kvistsum, største kvistdiameter, årringbredde og avsmaling. Grenseverdier for hver klasse er angitt i Tabell 3.

Firkant ble styrkesortert i henhold til kravene til kvist, fiberhelling og årringbredde i NS-INSTA 142 (Anonym 1997). Variablene ble registrert på samme måte som for rundtømmer. Det ble sett bort fra vankant som for det meste av materialet var for stor i henhold til NS-INSTA 142. Firkanten ble sortert til styrkeklassene T0, T1, T2 og T3.



Tabell 3. Grenseverdier for styrkesortert rundtømmer etter Boren og Barnard (2000).

Kriterier	Sorteringsklasse	
	C30	C24
Kvistsum	100 mm	125 mm
Relativ kvistsum (andel av nominell dimensjon)	75 %	90 %
Største kvistdiameter	35 mm	40 mm
Årringbredde	3,0 mm	5,0 mm
Avsmaling	5 mm/m	10 mm/m

### 2.3. Registrering av fysiske og mekaniske egenskaper

Elastisitetsmodul ved statisk bøyning (E-modul) og statisk bøyefasthet til rundtømmer ble testet med firepunkts bøyebelastning i henhold til VPS-SRT-1 (Ranta-Maunus 1999). Rundtømmeret ble tilordnet nominell dimensjon fra 100 mm til 225 mm i henhold til VPS-SRT-3 (Ranta-Maunus 1999) og ble kappet i lengder som var minimum 24 ganger nominell dimensjon. Oppsettet for testing av hver dimensjon er presentert i Tabell 4. Tømmeret ble konsekvent plassert med krokens utside mot opplagringspunktene. Dette var av praktiske årsaker, men medførte at eventuell tennar alltid ville bli utsatt for strekkspenninger.

Tabell 4. Dimensjoner av rundtømmer og oppsett for testing av E-modul og bøyefasthet.

Nominell dimensjon	Toppdiameter (mm)	Avstand mellom opplagringspunkt (mm)	Måleområde for nedbøyning (mm)
100 mm	100 – 124	2000	556
125 mm	125 – 149	2500	694
150 mm	150 – 174	3000	833
175 mm	175 – 199	3500	972
200 mm	200 – 224	4000	1111
225 mm	225 – 249	4500	1250

E-modul og bøyefasthet ble beregnet med hensyn til stokkens tverrsnitt midt mellom belastningspunktene. Egenskapene ble beregnet under forutsetning av at tverrsnittet var formet som en ellipse som ble beregnet fra vertikal og horisontal diameter til stokken slik den var orientert under testing.

E-modul og bøyefasthet til firkant ble testet med firepunkts bøyebelastning i henhold til NS-EN 408 (Anonym 1995c). Oppsettet for testingen er presentert i Tabell 5. Firkantene ble plassert slik at siden med mest vankant ble utsatt for strekkspenninger. Dette ville gi de høyeste verdiene og var nærmest det man ville gjøre ved bruk av firkant i konstruksjoner. Egenskapene ble beregnet som for et rektangel hvor sidene ble beregnet som gjennomsnitt av dimensjonen på to kanter. Det ble ikke tatt hensyn til vankant i beregningene.

Tabell 5. Oppsett for testing av E-modul og bøyefasthet til firkant.

Dimensjon (mm <sup>2</sup> )	Avstand mellom opplagringspunkt (mm)	Avstand mellom belastningspunkt (mm)	Måleområde for nedbøyning (mm)
75 × 75	1500	450	375
100 × 100	2000	600	500
125 × 125	2500	750	625
150 × 150	3000	900	750
175 × 175	3500	1050	875
200 × 200	4200	1200	1000

Verdiene for E-modul og bøyefasthet ble justert til 12 % fuktighet for både rundtømmer og firkant. Begge egenskapene ble justert med 2 % pr. prosentenhet avvik i fuktighet opp til 24 % fuktighet. Utover dette ble det ikke justert for fuktighet.

Gjennomsnittlig årringbredde ble registrert langs største radius i toppenden av hver testet prøve i henhold til VPS-SRT-2 for rundtømmer (Ranta-Maunus 1999) og NS-INSTA 142 (Anonym 1997) for firkant. I tillegg ble alder og årringbredde for alle årringer langs midlere radius registrert på stammeskiver tatt ut i trærnes brysthøyde. Basisdensitet og fuktighetsinnhold ble registrert på prøver som ble tatt ut så nær bruddet som mulig. Prøvene fra rundtømmer dekket en sektor fra marginen til stokkens overflate og ble tatt ut nær stokkens midlere radius, mens prøvene fra firkant dekket hele eller halve tverrsnittet.

## 2.4. Statistiske analyser

Forskjell mellom felt ble testet med enveis variansanalyse på rotstokkene av rundtømmer fra alle prøvetrærne. Siden diameterfordelingen i bestandene var ulik, ble data vektet slik at utvalget ble representativt for diameterfordelingen til trærne med diameter mellom 16 og 31 cm i bestandet. For de andre analysene i rapporten ble data ikke vektet.

Variansanalyse av forskjell mellom rotstokk og andrestokk av rundtømmer ble gjennomført på materialet fra bestandene 2.Lesja og 4.Dovre. Fra disse bestandene ble det tatt ut to stokker fra hvert tre, mens det fra bestandene 1.Lesja og 3.Dovre ble tatt ut nesten bare rotstokker.

Det ble regnet ut gjennomsnitt og standardavvik for egenskapene til hver dimensjon av rundtømmer, men i de statistiske analysene ble dimensjon betraktet som en kontinuerlig variabel. Effekt av dimensjon ble testet ved enkel regresjonsanalyse. I tillegg ble det gjennomført kovariansanalyser av forskjellen mellom rotstokk og andrestokker, med dimensjon som kontinuerlig variabel, på stokkene fra bestandene hvor det ble tatt ut to stokker fra hvert tre (2.Lesja og 4.Dovre).

Analyser av sammenhenger mellom de ulike egenskapene til rundtømmeret ble gjennomført som enkle regresjoner, og i noen tilfeller også som multiple regresjoner. I de tilfellene hvor forskjellen mellom rotstokk og andrestokk inngikk i modellene ble analysen gjennomført som kovariansanalyse og da begrenset til materialet fra de to feltene hvor det ble tatt ut to stokker fra hvert tre (2.Lesja og 4.Dovre).

Analysene av firkant ble gjennomført så likt som mulig som analysene av rundtømmer. Siden aktuelle dimensjoner ikke er representert fra rotstokker og resul-

tatene viser at rotstokkene har bedre egenskaper enn øvrige stokker, er resultatene ikke presentert for hver dimensjon men for hver stokktype. Analyser hvor effekten av stokktype inngikk kunne gjennomføres på hele materialet siden det ble tatt ut flere stokker fra hvert tre.

Effekten av skjæring ble studert på materialet av rotstokker fra feltene 1.Lesja og 4.Dovre og andrestokker fra 4.Lesja hvor det ble tatt ut både rundtømmer og firkant av tilsvarende materiale. Forskjellen mellom rundtømmer og firkant ble testet som enveis variansanalyse. Siden resultatene viser at bøyefasthet til firkant fra rotstokker var signifikant høyere enn fra de øvrige stokkene og tilsvarende forskjell ikke ble funnet hos rundtømmer, ble det antatt at effekten av skjæring var sterkere på andrestokker enn på rotstokker. Det ble gjennomført en toveis variansanalyse med materiale (runtømmer eller firkant), stokktype og interaksjonen mellom disse som forklaringsvariabler på materialet fra feltet 4.Dovre hvor man hadde både rotstokker og andrestokker. Det ble også gjennomført en toveis variansanalyse med materiale, felt og interaksjon mellom disse for å teste om effekten av skjæring var lik på de to feltene.

### 3. Resultater

#### 3.1. Årringbredde

Fig. 2 viser utvikling av gjennomsnittlig årringbredde fra marginen mot stammens overflate i brysthøyde for hvert felt.

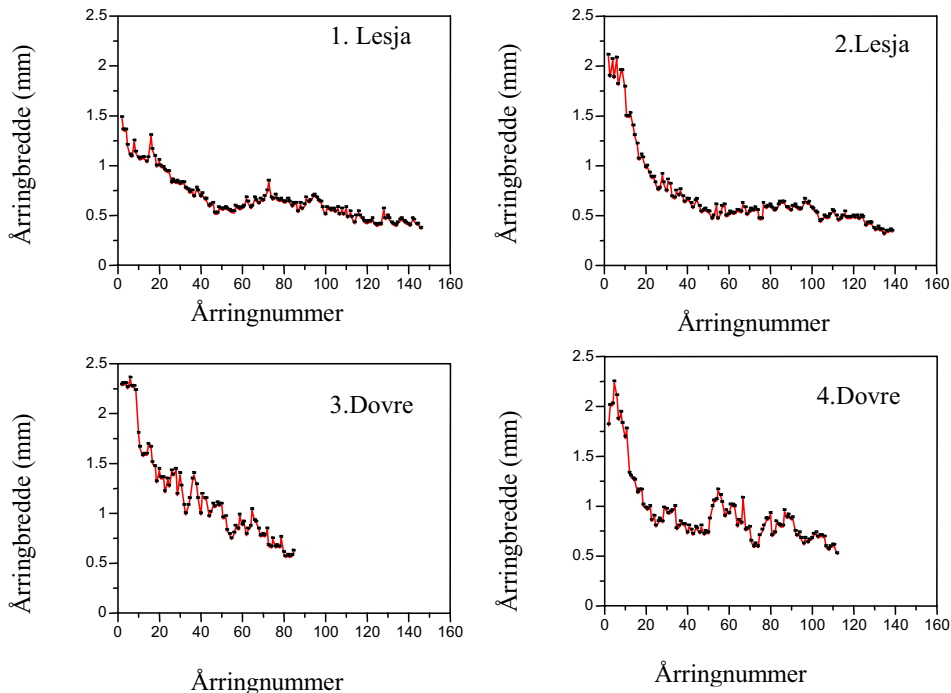


Fig. 2. Radiell utvikling av gjennomsnittlig årringbredde i brysthøyde for hvert felt.

### 3.2. Egenskaper til rundtømmer av furu

Gjennomsnitt og standardavvik for basisdensitet, E-modul og bøyefasthet til hver enkelt dimensjon og for hele materialet er presentert i Tabell 6.

Tabell 6. Basisdensitet, E-modul og bøyefasthet til ulike dimensjoner av rundtømmer.

Nominell dimensjon	Antall	Basisdensitet (kg/m <sup>3</sup> )		E-modul (GPa)		Bøyefasthet (MPa)	
		Gj.snitt	Std.avvik	Gj.snitt	Std.avvik	Gj.snitt	Std.avvik
100 mm	2	385	30	12,4	3,0	65,9	12,3
125 mm	17	388	27	12,3	2,6	66,1	11,2
150 mm	22	391	31	12,3	2,9	63,9	10,2
175 mm	24	378	34	11,9	2,7	57,9	11,5
200 mm	24	377	28	11,9	1,9	51,1	7,8
225 mm	5	367	25	12,0	1,1	51,1	4,5
Alle	94	382	30	12,1	2,4	58,9	11,5

#### 3.2.1. Basisdensitet til rundtømmer

Gjennomsnittlig basisdensitet for hele materialet er 382 kg/m<sup>3</sup> og standardavviket er 30 kg/m<sup>3</sup>. Fordelingen er presentert i Fig. 3. Nedre 5 % fraktile bestemt ved rangering av data i henhold til NS-EN 384 (Anonym 1995a) er 333 kg/m<sup>3</sup>.

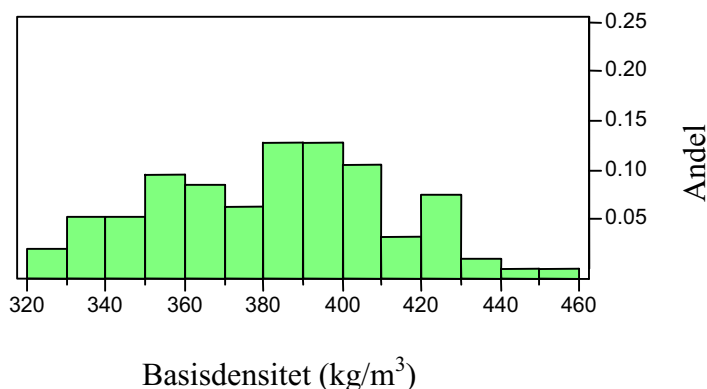


Fig.3. Fordeling av basisdensitet for hele materialet av rundtømmer.

Variansanalyse viser at basisdensiteten til rotstokkene er signifikant forskjellig mellom feltene (df=3-56, F=5,49, p=0,0022). Students t-test viser at rotstokkene fra de to bestandene på Lesja har signifikant høyere densitet enn rotstokkene fra de to bestandene på Dovre.

Analyse av stokkene fra feltene hvor det ble tatt ut både rotstokker og andrestokker viser at basisdensitet er signifikant høyere for rotstokker enn for andrestokker ( $df=1-58$ ,  $F=5,13$ ,  $p=0,027$ ).

Det er ikke signifikant sammenheng mellom basisdensitet og dimensjon uten at man skiller mellom rotstokker og andrestokker ( $p=0,0608$ ). Analyse av stokkene fra feltene hvor det ble tatt ut både rotstokker og andrestokker viser at forventet basisdensitet er  $15 \text{ kg/m}^3$  høyere for rotstokker enn for andrestokker med samme dimensjon.

Det er signifikant negativ sammenheng mellom basisdensitet og årringbredde målt i toppenden av stokken ( $df=1-92$ ,  $F=29,87$ ,  $p<0,0001$ ,  $RMSE=26,2 \text{ kg/m}^3$ ,  $R^2=0,245$ ) (Fig. 4). Analyse av stokkene fra feltene hvor det ble tatt ut både rotstokker og andrestokker viser at sammenhengen er signifikant forskjellig mellom rotstokker og andrestokker ( $p=0,0253$ ). For stokker med lik årringbredde er forventet basisdensitet  $8,0 \text{ kg/m}^3$  høyere for rotstokker enn for andrestokker.

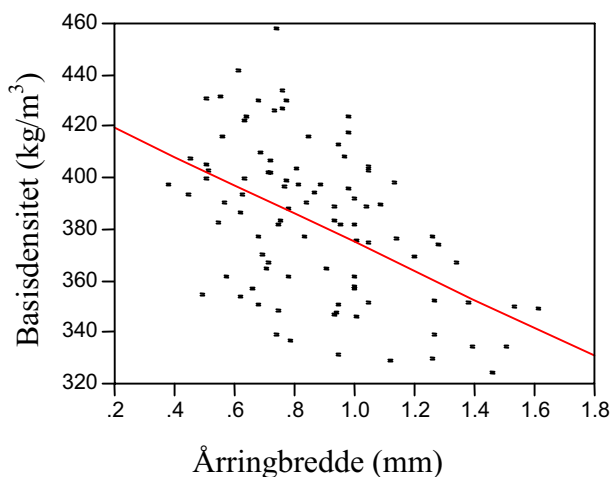


Fig.4. Sammenheng mellom basisdensitet og årringbredde for rundtømmer.

### 3.2.2. E-modul til rundtømmer

Gjennomsnittlig elastisitetsmodul ved statisk bøyning (E-modul) korrigert til 12 % fuktighet er 12,1 GPa og standardavviket er 2,4 GPa. Fordelingen er presentert i Fig. 5.

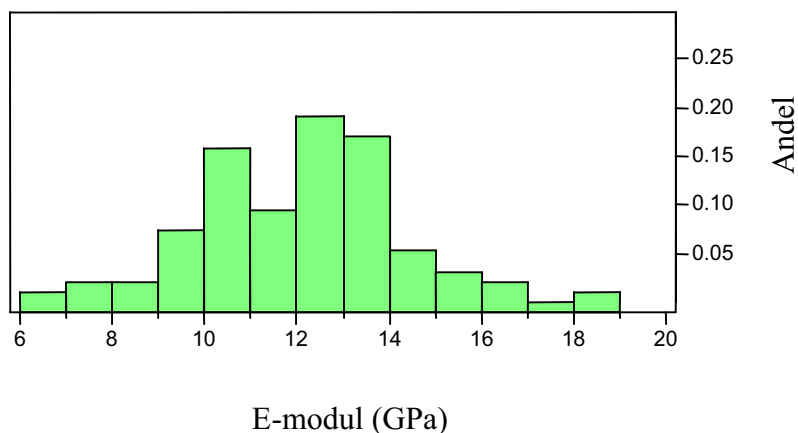


Fig. 5. Fordeling av E-modul for hele materialet av rundtømmer.

Variansanalyse viser at E-modul til rotstokkene ikke er signifikant forskjellig mellom feltene ( $df=3-56$ ,  $F=1,73$ ,  $p=0,1713$ ).

E-modul er signifikant høyere for rotstokker enn for andrestokker ( $df=1-58$ ,  $F=6,49$ ,  $p=0,0135$ ). Rotstokkene har 13 % høyere gjennomsnittlig E-modul enn andrestokkene fra feltene hvor det ble tatt ut to stokker fra hvert tre.

Det er ikke signifikant effekt av dimensjon på E-modul ( $df=1-92$ ,  $F=0,4816$ ,  $p=0,4895$ ). Heller ikke når man skiller mellom rotstokker og andrestokker er det signifikant effekt av dimensjon ( $p=0,0891$ ). Gjennomsnitt og standardavvik for hver dimensjon er presentert i Tabell 6.

Det er ikke signifikant sammenheng mellom E-modul og årringbredde målt i toppenden av stokkene ( $df=1-92$ ,  $F=18,72$ ,  $p=0,0756$ ). Analyse av stokkene fra feltene hvor det ble tatt ut både rotstokker og andrestokker viser at det heller ikke er signifikant effekt av årringbredde når man skiller mellom rotstokker og andrestokker ( $p=0,0667$ ).

E-modul øker signifikant med økende basisdensitet ( $df=1-92$ ,  $F=30,63$ ,  $p<0,001$ ,  $RMSE=2,1$  GPa,  $R^2=0,25$ ) (Fig. 6). Sammenhengen er ikke signifikant forskjellig mellom rotstokker og andrestokker fra feltene hvor det ble tatt ut både rotstokker og andrestokker ( $p=0,152$ ).

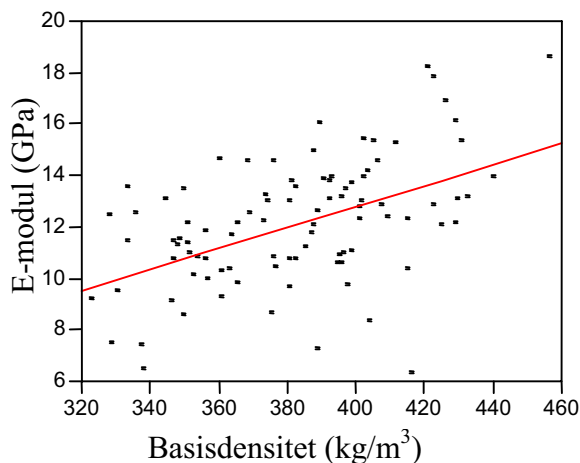


Fig. 6. Sammenheng mellom E-modul og basisdensitet for rundtømmer.

### 3.2.3. Statisk bøyefasthet til rundtømmer

Gjennomsnittlig statisk bøyefasthet korrigert til 12 % fuktighet er 58,9 MPa og standardavviket er 11,5 MPa. Nedre 5 % fraktil bestemt ved rangering av data i henhold til NS-EN 384 (Anonym 1995a) er 40,0 MPa. Fordelingen er presentert i Fig. 7.

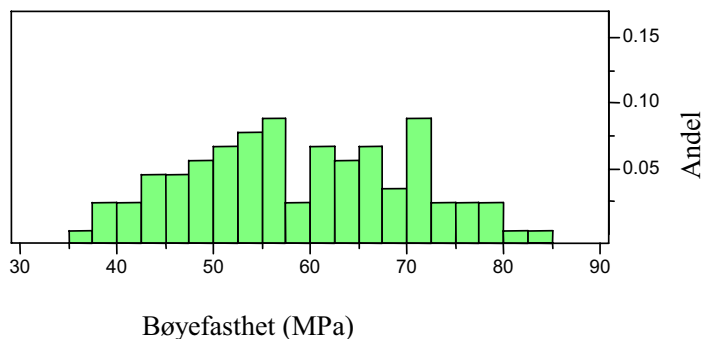


Fig.7. Fordeling av bøyefasthet for hele materialet av rundtømmer.

Variansanalyse viser at gjennomsnittlig bøyefasthet til rotstokkene ikke er signifikant forskjellig mellom feltene ( $df=3-56$ ,  $F=1,48$ ,  $p=0,2287$ ).

Det er ikke signifikant forskjellig bøyefasthet mellom rotstokker og andrestokker som ble tatt ut fra de to feltene med relativt høy bonitet innen hvert høydelag ( $df=1-58$ ,  $F=2,04$ ,  $p=0,1583$ ).

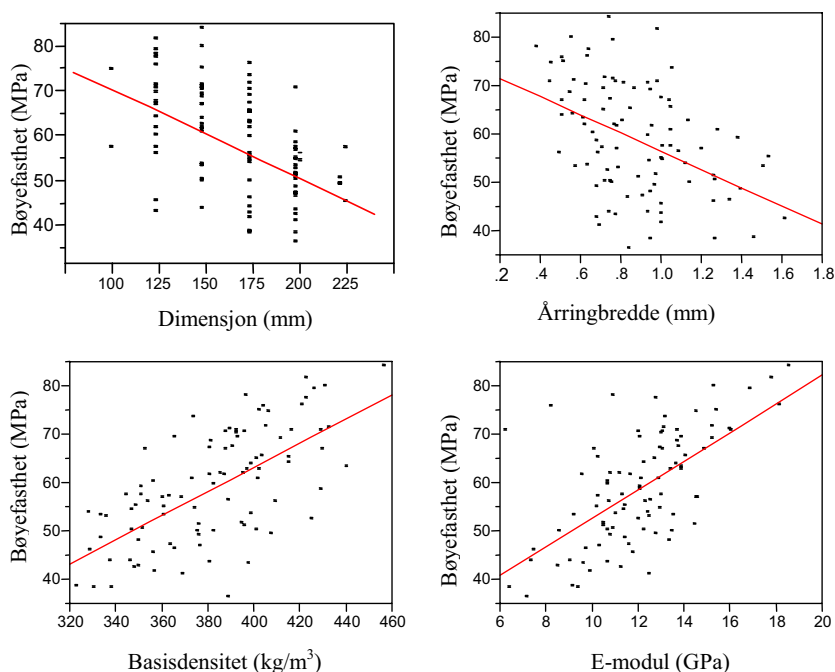


Fig. 8. Sammenhenger mellom bøyefasthet og dimensjon (øverst til venstre), bøyefasthet og årringbredde (øverst til høyre), bøyefasthet og basisdensitet (nederst til venstre) og bøyefasthet og E-modul (nederst til høyre) for rundtømmer.

Statisk bøyefasthet avtar signifikant med økende dimensjon ( $df=1-92$ ,  $F=30,98$ ,  $p<0,001$ ,  $RMSE=10,0$  MPa,  $R^2=0,25$ ) (Fig. 8). Analyse av stokkene fra feltene hvor det ble tatt ut både rotstokker og andrestokker viser at dimensjonseffekten er signifikant forskjellig mellom rotstokker og andrestokker slik at for samme dimensjon har rotstokker 5,7 MPa høyere forventet bøyefasthet enn andrestokker. Gjennomsnitt og standardavvik for hver dimensjon er presentert i Tabell 6.

Statisk bøyefasthet avtar signifikant med økende årringbredde målt i toppenden av stokkene ( $df=1-92$ ,  $F=22,11$ ,  $p<0,0001$ ,  $RMSE=10,3$  MPa,  $R^2=0,19$ ) (Fig.8). Analyse av stokkene fra feltene hvor det ble tatt ut både rotstokker og andrestokker viser at sammenhengen er signifikant forskjellig mellom rotstokker og andrestokker ( $p=0,0157$ ), men da er ikke effekten av årringbredde lenger signifikant ( $p=0,0667$ ).

Statisk bøyefasthet øker signifikant med økende basisdensitet ( $df=1-92$ ,  $F=68,13$ ,  $p<0,0001$ ,  $RMSE=8,7$  MPa,  $R^2=0,425$ ) (Fig. 8). Effekten av basisdensitet er ikke signifikant forskjellig mellom rotstokker og andrestokker uten at man i tillegg tar hensyn til dimensjon ( $p=0,8326$ ). En modell med basisdensitet, stokktype og dimensjon forklarer 69,1 % av variasjonen i bøyefasthet til materialet fra de to feltene hvor det ble tatt ut både rotstokker og andrestokker ( $df=3-56$ ,  $F=41,8$ ,  $p<0,0001$ ,  $RMSE=6,0$  MPa,  $R^2=0,691$ ).



Statisk bøyefasthet øker signifikant med økende E-modul ( $df=1-92$ ,  $F=60,1$ ,  $p<0,0001$ ,  $RMSE=8,96$  MPa,  $R^2=0,395$ ) (Fig. 8). Sammenhengen mellom bøyefasthet og E-modul er ikke signifikant forskjellig mellom rotstokker og andrestokker uten at man i tillegg tar hensyn til dimensjon ( $p=0,5613$ ). En modell med E-modul, stokktype og dimensjon forklarer 80,8 % av variasjonen i bøyefasthet ( $df = 3-56$ ,  $F=78,7$ ,  $p<0,0001$ ,  $RMSE = 4,73$  MPa) på materialet fra de to feltene hvor det ble tatt ut både rotstokker og andrestokker. En modell med dimensjon, basisdensitet og E-modul forklarer 70,2 % av variasjonen i bøyefasthet ( $df = 3-90$ ,  $F=70,63$ ,  $p < 0,0001$ ,  $RMSE = 6,4$  MPa) til hele materialet.

### 3.2.4. Sorteringsutfall etter VPS-SRT-2

Sorteringsutfallet ved visuell sortering etter VPS-SRT-2 (Ranta-Maunus 1999) er presentert i Tabell 7. Krok og avsmaling er de mest vanlige nedklassingsårsakene til rundtømmer sortert i klasse "B". Krok er nedklassingsårsak for 82 % og avsmaling for 79 % av stokkene sortert i denne klassen. Deretter følger tennar (25 %) og fiberhelling (4 %), mens ingen stokker er nedklasset til "B" på grunn av kvist. 89 % av stokkene som er sortert til "Vrak" har krok som overskrider kravene til kvalitet "B", mens tennar er representert som nedklassingsårsak i 28 % av de samme stokkene. Insektskade, som ikke er tillatt verken i "A" eller "B", er nedklassingsårsak for 14 % av stokkene, for det meste av det som ble testet september 2003. Diameter til største kvist (6 %) og avsmaling (3 %) er også årsaker til nedklassing til "Vrak". 12 % av stokkene som er nedklasset til "Vrak" har kvistegenskaper som kvalifiserer til "B".

Tabell 7. Sorteringsutfall for rundtømmer sortert etter VPS-SRT-2 (Ranta-Maunus 1999).

Sorteringsutfall etter VPS-SRT-2			
Kvalitet:	A	B	Vrak
Antall stokker:	1	28	65
Andel av volum (%):	0,7	28,7	70,6

### 3.2.5. Visuell styrkesortering av rundtømmer

Korrelasjoner mellom henholdsvis basisdensitet, E-modul og bøyefasthet på den ene siden og sorteringskriteriene som er angitt i VPS-SRT-2 (Ranta-Maunus 1999) og Boren og Barnard (2000) på den andre siden er presentert i Tabell 8. Tabellen viser at de viktigste kriteriene ved visuell styrkesortering av rundtømmer er avsmaling, årringbredde og kvistdiameter.

Tabell 8. Korrelasjoner mellom konstruktive egenskaper og sorteringskriterier til rundtømmer. Signifikansnivå for korrelasjonene er angitt som ns for  $p > 0,05$ , \*for  $p < 0,05$ , \*\* for  $p < 0,01$  og \*\*\* for  $p < 0,001$ .

Karakteristika	Basisdensitet	E-modul	Bøyefasthet
Største kvistdiameter	-0,3127**	-0,3180**	-0,4372***
Relativ kvistdiameter	-0,2460*	-0,2971**	-0,2732***
Største kvistsum	-0,1919 <sup>ns</sup>	-0,2819**	-0,3726***
Relativ kvistsum	-0,1155 <sup>ns</sup>	-0,243**	-0,1929 <sup>ns</sup>
Fiberhelling	0,0545 <sup>ns</sup>	-0,1335 <sup>ns</sup>	-0,1455 <sup>ns</sup>
Årringbredde	-0,4951***	-0,1842 <sup>ns</sup>	-0,4402***
Reaksjonsved	0,1736 <sup>ns</sup>	0,1330 <sup>ns</sup>	0,2184*
Avsmaling	-0,3664***	-0,429***	-0,5437***
Krok	0,1059 <sup>ns</sup>	-0,1933 <sup>ns</sup>	-0,1308 <sup>ns</sup>

Sorteringsutfallet for rundtømmer sortert etter Boren og Barnard (2000) er presentert i Tabell 9. Ti av stokkene er sortert til C30, 64 til C24, mens 20 stokker er underkjent for C24. Alle stokkene som er nedklasset til C24 har avsmaling som er for stor i henhold til grenseverdiene for C30 (Tabell 3). I tillegg er største kvistdiameter nedklassingsårsak for ti av stokkene, kvistsum for to av stokkene og relativ kvistsum for én av stokkene. Elleve av de 20 stokkene som er underkjent for C24 har kvistdiameter som overstiger grenseverdien og ti stokker har for stor avsmaling.

Tabell 9. Sorteringsutfall for rundtømmer sortert etter Boren og Barnard (2000).

Sorterings-klasse	Antall	Andel av volum (%)	Bøyefasthet (MPa)		E-modul (GPa)		Basisdensitet ( $\text{kg/m}^3$ )	
			Gj.snitt	Std.avvik	Gj.snitt	Std.avvik	Gj.snitt	Std.avvik
C30	10	6,6	69,3	8,7	13,9	2,6	398	19,7
C24	64	67,1	59,9	10,6	12,4	2,2	385	30,9
Lavere	20	26,3	50,4	9,8	10,4	2,1	367	25,5

Gjennomsnittsverdiene for bøyefasthet, E-modul og basisdensitet for sorteringsklassene som er angitt i Tabell 9 viser en stigende trend med stigende styrkeklasse. Det er signifikant forskjellig bøyefasthet mellom kvalitetsklassene ( $df=2-91$ ,  $F=12,1975$ ,  $p<0,0001$ ). Students t-test viser at gjennomsnittlig bøyefasthet er signifikant forskjellig mellom alle tre sorteringsklassene. Gjennomsnittlig E-modul er signifikant forskjellig mellom sorteringsklassene ( $df=2-91$ ,  $F=9,687$ ,  $p=0,0002$ ). Students t-test viser at gjennomsnittlig E-modul er signifikant forskjellig mellom alle tre sorteringsklassene. Det er signifikant forskjellig basisdensitet mellom kvalitetsklassene ( $df=2-91$ ,  $F=4,416$ ,  $p=0,0148$ ). Students t-test viser at gjennomsnittlig basisdensitet er signifikant lavere for materialet som ble underkjent for C24 enn for C30 og C24, mens det ikke er vist signifikant forskjell i gjennomsnittlig basisdensitet mellom C24 og C30.

### 3.3. Egenskaper til firkant av furu

Gjennomsnitt og standardavvik for basisdensitet, E-modul og bøyefasthet til firkant av furu skåret med tilnærmet 2/3 kant er presentert i Tabell 10. I tabellen er det angitt verdier for hvert enkelt stokktype og for hele materialet samlet.

Tabell 10. Basisdensitet og mekaniske egenskaper til firkant av furu skåret med tilnærmet 2/3 kant.

Stokktype	Antall	Basisdensitet (kg/m <sup>3</sup> )		E-modul (GPa)		Bøyefasthet (MPa)	
		Gj.snitt	Std.avvik	Gj.snitt	Std.avvik	Gj.snitt	Std.avvik
Rotstokker	18	409	33	10,2	1,7	50,3	8,6
Andrestokker	18	370	27	8,8	1,6	43,3	6,2
Tredjestokker	15	367	29	8,3	1,5	39,4	8,0
Fjerdestokker	6	362	26	8,0	1,1	41,7	4,6
Alle stokker	57	381	35	9,0	1,7	44,3	8,4

#### 3.3.1. Basisdensitet til firkant

Gjennomsnittlig basisdensitet for hele materialet er 381 kg/m<sup>3</sup> og standardavviket er 35 kg/m<sup>3</sup> (Tabell 10). Nedre 5 % fraktil beregnet ved rangering av data i henhold til NS-EN 384 (Anonym 1995a) er 327 kg/m<sup>3</sup>. Fordelingen er presentert i Fig. 9.

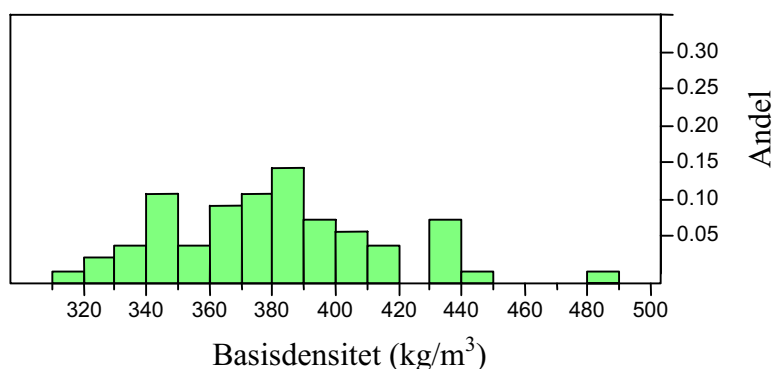


Fig. 9. Fordeling av basisdensitet for materialet av firkant.

Variansanalyse viser at basisdensiteten er signifikant forskjellig mellom ulike stokktyper ( $df=3-53$ ,  $F=8,01$ ,  $p=0,0002$ ) (Tabell 10). Students t-test viser at rotstokkene har signifikant høyere basisdensitet enn de øvrige stokkene som seg imellom ikke er signifikant forskjellige.

Enkel regresjonsanalyse viser at basisdensitet øker signifikant med økende dimensjon, men dette skyldes at de største dimensjonene ble tatt ut fra de nedre stokkene mens de minste ble tatt ut fra de øvre stokkene. Når det blir tatt hensyn til dette i analysen, er ikke effekten av dimensjon signifikant ( $p=0,5927$ ).

Det er ikke signifikant sammenheng mellom basisdensitet og årringbredde målt i toppenden av firkantene ( $df=1-55$ ,  $F=0,2729$ ,  $p=0,6035$ ). Heller ikke når man skiller mellom ulike stokktyper er det signifikant effekt av årringbredde ( $p=0,7356$ ).

### 3.3.2. E-modul til firkant

Gjennomsnittlig elastisitetsmodul ved statisk bøyning (E-modul) korrigert til 12 % fuktighet er 9,0 GPa og standardavviket er 1,7 GPa (Tabell 10). Fordelingen er presentert i Figur 10.

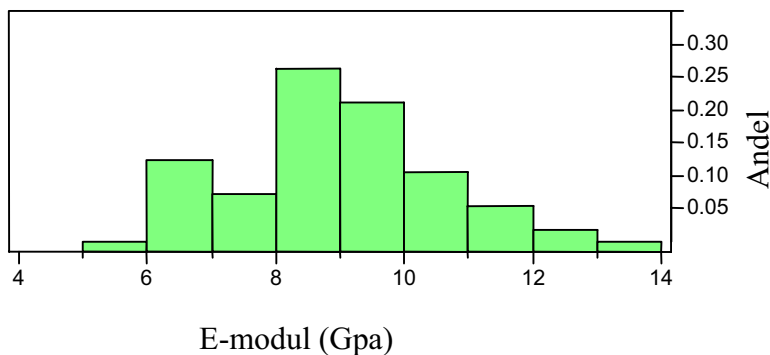


Fig. 10. Fordeling av E-modul for materialet av firkant.

Variansanalyse viser at E-modul er signifikant forskjellig mellom ulike stokktyper ( $df=3-53$ ,  $F=5,29$ ,  $p=0,0029$ ) (Tabell 10). Students t-test viser at E-modul er signifikant høyere for rotstokkene enn for de øvrige stokkene som seg imellom ikke er signifikant forskjellige,

Det er ikke signifikant effekt av dimensjon på E-modul ( $df=1-55$ ,  $F=1,58$ ,  $p=0,2145$ ). Det er heller ikke signifikant effekt av dimensjon når man tar hensyn til forskjeller mellom ulike stokktyper ( $p=0,4067$ ).

Det er ikke signifikant sammenheng mellom E-modul og årringbredde målt i toppenden av firkantene ( $df=1-55$ ,  $F=0,0352$ ,  $p=0,8519$ ). Det er heller ikke signifikant effekt av årringbredde når man tar hensyn til forskjeller mellom ulike stokktyper ( $p=0,4947$ ).

E-modul øker signifikant med økende basisdensitet ( $df=1-55$ ,  $F=37,61$ ,  $p<0,0001$ ). Kovariansanalyse viser at sammenhengen ikke er signifikant forskjellig mellom ulike stokktyper ( $p=0,4633$ ) (Figur 11).

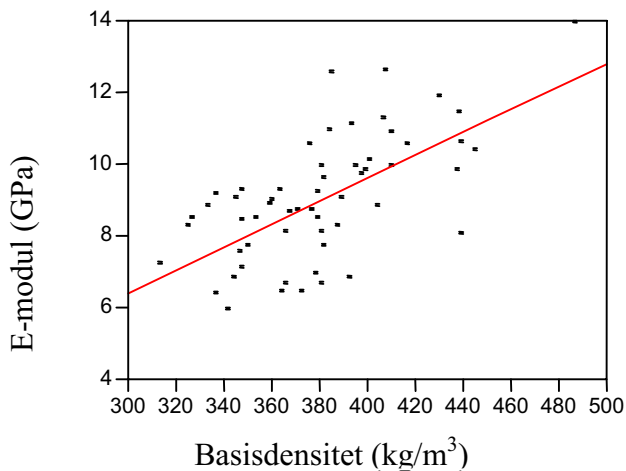


Fig. 11. Sammenheng mellom E-modul og basisdensitet for firkant.

### 3.3.3. Statisk bøyefasthet til firkant

Gjennomsnittlig statisk bøyefasthet korrigert til 12 % fuktighet er 44,3 MPa og standardavviket er 8,4 MPa (Tabell 10). Nedre 5 % fraktil beregnet ved rangering av data i henhold til NS-EN 384 (Anonym 1995a) er 32,8 MPa. Fordelingen er presentert i Figur 12.

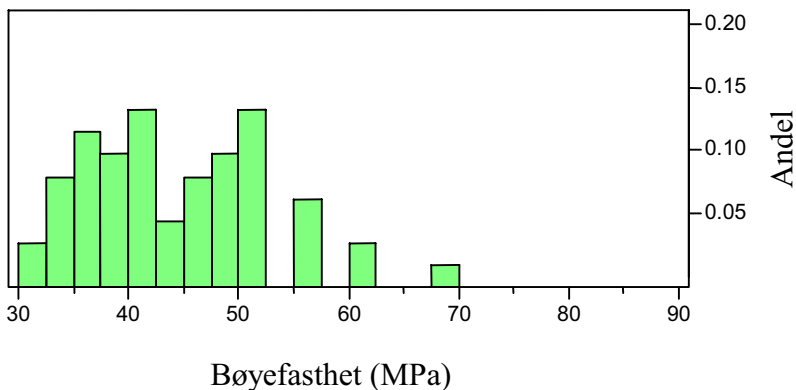


Fig. 12. Fordeling av bøyefasthet for hele materialet av firkant.

Variansanalyse viser at statisk bøyefasthet er signifikant forskjellig mellom ulike stokktyper ( $df=3-53$ ,  $F=6,56$ ,  $p=0,0007$ ) (Tabell 10). Students t-test viser at gjennomsnittlig bøyefasthet er signifikant høyere for rotstokkene enn for de øvrige stokkene som seg imellom ikke er signifikant forskjellige.

For hele materialet er det ikke signifikant effekt av dimensjon, men dette gir ikke det riktige bildet siden de største dimensjonene bare ble tatt ut fra rotstokker og de

minste dimensjonene bare ble tatt ut høyere opp i trærne. Når man tar hensyn til forskjellen mellom ulike stokktyper, er det signifikant negativ effekt av dimensjon ( $p=0,0115$ ). Kovariansanalyse med stokktype og dimensjon som forklaringsvariabler reduserer variansen med 35,5 % ( $df=4-52$ ,  $F=7,18$ ,  $p=0,0001$ ,  $RMSE = 7,0$  MPa) (Fig.13).

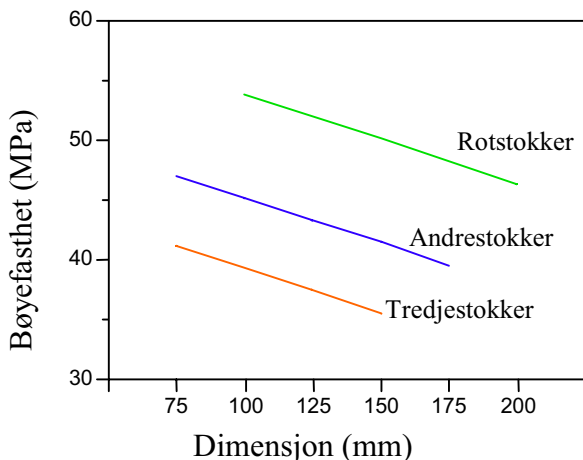


Fig. 13. Effekt av dimensjon og stokktype på bøyefasthet til firkant.

Enkel regresjonsanalyse viser ingen signifikant effekt av årringbredde på bøyefasthet til firkant ( $df=1-55$ ,  $F=1,71$ ,  $p=0,1966$ ). Det er heller ikke signifikant effekt av årringbredde når man tar hensyn til forskjeller mellom de ulike stokktypene ( $p=0,48$ ).

Enkel regresjonsanalyse viser at bøyefasthet øker signifikant med økende basisdensitet ( $df=1-55$ ,  $F=41,3$ ,  $p<0,0001$ ,  $RMSE=6,4$  MPa,  $R^2=0,43$ ) (Fig. 14). Kovariansanalyse viser at sammenhengen mellom bøyefasthet og basisdensitet ikke er signifikant forskjellig mellom ulike stokktyper ( $p=0,19$ ).

Enkel regresjonsanalyse viser at bøyefasthet øker signifikant med økende E-modul ( $df=1-55$ ,  $F=89,3$ ,  $p<0,0001$ ,  $RMSE=5,2$  MPa,  $R^2=0,62$ ) (Fig. 14). Kovariansanalyse viser at sammenhengen mellom bøyefasthet og E-modul ikke er signifikant forskjellig mellom ulike stokktyper ( $p=0,16$ ).

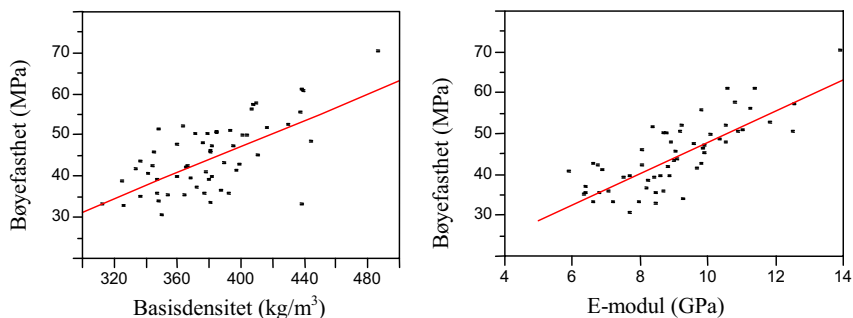


Fig. 14. Sammenheng mellom bøyefasthet og basisdensitet (venstre) og bøyefasthet og E-modul (høyre) for firkant.

### 3.3.4. Visuell styrkesortering av firkant etter NS-INSTA 142

Korrelasjoner mellom henholdsvis basisdensitet, E-modul og bøyefasthet på den ene siden og ulike sorteringskriterier på den andre siden er presentert i Tabell 11. Tabellen viser at kvist er den viktigste egenskapen for visuell sortering. Verdiene tyder på at kvist i strekksonen har noe større betydning enn kvist i trykksonen for bøyefasthet og E-modul.

Tabell 11. Korrelasjoner mellom konstruktive egenskaper og sorteringskriterier til firkant. Signifikansnivå for korrelasjonene er angitt som ns for  $p > 0,05$ , \* for  $p < 0,05$ , \*\* for  $p < 0,01$  og \*\*\* for  $p < 0,001$ .

Karakteristika	Basisdensitet	E-modul	Bøyefasthet
Største kvistdiameter	-0,2437 <sup>ns</sup>	-0,4300 <sup>***</sup>	-0,5910 <sup>***</sup>
Relativ kvistdiameter	-0,4064 <sup>**</sup>	-0,4402 <sup>***</sup>	-0,5317 <sup>***</sup>
Største kvist i strekk	-0,2694 <sup>*</sup>	-0,4455 <sup>***</sup>	-0,6355 <sup>***</sup>
Relativ kvistdiameter i strekk	-0,3884 <sup>*</sup>	-0,4238 <sup>***</sup>	-0,5264 <sup>***</sup>
Største kvist i trykk	-0,2369 <sup>ns</sup>	-0,4092 <sup>**</sup>	-0,5721 <sup>***</sup>
Relativ kvist i trykk	-0,4198	-0,4445 <sup>***</sup>	-0,5465 <sup>***</sup>
Største kvistgruppe	-0,1923 <sup>ns</sup>	-0,4100 <sup>**</sup>	-0,5761 <sup>***</sup>
Relativ kvistgruppe	-0,358 <sup>**</sup>	-0,4445 <sup>***</sup>	-0,5438 <sup>***</sup>
Fiberhelling	0,1098 <sup>ns</sup>	0,1646 <sup>ns</sup>	0,1444 <sup>ns</sup>
Åringsbredde	-0,0703 <sup>ns</sup>	-0,0253 <sup>ns</sup>	-0,1736 <sup>ns</sup>
Reaksjonsved	0,2582 <sup>ns</sup>	0,1123 <sup>ns</sup>	0,1184 <sup>ns</sup>
Andel kant på strekkside	0,0144 <sup>ns</sup>	0,2869 <sup>*</sup>	-0,0153 <sup>ns</sup>
Andel kant på trykkside	-0,1039 <sup>ns</sup>	0,3316 <sup>*</sup>	0,1319 <sup>ns</sup>

Sorteringsutfallet for firkant sortert etter kravene til kvist, fiberhelling og årringbredde i NS-INSTA 142 er presentert i Tabell 12. Alle som er nedklasset til T2 har kvist som nedklassingsårsak. I tillegg har 29 av de 31 kvistgruppe som nedklassingsårsak og 2 har fiberhelling som nedklassingsårsak. Den ene som er nedklasset til T0 har kvistgruppe som nedklassingsårsak.

Tabell 12. Sorteringsutfall og egenskaper til firkant sortert etter kravene til kvist, fiberhelling og årringbredde i de ulike styrkeklassene etter NS-INSTA 142.

Sorterings- klasse	Antall	Volum- andel	Basisdensitet (kg/m <sup>3</sup> )		E-modul (GPa)		Bøyefasthet (MPa)	
			Gj.snitt	Std.avvik	Gj.snitt	Std.avvik	Gj.snitt	Std.avvik
T3	13	0,434	402	38	10,3	1,9	49,9	9,1
T2	31	0,422	374	36	8,9	1,6	44,7	7,7
T1	12	0,141	375	18	8,1	1,2	37,5	4,2
T0	1	0,003	382	-	7,7	-	39,4	-

Variansanalyse viser ikke signifikant forskjell i basisdensitet mellom sorteringsklassene (df=3-53, F=2,34, p=0,084). E-modul er signifikant forskjellig mellom sorteringsklassene (df=3,53, F=4,62, p=0,006). Students t-test viser at firkant sortert til klasse T3 har høyere E-modul enn firkant som er sortert til T1 og T2. Det er også signifikant forskjellig bøyefasthet mellom sorteringsklassene (df=3-53, F=5,89, p=0,0015). Students t-test viser at sorteringsklassene T1, T2 og T3 alle har signifikant forskjellig bøyefasthet. Gjennomsnittlig bøyefasthet viser en økende trend med høyere sorteringsklasse (Tabell 12).

### 3.4. Effekt av skjæring på mekaniske egenskaper

Gjennomsnitt og standardavvik til basisdensitet, E-modul og bøyefasthet for sammenlignbare materialer av rundtømmer og firkant er presentert i Tabell 13.

Tabell 13. Sammenligning av rundtømmer og firkant av rotstokker fra feltene 1.Lesja og 4.Dovre og andrestokker fra 4.Dovre.

Materiale	Antall	Basisdensitet (kg/m <sup>3</sup> )		E-modul (GPa)		Bøyefasthet (MPa)	
		Gj.snitt	Std.avvik	Gj.snitt	Std.avvik	Gj.snitt	Std.avvik
Rundtømmer	27	379	29	12,2	2,4	58,3	2,6
Firkant	27	393	37	9,8	1,9	48,5	7,8

Enveis variansanalyse viser som ventet at basisdensitet ikke er signifikant forskjellig mellom rundtømmer og firkant (df=1-52, F=2,184, p=0,1455). Enveis variansanalyse viser at E-modul er signifikant høyere for rundtømmer enn for firkant skåret av tilsvarende tømmer fra de samme feltene (df=1-52, F=17,89, p<0,0001). Det samme resultatet er også funnet for bøyefasthet (df=1-52, F=11,78, p=0,0012).



Toveis variansanalyse av bøyefasthet til materialene fra 4.Dovre hvor forklaringsvariablene var materiale (rundtømmer eller firkant), stokktype og interaksjon mellom disse viser at det er signifikant forskjell mellom rotstokker og andrestokker ( $p=0,0358$ ), men interaksjonen er ikke signifikant ( $p=0,9397$ ). Tilsvarende analyse av E-modul viser også at det er forskjell mellom rotstokker og andrestokker, mens interaksjonen ikke er signifikant ( $p=0,9055$ ).

Toveis variansanalyse av forskjellen i bøyefasthet mellom firkant og rundtømmer av rotstokker viser ingen signifikant effekt av sted som blokkeffekt ( $p=0,36$ ) eller interaksjon mellom materiale og sted ( $p=0,90$ ). Forskjellen i E-modul mellom firkant og rundtømmer er ikke signifikant påvirket av sted ( $p=0,13$ ) eller interaksjon mellom materiale og sted ( $p=0,56$ ).

## 4. Diskusjon

### 4.1. Sammenligning med tidligere undersøkelser

I Tabell 14 er det presentert gjennomsnittsverdier til rundtømmerets egenskaper sammen med tilsvarende verdier for rundtømmer av furu fra Finland og Storbritannia testet i EU-prosjektet FAIR CT 95-0091 (Ranta-Maunus 1999). Gjennomsnittlig alder på materialene var 28 år i Storbritannia og 33 år i Finland. Både gjennomsnittet og nedre 5 % fraktil av bøyefasthet er høyere i det foreliggende materialet enn det som ble funnet i Finland og Storbritannia. Forskjellen er særlig stor i forhold til materialet fra Finland som hadde de laveste verdiene, mens det er mindre forskjell i forhold til nedre 5 % fraktil til materialet fra Storbritannia.

Tabell 14. Sammenligning med rundtømmer av furu som ble testet i prosjektet FAIR CT 95-0091. Data er hentet fra ulike tabeller hos Ranta-Maunus (1999).

Materiale	Antall	Diameter (mm)		Bøyefasthet (MPa)		E-modul (GPa)	
		Gj.snitt	Std.avvik	Gj.snitt	Std.avvik	Gj.snitt	Std.avvik
Finland	175	125	22	50,3	11,2	10,9	2,4
Storbritannia	100	-	-	53,8	9,3	13,1	4,1
Foreliggende materiale	94	167	31	58,9	11,5	12,1	2,4

Gjennomsnittlig E-modul er høyere enn det som ble funnet i Finland, men lavere enn det som ble funnet i Storbritannia. Forskjellene er imidlertid små, og siden det heller ikke ble funnet forskjeller mellom feltene i undersøkelsen, er det lite som tyder på geografiske forskjeller i E-modul. Boren og Barnard (2000) som også har analysert materialet fra Finland og Storbritannia forklarer forskjellen mellom materialene fra de to landene med lokale vekstforhold, og mener at det ikke er grunnlag for å si at det er geografiske forskjeller. Materialet fra Storbritannia stammer fra ett bestand hvor veksthastigheten var lav og trærne hadde svært små kvister.

Gjennomsnittlig bøyefasthet og E-modul er også vesentlig høyere enn hva Wolfe og Moseley (2000) fant for 24 år gammel *Pinus ponderosa* i Oregon. Også dette materialet var betydelig yngre enn materialet som er testet i foreliggende under-

søkelse. Dette betyr at andelen ungdomsved har betydning. Siden ungdomsved i furu har lavere densitet og er svakere enn moden ved, kan forskjellen i alder være en årsak til forskjellene i de mekaniske egenskapene. Dette betyr også at styrkeegenskaper ikke uten videre kan overføres mellom materialer av ulik alder.

#### **4.2. Variasjon i fysiske og mekaniske egenskaper til rundtømmer**

Variasjonskoeffisienten til bøyefasthet er 19,5 % for hele materialet. Dette er lavt i forhold til at Ranta-Maunus m.fl. (2001) oppgir variasjonskoeffisient for usortert trelast av gran og furu til 28,6 %. En av årsakene til den lave variasjonen er at materialet stammer fra et begrenset geografisk område som ligger nær grensen for furuas naturlig utbredelse. I slike områder er det vanligvis mindre variasjon i virkesegenskapene enn det er i områder med bedre vekstforhold. Variasjonskoeffisientene som Ranta-Maunus m.fl. (2001) oppgir for rundtømmer er da også noe høyere enn hva som er funnet i det foreliggende materialet.

Fordelingen av bøyefasthet for materialet i denne undersøkelsen viser at de svakeste stokkene som er avgjørende for dimensjonerende fasthet har relativt høy verdi sammenlignet med trelast. Dette kan tyde på at de laveste verdiene av bøyefasthet på trelast skyldes årsaker som opptrer ved skur. Effekten av kvist er større på skåret trelast enn på rundtømmer siden de dekker en større andel av tverrsnittet (Boren og Barnard 2000) og siden fiberforstyrrelser omkring kvist fører til at flere fiber blir brutt ved skur.

En annen forklaring på den lave variasjonen er at utvalget er begrenset til 2/3 rotstokker og 1/3 andrestokker. Siden alle stokkene er tatt ut i nedre del av treet, er det relativt små kvister i forhold til stokkens diameter. Stokker som tas ut høyere i trærne vil ha større kvister i forhold til stokkens diameter (Björklund 1997). Siden bøyefasthet er negativt korrelert med relativ kvistdiameter (Tabell 8), vil et utvalg av rundtømmer hvor stokker høyere opp i trærne også er representert sannsynligvis ha lavere gjennomsnittsverdier enn hva som er tilfellet for denne undersøkelsen.

Variasjonskoeffisientene til E-modul og basisdensitet for rundtømmeret er henholdsvis 7,9 % og 19,8 %, mens Ranta-Maunus m.fl. (2001) oppgir tilsvarende størrelser for trelast til henholdsvis 10,5 % og 22,0 %. Forskjellen i variasjon mellom usortert skåret trelast og rundtømmer er altså mindre for disse egenskapene enn for bøyefasthet. Dette tyder på at skjæring øker variasjonen i bøyefasthet på grunn av kvist og andre feil som opptrer tilfeldig, mens variasjonen i E-modul i større grad følger variasjonen i densitet og er mindre påvirket av skjæring.

Forskjellen mellom feltene i basisdensitet strider mot hva man skulle forvente basert på tidligere undersøkelser av furu fra høyereliggende skog Nord-Gudbrandsdalen (Birkeland 1999). I sin undersøkelse fant Birkeland (1999) at densitet avtar med økende høyde over havet. En mulig forklaring er at forskjellen skyldes ulikt innhold av ekstraktivstoff. Innhold av ekstraktivstoff i kjerneved av furu kan ha betydning for densiteten, uten at det påvirker de mekaniske egenskapene (Foslie 1966). At det ikke var bestandsforskjeller i E-modul og bøyefasthet til tross for forskjellen i basisdensitet støtter denne forklaringen.

Resultatene viser at det er effekt av dimensjon på bøyefasthet, men ikke på E-modul og basisdensitet. Dette samsvarer med NS-EN 384 som angir at bøyefasthet og strekkfasthet skal korrigeres for dimensjon mens E-modul og basisdensitet ikke

skal korrigeres (Anonym 1995a). Dimensjonseffekten er avhengig av utvalget siden rotstokker har større diameter enn stokker høyere i de samme trærne. Fra trær med ulik diameter i brysthøyde vil stokker med samme toppdiameter være tatt ut i ulike høyder. Rotstokkene har høyere basisdensitet og E-modul enn andrestokker, og man skulle dermed forvente at de også har høyere bøyefasthet (Figur 8). Når dette ikke er tilfellet, kan det skyldes at dimensjonseffekten på bøyefasthet er sterkere enn forskjellen mellom rotstokker og andrestokker. Den relativt sterke effekten av dimensjon i dette materialet kan forklares med at det var stor andel rotstokker. I et utvalg med lik fordeling av rotstokker, andrestokker og stokker høyere i trærne vil sannsynligvis dimensjonseffekten bli svakere siden rotstokker og andrestokker med samme dimensjon kommer fra ulike trær med ulik densitet og ulike kvistegenskaper.

### **4.3. Styrkesortering av rundtømmer**

Analysene av korrelasjoner mellom de konstruktive egenskapene og sorteringskriteriene (Tabell 8) støtter valget av sorteringskriterier hos Boren og Barnard (2000). Sorteringsutfallet viser også at man greier å rangere tømmeret etter bøyefasthet, E-modul og basisdensitet. Siden nedre 5 % fraktil av bøyefastheten til hele materialet usortert er 40,0 MPa, tyder imidlertid resultatene i Tabell 9 på at sorteringen undervurderer rundtømmerets egenskaper. Materialet er for lite til å lage nye sorteringsregler, men resultatene tyder på at kravene til kvist og avsmaling er for strenge, mens grensene for årringbredde ligger over det som er aktuelt for dette materialet.

Analysene av bøyefasthet tyder på at man kan oppnå bedre styrkesortering ved å bruke dimensjon, basisdensitet og E-modul som forklaringsvariabler enn hva man oppnår med visuell sortering. En modell for bøyefasthet med de nevnte størrelsene som forklaringsvariabler reduserer standardavviket til 6,4 MPa, mens beste modell basert på visuell bedømming reduserer standardavviket til 8,9 MPa.

### **4.4. Variasjon i mekaniske egenskaper til firkant**

Variasjonskoeffisienten til E-modul er 18,8 %. Dette er betydelig høyere enn 10,5 % som Ranta-Maunus m.fl. (2001) oppgir for trelast av gran og furu med tilsvarende densitet i Finland. Det er også betydelig høyere enn 10,5 % som ble funnet for rundtømmer i foreliggende studie. Den høye variasjonskoeffisienten til E-modul kan delvis forklares med at gjennomsnittsverdien var lavere enn i de undersøkelsene som det ble sammenlignet med. En annen årsak kan være at det i denne undersøkelsen inngår materiale fra stokker som ikke ville blitt godkjent som sagtømmer. Dette gjelder spesielt toppstokker med liten dimensjon.

Variasjonskoeffisienten til bøyefasthet er 19,0 %. Dette er betydelig lavere enn det Ranta-Maunus m.fl. (2001) oppgir for trelast av gran og furu med tilsvarende densitet i Finland. En positiv følge av den lave variasjonen er at nedre 5 % fraktil som er avgjørende for dimensjonering blir så høy som 32,8 MPa.

Det er ikke funnet effekt av dimensjon på bøyefasthet for hele materialet. Den manglende dimensjonseffekten på hele materialet skyldes at firkant fra rotstokkene har høyere bøyefasthet enn de øvrige stukkene. Siden firkant fra rotstokkene også

har større dimensjon, blir effekten av dimensjon redusert. Innenfor hver stokktype er det signifikant effekt av dimensjon (Figur 13). Dette tyder på at forskjellen mellom firkant fra rotstokker og øvrige stokker er betydelig større enn dimensjonseffekten i dette materialet.

De viktigste sorteringskriteriene i henhold til NS-INSTA 142 er kvistegenskapene. Analysene av korrelasjoner mellom de konstruktive egenskapene og sorteringskriteriene viser også at dette er den mest betydningsfulle egenskapen ved visuell sortering. Korrelasjonene mellom de mekaniske egenskapene og ulike kvist-data (Tabell 11) er i samme nivå som korrelasjonen med basisdensitet. Korrelasjonen mellom bøyefasthet og E-modul er betydelig høyere. Dette tyder på at man kan oppnå bedre sortering ved maskinell sortering som er basert på måling av E-modul. Alternativet er en visuell sortering basert på registrering av kvist.

#### **4.5. Effekt av skjæring på mekaniske egenskaper**

Resultatene viser at både E-modul og bøyefasthet er betydelig lavere for firkant med 2/3 kant enn for rundtømmer (Tabell 13). Dette viser at skjæring har en betydelig negativ effekt på de mekaniske egenskapene. Dette skyldes at fibre som brytes ved skur er viktige for E-modul og bøyefasthet siden det er i de ytre lagene at de største spenningene opptrer. Fiberbrudd vil være svake punkt hvor brudd sannsynligvis vil starte. En annen virkning av skjæring er at den ytre delen av stammen som skjæres bort vanligvis har høyere densitet, E-modul og bøyefasthet enn ungdomsveden som finnes nærmere marginen.

Det er ikke funnet forskjellig effekt av skjæring på rotstokker og andrestokker. Dette skulle man forvente siden stokker høyere opp i trærne vanligvis har større kvist og dermed større fiberforstyrrelser som fører til mer fiberbrudd ved skur. Det er også større andel ungdomsved høyere i trærne, og man kan anta at effekten av skur også av den grunn er større for andrestokker. Når dette ikke fremkommer av resultatene, kan det skyldes at materialet har relativt små kvister og at trærne er relativt gamle slik at andelen ungdomsved er liten i alle stakkene. Materialet til denne delen av undersøkelsen består av rotstokker og andrestokker fra ett felt siden det ikke ble testet rundtømmer av annet enn rotstokker fra det andre feltet. Materialet er derfor svært begrenset og resultatene kan ikke generaliseres uten at det gjennomføres flere tester.

#### **4.6. Konklusjoner**

For å konkludere må det tas forbehold om forutsetningene som gjelder for studien. Det gjelder først og fremst fuktigheten til rundtømmeret som var relativt høy og som medførte stor korreksjon for fuktighet. Det andre gjelder utvalget av rundtømmer som var begrenset til 2/3 rotstokker og 1/3 andrestokker. Rundtømmer som tas ut høyere i trærne kan ha andre egenskaper.

Verdiene for bøyefasthet og E-modul til rundtømmer av furu fra høyereliggende skog i Lesja og Dovre er høye. Særlig de laveste verdiene for bøyefasthet er høye sammenlignet med trelast. Dette medfører at dimensjonerende verdi for bøyefasthet til rundtømmer blir høy og at materialene derfor vil være godt egnet som konstruk-

sjonsmaterialer. Rundtømmer kan styrkesorteres visuelt, men europeiske reglement som finnes er utviklet for tynningsvirke og undervurderer bøyefastheten til dette materialet. Styrkesortering basert på dimensjon, E-modul og basisdensitet vil gi mulighet for bedre nøyaktighet enn visuell sortering. Firkant med 2/3 kant har betydelig lavere bøyefasthet og E-modul enn rundtømmer, men verdiene for bøyefasthet er likevel relativt høye sammenlignet med skarpkantet trelast. Til formål hvor det er viktig med plane flater og hvor kravet til bøyefasthet og E-modul er mindre kan firkant være et godt alternativ.

## 5. Referanser

- Anonym 1994. Nordisk tre. Sorteringsregler for skurlast av furu og gran, Treindustriens Tekniske Forening. ISBN 91-7322-178-3. 64 s + bilder.
- Anonym 1995a. Konstruksjonstrevirke. Bestemmelse av karakteristiske verdier for mekaniske egenskaper og densitet. Norsk Standard NS-EN 384: 13 s.
- Anonym 1995b. Konstruksjonstrevirke. Styrkeklasser. Norsk standard NS-EN 338: 6 s.
- Anonym 1995c. Trekonstruksjoner. Konstruksjonstre og limt laminert tre. Bestemmelse av noen fysiske og mekaniske egenskaper. Norsk Standard NS-EN 408: 12 s.
- Anonym 1997. Nordiske regler for visuell styrkesortering av trelast. Norsk Standard NS-INSTA 142: 27 s.
- Birkeland, R. 1999. Rapport fra fjellfuru-prosjektet. Norges landbrukshøgskole, Institutt for skogfag: 26 s.
- Björklund, L. 1997. The interior knot structure of *Pinus sylvestris* stems. Scand. J. For. Res. 12(4): 403-412.
- Boren, H. & Barnard G. 2000. Analysis of the strength and stiffness properties for small diameter round Scots pine timber tested in bending and compression parallel to the grain. Paperi ja Puu - Paper and Timber 82(1): 48-56.
- Foslie, M. 1966. En teknisk sammenligning av furu fra nordlige strøk med furu fra østlandsområdet. Norsk Treteknisk Institutt, Oslo: 42 s.
- Foslie, M. 1983. Terminologi for trelastbransjen. Norsk Treteknisk Institutt, Oslo: 284 s.
- Ranta-Maunus, A. 1999. Round small-diameter timber for construction. Final report of project FAIR CT 95-0091. VTT. Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finland: 191 p + appendix.
- Ranta-Maunus, A., Fonselius, M., Kurkela, J. & Toratti, T. 2001. Reliability analysis of timber structures. VTT. Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finland: 102 p + appendix.
- Wolfe, R. & Moseley, C. 2000. Small-diameter log evaluation for value-added structural applications. Forest Products Journal 50(10): 48-58.



## Rapport fra skogforskningen

### *Utkommet i 2004:*

- 1-04 *Peder Gjerdrum*: Fuktrelasjoner for kommersiell bartrelast
- 2-04 *Even Bergsgen, Hans Fredrik Hoen, Knut Veisten og Petter Økseter*: Konsekvenser på virkesproduksjon av endrede transportkostnader – fra FAS til CIF
- 3-04 *Ketil Kohmann og Nils Lexerød*: Proveniensenforsøk med svartor (*Alnus glutinosa* Gaertn.) i Norge.
- 4-04 *Ole Martin Bollandsås, Hans Fredrik Hoen og Anders Lunnan*: Nullområder i skogbruket – en prinsipiell betraktning.
- 5-04 *Ole Martin Bollandsås, Hans Fredrik Hoen og Anders Lunnan*: Nullområder i skogbruket – vurdering av driftskostnader og miljøverdier

