

## Bjørk i synlige konstruksjoner

*Birch in visible constructions*

*Saksbehandler:* Vegard Kilde, Kjell Helge Solli, Birte Pitzner,  
Per Lind og Jan Bramming  
*Oppdragsgiver* Moelven Limtre AS, Foreningen Norske Lauvtrebruk,  
Föreningen Svenska Lövsågverk og Skogeiersamvirket  
*Dato:* Oktober 2006

### Sammendrag

Forprosjektet konkluderte med at bjørk har et potensial som lamellvirke for limtre i høye fasthetsklasser. Fasthetsegenskaper, stivhet, styrkesortering og fingerskjøt-/limteknologi må imidlertid undersøkes nærmere for å dokumentere de høyere fasthetsklassene.

På bakgrunn av strekktesting av ca. 1200 limtrelameller av nordisk bjørk, anbefales det å definere to egne fasthetsklasser, LTB 34 og LTB 25. Dette skyldes at de påviste egenskapene hos nordisk bjørk ikke er i overensstemmelse med angitte egenskaper i EN 338 for D-klassene ("hardwood species"). Dette gjelder spesielt forholdet til densitet.

Anbefalte verdier for limtrelameller av bjørk, fasthetsklasse LTB 34 og LTB 25:

	$f_{t0k}$ N/mm <sup>2</sup>	$E_{t0mean}$ N/mm <sup>2</sup>	$\rho_k$ kg/m <sup>3</sup>
LTB 34	34,0	14300	550
LTB 25	25,0	12900	550

Fasthetsklasse LTB 34 oppnås ved visuell sortering av bjørkelameller iht. sorteringsklasse T3. Fasthetsklasse LTB 25 oppnås ved visuell sortering av bjørkelameller iht. sorteringsklasse T1 (T1 + T2). Tallet i klassebetegnelsene angir de respektive klassenes karakteristiske strekkfasthet.

Liming av bjørkelameller med godkjente limtyper for bartresorter oppviser en annen yteevne brukt på lauvtre som har høyere densitet.

Ved produksjon av limtrebjelker i bjørk, er det nødvendig å finne et passende lim. I innledende tester ble ni limtyper som er godkjent for bruk ved liming av granlameller, testet med hensyn til mulig bruk i liming av bjørkelameller til limtrebjelker. To av de testede limsortene ble valgt: Et MUF-lim og et EPI-lim.

**Stikkord:** Bjørk, synlige konstruksjoner, fasthetsegenskaper, fingerskjøt-/limteknologi  
**Keywords:** *Birch, visible constructions, strength properties, finger joint and glulam technology*

PRF-lim ble ikke valgt pga. den mørke fargen, som ikke tilfredsstillter kundenes krav om en lys, usynlig limfuge. Epoxy-limet besto også testen, men er normalt brukt kun ved reparasjoner og ikke til produksjon pga. limets høye kostnad. Polyurethansystemene overbeviste ikke i denne gjennomføringen med bjørk.

De to valgte limtypene ble brukt til å produsere fingerskjøter. To fingerlengder ble prøvd: 15 mm og 30 mm. Dessuten ble to styrkenivåer testet: T1 og T3. De produserte fingerskjøtene ble testet mht. bøye- og strekkstyrke. Produksjon av fingerskjøter er en utfordring inntil alle nødvendige parametere er fastslått. Her er for eksempel følgende viktig: Trykk, lukketid, maskinelt utstyr, valg av lim, fingerprofil etc.

Resultatene av flere testserier tilsier at det er mulig å produsere pålitelige fingerskjøter av bjørk med tilstrekkelig styrke.

Avslutningsvis ble det produsert 14 limtrebjelker av bjørkelameller.

$f_{m,g,k}$ N/mm <sup>2</sup>	$E_{0mean}$ N/mm <sup>2</sup>	$\rho_k$ kg/m <sup>3</sup>
40,0	14700	600

Verdiene er omregnet til et referansetverrsnitt lik 150 mm x 600 mm.

En forutsetning for å benytte de anbefalte verdiene, er at bjelkeoppbygning, fasthetsklasser og limtyper er identiske med hva som er anvendt i dette prosjektet.

Limtre produsert etter disse forutsetninger anbefales kun benyttet i Klimaklasse 1 eller Klimaklasse 2, se NS 3470-1, pkt. 11.1.4 (eventuelt Service class 1 eller Service class 2 angitt i EN 1995-1-1:2004 pkt. 2.3.1.3).

## Summary

A pre-study concluded that birch has potential as a laminate material in high strength glulam. However, strength, stiffness, strength grading, finger jointing and glue technology needed to be investigated further. The aim was to document suitable high strength classes.

As a result of tensile testing ca. 1200 laminates of Scandinavian birch, two strength classes were defined: LTB 34 and LTB 25. This is due to the fact that Scandinavian grown birch does not conform to the given properties as outlined in EN 338 for D-class (hardwood species), especially regarding density.

Recommended values for glulam lamellae of birch, strength class LTB 34 and LTB 25:

	$f_{t0k}$ N/mm <sup>2</sup>	$E_{t0mean}$ N/mm <sup>2</sup>	$\rho_k$ kg/m <sup>3</sup>
LTB 34	34.0	14300	550
LTB 25	25.0	12900	550

Strength class LTB 34 is determined by visual grading of birch lamellae according to class T3. Strength class LTB 25 is determined by visual grading of birch laminates according to class T1 + T2. The number in the class description represents the respective characteristic tensile strength.

Gluing of birch lamellae with approved adhesives for coniferous wood species performs differently when used on hardwood with a higher density.

For the purpose of producing birch glulam beams, it is necessary to find an appropriate adhesive. In the preliminary tests, nine adhesives that are approved for the use of gluing spruce lamellae were tested regarding their possible application for gluing of birch lamellae into glulam beams. Two of the tested adhesives were chosen: A MUF- and an EPI-adhesive system. The PRF-resins were not chosen because of their dark colour, which does not meet present requirements from customers who want a light, invisible glue line. The epoxy-adhesive passed the test as well, but is normally only used for repairs and not for the production because of the high costs of the adhesive. The polyurethane-systems were found unsuitable when used with birch.

Of importance in the production of finger joints are pressure, assembly time, machine equipment, choice of adhesive and finger profile. Two finger lengths were tried out: 15 mm and 30 mm. Two strength grades were also tested: T1 and T3. The produced finger joints were tested for their bending strength and tensile strength.

The results of several test series indicate that it is possible to produce reliable birch finger joints with sufficient strength. Finally, 14 glulam beams were produced with birch lamellae with the following strength values:

$f_{m,g,k}$ N/mm <sup>2</sup>	$E_{0mean}$ N/mm <sup>2</sup>	$\rho_k$ kg/m <sup>3</sup>
40.0	14700	600

Values are calculated from a cross sectional area 150 mm x 600 mm.

A condition for the use of the recommended values is that the beam construction, strength class and glue type are identical to those used in this project.

Glulam produced according to these conditions is recommended only for use in service class 1 or 2, see NS 3470-1, pkt. 11.1.4 (possibly Service class 1 or Service class 2 given in EN 1995-1-1:2004 pkt. 2.3.1.3).

## Forord

Treteknisk har gjennomført et forskningsprosjekt hvor ulike sider vedrørende bruk av bjørk som råstoff for limtre er undersøkt. Bjørk i synlige konstruksjoner er et nyskappings- og utviklingsprosjekt ledet av Moelven Limtre AS, i samarbeid med en lang rekke deltagende organisasjoner.

I spissen for prosjektet har det sittet en styringsgruppe bestående av Moelven Limtre AS, Foreningen Norske Lauvtrebruk (FNL), Föreningen Svenska Lövsågverk (FSL), Havass - Haldenvassdragets skogeierforening, Viken Skogeierforening, Mjøsen Skogeierforeningen, Glommen Skogeierforening, Agder-Telemark Skogeierforening og Statskog. Moelven Limtre ved Kato Sveen har vært leder siden november 2001. Før dette var Espen Kurås, Moelven Limtre AS, leder. Jan Olav Haugestad fra Haugestad Sag har sittet som representant fra FNL, Steve Rogerson har representert Föreningen Svenska Lövsågverk og Kristian Martin Nore fra Haldenvassdragets Skogeierforening har representert Skogeiersamvirket.

Følgende bedrifter har deltatt i prosjektarbeidet og bidratt med prøvingsmateriell: Haugestad Sag, Vanhälls Såg AB, Östra Hults Elektriska Såg, Øydna Sagbruk AS, Elof Persson Trävaru AB og Dynalyse AB.

Følgende organisasjoner fra skogbruket har bidratt økonomisk i prosjektet: Haldenvassdragets Skogeierforening, Viken Skogeierforening, Agder-Telemark Skogeierforening, Glommen Skogeierforening, Mjøsen Skogeierforening, Statskog og Skogtiltaksfondet.

Norges Forskningsråd, Skogtiltaksfondet og Innovasjon Norge har bidratt med offentlig finansiering.

Prosjektet er gjennomført ved Norsk Treteknisk Institutt med god hjelp fra Skog og landskap (tidligere Skogforsk). Träcentrum Nässjö (tidligere Lövträinstitutet i Ydre) har også bidratt i prosjektarbeidet.

Det har stått en lang rekke enkeltpersoner bak de deltagende organisasjonene og bedriftene. Dette prosjektet hadde aldri latt seg gjennomføre uten entusiasme og aktiv deltagelse fra disse. Prosjektledelsen vil med dette gi en stor takk for entusiasmen og viljen til å bidra i et stort utviklings- og nyskappingsprosjekt!



## Innhold

Sammendrag.....	3
Summary .....	5
Forord .....	7
1. Innledning.....	11
1.1 Problemstilling .....	12
1.2 Mekaniske egenskaper for bjørk.....	12
1.2.1 Begrunnelse for valg av testmetoder .....	12
1.2.2 Testmetode, materialutvalg og prøvestørrelse.....	12
1.2.3 Lamelldimensjon.....	13
1.3 Liming av bjørk .....	13
1.3.1 Testomfang .....	13
2. Limtrelameller – Strekkfasthet, MOE og densitet.....	14
2.1 Sammendrag.....	14
2.2 Målsetting for delprosjekt Limtrelameller - Strekkfasthet, MOE og densitet .....	14
2.3 Materialer .....	14
2.4 Basissortering.....	15
2.5 Registrering av visuelt synlige karakteristika .....	15
2.6 Testprosedyre .....	15
2.7 Korreksjoner.....	16
2.8 Resultater – samtlige lameller .....	16
2.9 Sortering etter INSTA 142.....	18
2.9.1 Sorteringsklasse T3 .....	18
2.9.2 Karakteristisk strekkfast, T3 - ranket .....	19
2.9.3 Karakteristisk strekkfast, T3 - lognormalfordeling.....	20
2.9.4 Karakteristisk E-modul, T3.....	20
2.9.5 Karakteristisk densitet, T3 .....	20
2.10 Sorteringsklasse T1 .....	20
2.10.1 Karakteristisk strekkfast, T1 - ranket .....	21
2.10.2 Karakteristisk strekkfast, T1 - lognormalfordeling.....	22
2.10.3 Karakteristisk E-modul, T1.....	22
2.10.4 Karakteristisk densitet, T1 .....	22
2.11 Statistisk fordeling av T1 og T3.....	23
2.11.1 Strekkfasthet .....	23
2.11.2 Elastisitetsmodul.....	23
2.12 Densitet.....	24
2.13 Kommentarer og diskusjon .....	24
2.13.1 Maskinell sortering.....	24
2.13.2 Visuell sortering.....	24
2.13.3 Strekkfasthet .....	26
2.13.4 Elastisitetsmodul, MOE .....	26

2.13.5	Densitet.....	27
2.14	Konklusjon .....	27
2.15	Referanser.....	28
3.	Liming av bjørk .....	32
3.1	Summary .....	32
3.2	Sammendrag .....	32
3.3	Introduction .....	33
3.4	Preliminary test with small test pieces.....	33
3.4.1	Adhesives .....	33
3.4.2	Test method - Shear test EN 392 .....	34
3.4.3	Preparation of the test pieces.....	35
3.4.4	Results.....	37
3.4.5	Conclusions - Preliminary test .....	39
3.5	Finger jointing of lamellae .....	40
3.5.1	Test methods.....	41
3.5.2	Preparation of test pieces .....	41
3.6	Results.....	47
3.6.1	Splitkon.....	47
3.6.2	Moelv .....	48
3.7	Conclusions .....	48
3.8	Additional test series .....	49
3.8.1	Results.....	50
3.9	Glued laminated beams.....	51
3.10	Perspective .....	53
4.	Limtre - Bøyefasthet, MOE og densitet.....	66
4.1	Sammendrag .....	66
4.2	Målsetting for delprosjekt Limtre - Bøyefasthet, MOE og densitet .....	66
4.3	Materialer .....	66
4.4	Testprosedyre .....	67
4.5	Korreksjoner.....	67
4.6	Resultater - samtlige bjelker.....	67
4.7	Kommentarer .....	68
4.7.1	Bruddtyper.....	68
4.7.2	Fasthetsklasser .....	68
4.7.3	Densitet.....	68
4.8	Konklusjon .....	68
4.9	Referanser.....	69



# 1. Innledning

*Av Vegard Kilde*

Bjørk er det tredje mest utbredte treslaget i Norge og Sverige. Den årlig tilveksten i Norge er anslagsvis 3 mill. m<sup>3</sup>. Historisk sett har bjørk vært benyttet til en lang rekke redskaper. I dag benyttes bjørk blant annet i finér, kryssfinér, gulv, parkett, tannpirkere, tommestokker, høvelbenker, møbler, paneler og andre interiørprodukter. I tillegg blir bjørk i relativ stor utstrekning benyttet i masse- og papirindustrien i Sverige og Finland.

I Norge og Sverige står den mekaniske treindustrien for en marginal utnyttelse av bjørkeressursene. I Norge skjæres anslagsvis 10.000 m<sup>3</sup> bjørk, og i Sverige skjæres anslagsvis 100.000 m<sup>3</sup> bjørk. De siste årene har det blitt en betydelig reduksjon i sagingen av bjørk i disse to landene. Dette skyldes først og fremst konkurranse fra lavkostområder som Baltikum og Polen. I lys av dette er det store rom for økt utnyttelse av bjørkevirket.

På slutten av 1990-årene fikk Foreningen Norske Lauvtrebruk og Splitkon AS (senere Moelven Limtre AS, avdeling Splitkon) utfordringen å bygge St. Laurentius kirke i Drammen med synlige limtrekonstruksjoner i bjørk. På bakgrunn av tester utført ved Norsk Treteknisk Institutt ble det utarbeidet en godkjenning for liming av bjørk med den aktuelle limtypen. Kirken ble bygget i 1998.

I 2000 ble det arrangert et møte i kirken for å se på konstruksjonene. Dette møtet ble starten på et forprosjekt som skulle se nærmere på egenskapene til bjørk brukt som råstoff til limtre. Forprosjektet ble avsluttet samme år.

Forprosjektet konkluderte med at bjørk har et potensial som lamellvirke for limtre i høye fasthetsklasser. Imidlertid måtte fasthetsegenskaper, stivhet, styrkesortering og fingerskjøt-/limteknologi undersøkes nærmere for å dokumentere de høyere fasthetsklassene.

Dette er bakgrunnen for oppstart av hovedprosjektet. Sammen med Skogforsk, Moelven Limtre AS, Foreningen Norske Lauvtrebruk, SND (Treprogrammet) og Norges Forskningsråd ble prosjektet konkretisert. I denne prosessen ble det også bestemt at prosjektet burde utføres i samarbeid med svensk løvtremiljø. Dette fordi bjørk i Norge og Sverige har de samme biologiske vekstområdene, og fordi et skandinavisk samarbeid ville gi prosjektet større faglig tyngde. Via Träcentrum i Nässjö ble det derfor opprettet kontakt med Svenska Lövsåg Föreningen.

## 1.1 Problemstilling

Konklusjonene fra forprosjektet ga en naturlig todelt problemstilling av hovedprosjektet:

1. Hvilke fasthetsegenskaper har bjørk benyttet som limtrelameller?
2. Hvilken lim- og fingerskjøtteknologi er best egnet for bjørk?

## 1.2 Mekaniske egenskaper for bjørk

I denne prosjektdelen har hovedmålet vært å finne en egnet styrkesorteringsmetode for bjørk, samt korresponderende verdier for strekkfasthet, E-modul og densitet. Rapporten inneholder følgende to deler:

- Limtrelameller – Strekkfasthet, MOE og densitet
- Limtre - Bøyefasthet, MOE og densitet

### 1.2.1 Begrunnelse for valg av testmetoder

Et hovedmål med prosjektet har vært å dokumentere fasthetsegenskapene hos limtre produsert av bjørk. Tradisjonelle trekonstruksjoner av bjørk er lite aktuelt. Følgende begrunnelser kan gis for dette:

1. Hovedvekten av interesse fra markedet har vært på limtrekonstruksjoner.
2. Bjørk har en stammeform som medfører kort aptering av tømmer for å unngå virkesfeil. Tre meter tømmerlengde er mest vanlig. Dermed er en form for lengdeskjøting nødvendig for å oppnå ønskede lengder.
3. Det er tradisjon med bjørk brukt som interiørmateriale. Det ventes derfor at det blir mest interesse for åpne og synlige konstruksjoner i harmoni med rommets øvrige arkitektur.

Ut fra disse perspektivene ble det valgt å teste de egenskapene som er avgjørende for limtres konstruksjonsegenskaper. Siden limtres viktigste fasthetsegenskaper er bestemt fra lamellenes strekkfasthet, ble det valgt å teste på strekkfasthet og E-modul parallelt med fiberretningen.

### 1.2.2 Testmetode, materialutvalg og prøvestørrelse

Lamellene er testet i henhold til EN 408, EN 384 og EN 1194. Standardene angir minimumsantall for hvor mange tellende enkeltprøver som er nødvendig for å bestemme fasthets- og stivhetsegenskaper til en populasjon. På denne bakgrunn er det valgt å teste bjørkelameller fra fire geografiske områder. Disse områdene

er valgt ut fra tømmerfangstområdet til de sagbrukene prosjektet har fått leveranser fra og er delt mellom Norge og Sverige:

Norge: Østlandet (Vestfold, Buskerud, Oppland)

Norge: Sørlandet (Aust- og Vest Agder)

Sverige: Sør (Området mellom Götaland og Halland/Kronberg-området)

Sverige: Midt (Området mellom Dalarna og Västerbotten)

Totalt antall enkeltlameller ble satt til ca. 1200 lameller, dvs. ca. 300 lameller fra hvert geografiske område.

### 1.2.3 Lamelldimensjon

Nominell dimensjon for samtlige lameller var 36 mm x 150 mm x 2700 mm.

## 1.3 Liming av bjørk

Strekkfastheten til ytterlamellene er avgjørende for limtrebjelkers bøyefasthet og stivhet. Utfordringen i prosjektet var derfor å optimalisere både trekvaliteten og strekkfastheten av selve fingerskjøten.

På bakgrunn av dette ble følgende oppgaver/disposisjon for prosjektets "limdel" definert:

1. Finne egnede lim for liming av bjørk.
2. Finne fram til og prøve ut de best egnede konvensjonelle fingerprofilene.
3. Teste kombinasjonen av styrkesorterte lameller, utvalgte lim og utvalgte fingerskjøtprofiler.

Limene ble testet i henhold til EN 392 (skjærfasthet). Fingerskjøtene ble testet i henhold til Norsk Limtrekontroll sine prosedyrer for test av strekk- og bøyefasthet.

### 1.3.1 Testomfang

Ni limprodukter ble testet, hvorav fem var forskjellige limtyper (PRF, MUF, PU, EPI og Epoxy).

Det ble produsert 194 fingerskjøter som ble testet mht. bøyefasthet (ca. 50 %) og strekkfasthet (ca. 50 %).

## 2. Limtrelameller – Strekkfasthet, MOE og densitet

Av Kjell Helge Solli

### 2.1 Sammendrag

På bakgrunn av strekktesting av ca. 1200 limtrelameller av nordisk bjørk, anbefales det å definere to egne fasthetsklasser, LTB 34 og LTB 25. Dette skyldes at de påviste egenskapene hos nordisk bjørk ikke er i overensstemmelse med angitte egenskaper i EN 338 for D-klassene ("hardwood species"). Dette gjelder spesielt forholdet til densitet.

Tabell 2.1. Anbefalte verdier for limtrelameller av bjørk, fasthetsklasse LTB 34 og LTB 25.

	$f_{t0k}$ N/mm <sup>2</sup>	$E_{t0mean}$ N/mm <sup>2</sup>	$\rho_k$ kg/m <sup>3</sup>
LTB 34	34,0	14300	550
LTB 25	25,0	12900	550

Fasthetsklasse LTB 34 oppnås ved visuell sortering av bjørkelameller iht. sorteringsklasse T3. Fasthetsklasse LTB 25 oppnås ved visuell sortering av bjørkelameller iht. sorteringsklasse T1 (T1 + T2). Tallet i klassebetegnelse angir de respektive klassenes karakteristiske strekkfasthet.

### 2.2 Målsetting for delprosjekt Limtrelameller - Strekkfasthet, MOE og densitet

Delprosjektet skal resultere i basiskunnskap (strekkfasthet, elastisitetsmodul og densitet) om limtrelameller av bjørk samt i sorteringsklasser med korresponderende fasthetsklasser for limtrelameller av bjørk. Fastsettelse av karakteristiske materialegenskaper skal gjøres i henhold til gjeldende europeiske standarder, slik at resultatene kan oppnå internasjonal aksept.

### 2.3 Materialer

I delprosjektet inngikk det opprinnelig ca. 1200 limtrelameller av bjørk. Hver enkelt lamell hadde en nominell dimensjon på 36 mm x 150 mm x 2700 mm og var høvlet. Lamellene var tørket ned til en nominell trefuktighet på ca. 12 %.

Materialene var tatt ut fra fire forskjellige hovedregioner i Norge og Sverige.

Norge, øst:	Haugestad Sag
Norge, sør:	Øydna Sag
Sverige, midt/nord:	Vanhälls Såg
Sverige, sør:	Sören Persson og Østra Hult Elsåg

Materialene fra hver av disse regionene utgjør ett *subsample* i de videre beregningene.

## 2.4 Basissortering

Alle lameller ble forhåndssortert i to klasser, kalt L ("lav") og S ("sterk"). Klasse L tilsvarte T0, T1 og deler av T2 iht. INSTA 142. Klasse S tilsvarte øvre nivå av T2 og T3 iht. INSTA 142.

Bakgrunnen for å skille lamellene i L og S, var at man ønsket en tilnærmet jevn fordeling av materialegenskapene. Det ble primært tilstrebet å få 50 % som L og 50 % som S.

## 2.5 Registrering av visuelt synlige karakteristika

Alle synlige karakteristika ble nøye registrert for hver enkelt lamell og logget i et eget skjema (se Vedlegg 2). Den enkelte lamells antatte kritiske snitt (*CS*, *critical section*) ble bestemt, og antatt bruddindikator ble registrert i skala 1:1 på eget skjema.

## 2.6 Testprosedyre

Hver lamell ble strekkbelastet (strekk parallelt med fiberretningen) over en fri lengde lik  $l_t = 1500 \text{ mm}$ . Deformasjonen i fiberretningen ble registrert (symmetrisk) på hver flatside over en lengde  $l_\delta = 1300 \text{ mm}$ . Belastningshastighet for registrering av deformasjon og bruddlast tilsvarte prosedyre gitt iht. EN 408 [3]. Densitet og trefuktighet ble registrert umiddelbart etter at strekkbrudd var inntruffet. Densitets-/fuktprøve ble tatt så tett inn til bruddsted som mulig.

## 2.7 Korreksjoner

Den registrerte verdien for strekkfasthet ble for hver prøve multiplisert med faktoren  $k_{size}$ , der

$$k_{size} = \left(\frac{h}{150}\right)^{0,1} \cdot \left(\frac{l}{2000}\right)^{0,1} = \left(\frac{h_{reell}}{150}\right)^{0,1} \cdot \left(\frac{1500}{2000}\right)^{0,1} \quad (\text{EN 1194 [4], pkt. 6.3})$$

der  $h_{reell}$  er den enkelte lamells største sidekant bestemt ved konkret måling (ikke nominelt mål).

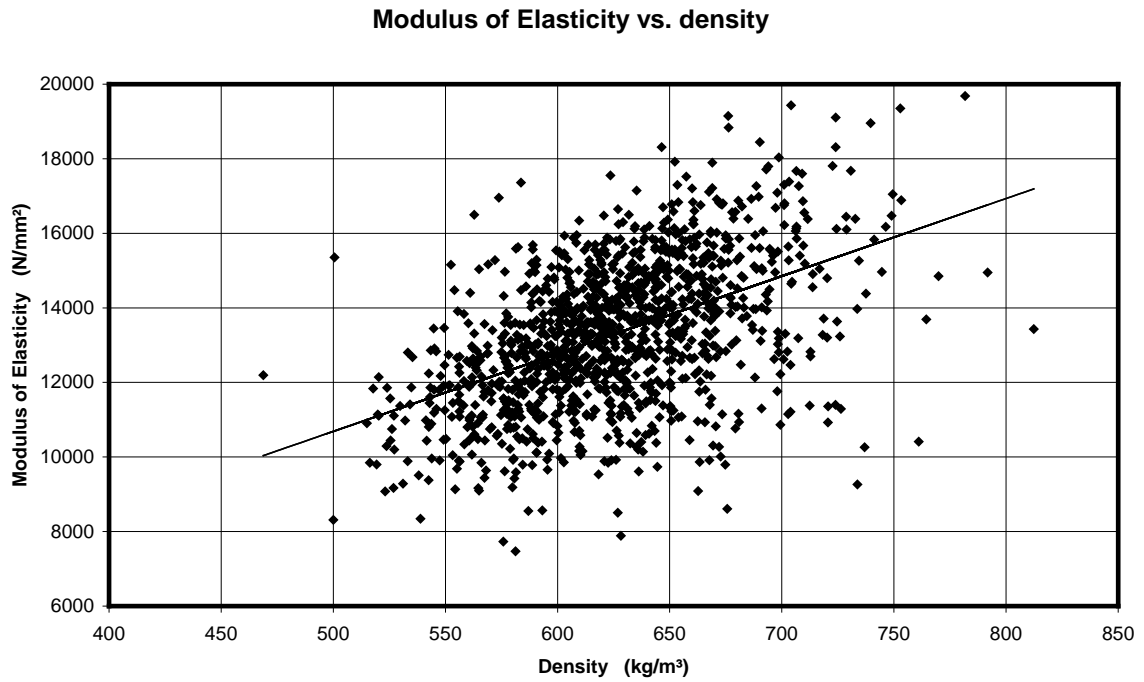
Den registrerte verdien for elastisitetsmodul ble for hver prøve korrigert med hensyn til reell trefuktighet til en verdi tilsvarende 12 % trefuktighet (EN 384 [5] pkt. 5.3.4.2 c). Den registrerte verdien for densitet ble for hver prøve korrigert med hensyn til reell trefuktighet til en verdi tilsvarende 12 % trefuktighet (EN 384 pkt. 6).

Gjennomsnittlig trefuktighet ved testing var 11 %, med en variasjonskoeffisient på 7,2 %.

## 2.8 Resultater - samtlige lameller

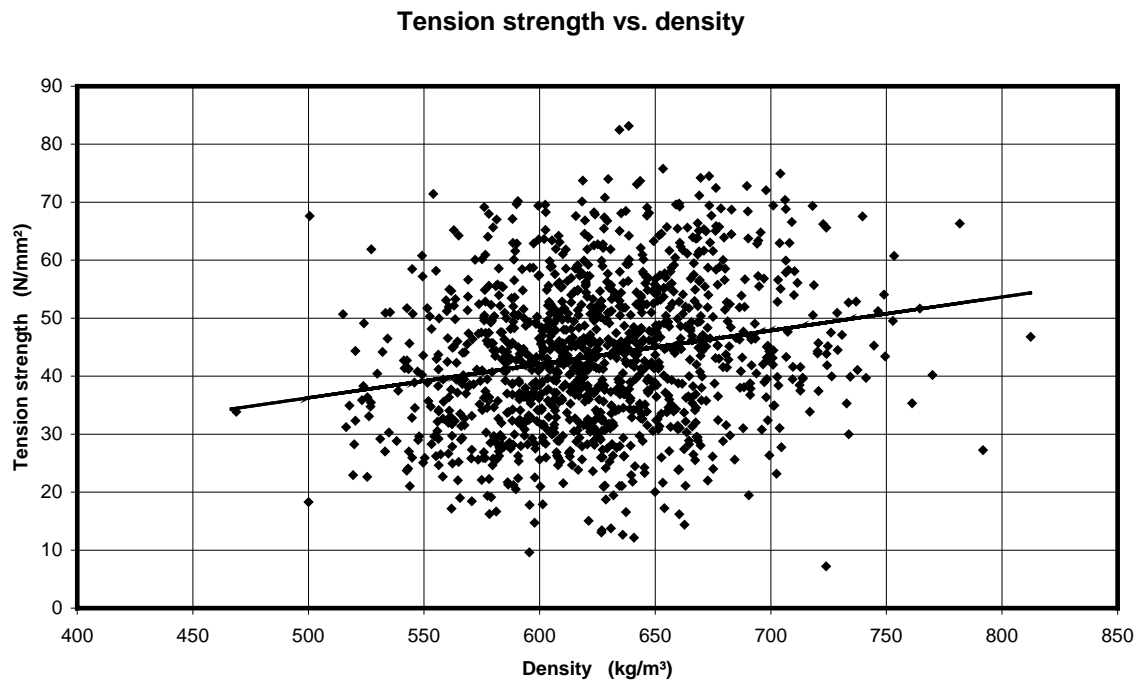
Tabell 2.2. Mekaniske egenskaper, samtlige lameller.

	Strekfasthet	Elastisitesmodul	Densitet
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Middelverdi	43,5	13288	625
Standard avvik	12,5	1950	45,8
Variasjonskoeffisient	28,8	14,7	7,3



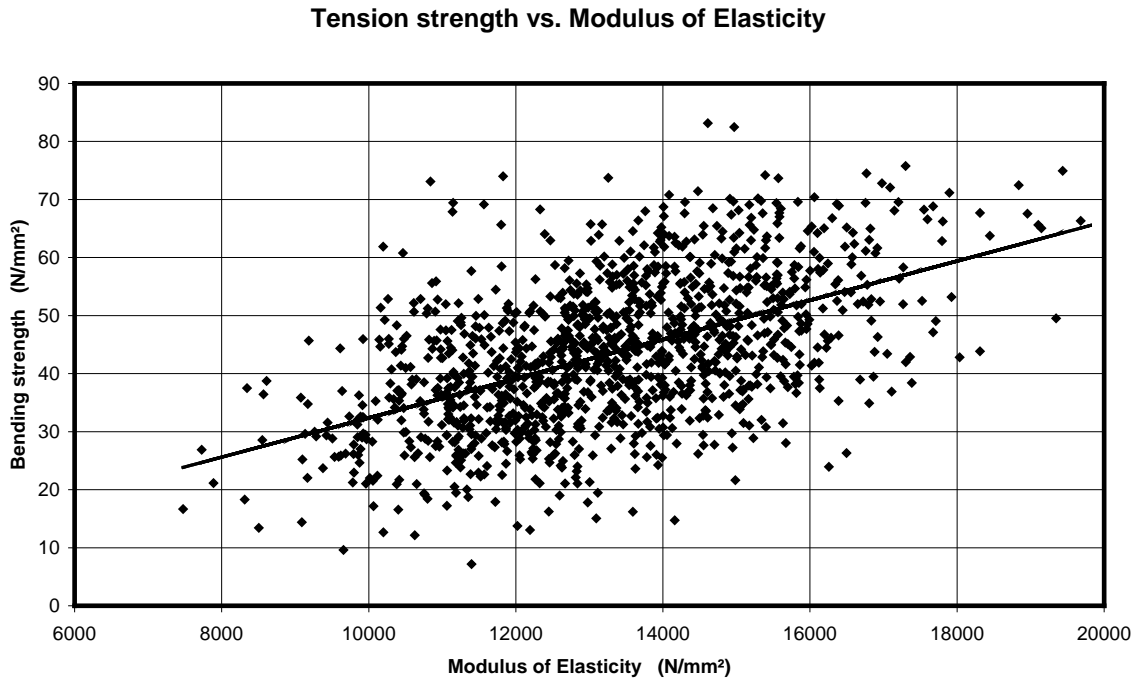
Figur 2.1. Sammenheng mellom densitet og elastisitetsmodul.

$$MOE = 20,8 \cdot \rho + 268 \quad (R^2 = 0,24)$$



Figur 2.2. Sammenheng mellom densitet og strekkfasthet.

$$f_{t,0} = 58,0 \cdot 10^{-3} \cdot \rho + 7,3 \quad (R^2 = 0,05)$$



Figur 2.3. Sammenheng elastisitetsmodul og strekkfasthet.

$$f_{t,0} = 3,4 \cdot 10^{-3} \cdot MOE - 1,4 \quad (R^2 = 0,3)$$

## 2.9 Sortering etter INSTA 142

På bakgrunn av registrerte data (visuelle karakteristika) ble samtlige lameller sortert etter INSTA 142 og delt i klassene T3, T1 (T1 + T2) og VRAK. (Den geografiske region for de enkelte subsamples er anonymisert i denne rapporten).

### 2.9.1 Sorteringsklasse T3

Resultatene fra seriens fire subsamples ga følgende resultat:

Tabell 2.3. Mekaniske egenskaper, Subsample 1 – T3.

Subsample 1 n = 142	Strekfasthet N/mm <sup>2</sup>	Elastisitetsmodul N/mm <sup>2</sup>	Densitet kg/m <sup>3</sup>
Middelverdi	53,6	14805	636
Standard avvik	9,9	1739	43,1
Variasjonskoeff. [%]	18,6	11,7	6,8
$\rho_{05}$	-	-	565
$f_{05}$ (ranket)	36,2	-	-
$f_{05}$ (lognormalford.)	37,6	-	-



Tabell 2.4. Mekaniske egenskaper, Subsample 2 – T3.

Subsample 2 n = 67	Strekfasthet N/mm <sup>2</sup>	Elastisitetsmodul N/mm <sup>2</sup>	Densitet kg/m <sup>3</sup>
Middelverdi	48,0	13748	636
Standard avvik	9,1	1995	44,4
Variasjonskoeff. [%]	18,9	14,5	6,8
$\rho_{05}$	-	-	576
$f_{05}$ (ranket)	33,0	-	-
$f_{05}$ (lognormalford.)	33,5	-	-

Tabell 2.5. Mekaniske egenskaper, Subsample 3 – T3.

Subsample 3 n = 68	Strekfasthet N/mm <sup>2</sup>	Elastisitetsmodul N/mm <sup>2</sup>	Densitet kg/m <sup>3</sup>
Middelverdi	53,6	14012	616
Standard avvik	10,5	1697	39,8
Variasjonskoeff. [%]	19,7	12,1	6,5
$\rho_{05}$	-	-	550
$f_{05}$ (ranket)	36,5	-	-
$f_{05}$ (lognormalford.)	36,6	-	-

Tabell 2.6. Mekaniske egenskaper, Subsample 4 – T3.

Subsample 4 n = 109	Strekfasthet N/mm <sup>2</sup>	Elastisitetsmodul N/mm <sup>2</sup>	Densitet kg/m <sup>3</sup>
Middelverdi	53,1	14259	620
Standard avvik	11,9	1783	42,7
Variasjonskoeff. [%]	22,4	12,5	6,9
$\rho_{05}$	-	-	549
$f_{05}$ (ranket)	32,3	-	-
$f_{05}$ (lognormalford.)	33,7	-	-

## 2.9.2 Karakteristisk strekkfast, T3 - ranket

Veid middelverdi,  $f_{05}$  (ranket):  $\overline{f_{t05}} = 34,6 \text{ N/mm}^2$

$$\overline{f_{t05}} = \min \begin{cases} \overline{f_{t05}} = 34,6 \text{ N/mm}^2 \\ 1,2 \cdot f_{t05-\min} = 1,2 \cdot 32,3 \text{ N/mm}^2 = 38,8 \text{ N/mm}^2 \end{cases} \quad (\text{EN 384, pkt. 5.4})$$

Karakteristisk verdi (ranket):  $f_{t0k} = k_s \cdot k_v \cdot \overline{f_{t05}}$

$$k_s (n = 67) = 0,98 \quad (\text{EN 384, figure 1})$$

$$k_v = 1,0 \text{ (visuell sortering)} \quad (\text{EN 384, pkt. 5.4})$$

$$\underline{f_{t0k}} = k_s \cdot k_v \cdot \overline{f_{t05}} = 0,98 \cdot 1,0 \cdot 34,6 \text{ N/mm}^2 = \underline{33,9 \text{ N/mm}^2}$$

### 2.9.3 Karakteristisk strekkfast, T3 - lognormalfordeling

Veid middelvei,  $f_{05}$  (ln):  $\overline{f_{t05}} = 35,6 N / mm^2$

$$\overline{f_{t05}} = \min \begin{cases} \overline{f_{t05}} = 35,6 N / mm^2 \\ 1,2 \cdot \overline{f_{t05-\min}} = 1,2 \cdot 33,5 N / mm^2 = 40,2 N / mm^2 \end{cases} \quad (\text{EN 384, pkt. 5.4})$$

Karakteristisk verdi (ln):  $f_{t0k} = k_s \cdot k_v \cdot \overline{f_{t05}}$

$$k_s (n = 67) = 0,98 \quad (\text{EN 384, figure 1})$$

$$k_v = 1,0 \text{ (visuell sortering)} \quad (\text{EN 384, pkt. 5.4})$$

$$\underline{f_{t0k}} = k_s \cdot k_v \cdot \overline{f_{t05}} = 0,98 \cdot 1,0 \cdot 35,6 N / mm^2 = \underline{34,9 N / mm^2}$$

### 2.9.4 Karakteristisk E-modul, T3

$$\text{Karakteristisk E-modul: } \underline{E_{t0,mean}} = \frac{\sum \overline{E}_j \cdot n_j}{\sum n_j} = \underline{14328 N / mm^2} \quad (\text{EN 384, pkt. 5.5})$$

### 2.9.5 Karakteristisk densitet, T3

$$\text{Karakteristisk densitet: } \rho_k = \frac{\sum \rho_{05} \cdot n_j}{\sum n_j} = \underline{560 kg / m^3} \quad (\text{EN 384, pkt. 5.5})$$

## 2.10 Sorteringsklasse T1

Sorteringsklasse T1 tilsvarer kombinasjonen av T1 og T2 iht. INSTA 142.

Resultatene fra seriens fire subsamples ga følgende resultat:

Tabell 2.7. Mekaniske egenskaper, Subsample 1 – T1.

Subsample 1 n = 221	Strekfasthet N/mm <sup>2</sup>	Elastisitetsmodul N/mm <sup>2</sup>	Densitet kg/m <sup>3</sup>
Middelvei	42,7	13213	629
Standard avvik	10,3	1904	44,1
Variasjonskoeff. [%]	24,2	14,4	7,0
$\rho_{05}$	-	-	556
$f_{05}$ (ranket)	27,9	-	-
$f_{05}$ (lognormalford.)	27,1	-	-

Tabell 2.8. Mekaniske egenskaper, Subsample 2 – T1.

Subsample 2 n = 144	Strekfasthet N/mm <sup>2</sup>	Elastisitetsmodul N/mm <sup>2</sup>	Densitet kg/m <sup>3</sup>
Middelverdi	36,0	12289	630
Standard avvik	9,6	1569	45,4
Variasjonskoeff. [%]	26,8	12,8	7,2
$\rho_{05}$	-	-	555
$f_{05}$ (ranket)	21,3	-	-
$f_{05}$ (lognormalford.)	21,1	-	-

Tabell 2.9. Mekaniske egenskaper, Subsample 3 – T1.

Subsample 3 n = 203	Strekfasthet N/mm <sup>2</sup>	Elastisitetsmodul N/mm <sup>2</sup>	Densitet kg/m <sup>3</sup>
Middelverdi	40,8	12787	615
Standard avvik	9,6	1787	47,8
Variasjonskoeff. [%]	23,6	14,0	7,8
$\rho_{05}$	-	-	536
$f_{05}$ (ranket)	26,3	-	-
$f_{05}$ (lognormalford.)	25,8	-	-

Tabell 2.10. Mekaniske egenskaper, Subsample 4 – T1.

Subsample 4 n = 144	Strekfasthet N/mm <sup>2</sup>	Elastisitesmodul N/mm <sup>2</sup>	Densitet kg/m <sup>3</sup>
Middelverdi	43,6	13297	616
Standard avvik	11,2	1650	46,0
Variasjonskoeffisient	25,7	12,4	7,5
$\rho_{05}$	-	-	540
$f_{05}$ (ranket)	27,3	-	-
$f_{05}$ (lognormalford.)	26,0	-	-

### 2.10.1 Karakteristisk strekkfast, T1 - ranket

Veid middelverdi,  $f_{05}$  (ranket):  $\overline{f_{t05}} = 26,0N / mm^2$

$$\overline{f_{t05}} = \min \begin{cases} \overline{f_{t05}} = 26,0N / mm^2 \\ 1,2 \cdot f_{t05-\min} = 1,2 \cdot 21,3N / mm^2 = 25,6N / mm^2 \end{cases} \quad (\text{EN 384, pkt. 5.4})$$

Karakteristisk verdi (ranket):  $f_{t0k} = k_s \cdot k_v \cdot \overline{f_{t05}}$

$$k_s (n = 144) = 1,0 \quad (\text{EN 384, figure 1})$$

$$k_v = 1,0 \text{ (visuell sortering)} \quad (\text{EN 384, pkt. 5.4})$$

$$\underline{f_{t0k}} = k_s \cdot k_v \cdot \overline{f_{t05}} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25,6N / mm^2 = \underline{25,6N / mm^2}$$

### 2.10.2 Karakteristisk strekkfast, T1 - lognormalfordeling

Veid middelvei,  $f_{05}$  (ln):  $\overline{f_{t05}} = 25,3N / mm^2$

$$\overline{f_{t05}} = \min \begin{cases} \overline{f_{t05}} = 25,3N / mm^2 \\ 1,2 \cdot f_{t05-\min} = 1,2 \cdot 21,1N / mm^2 = 25,3N / mm^2 \end{cases} \quad (\text{EN 384, pkt. 5.4})$$

Karakteristisk verdi (ln):  $f_{t0k} = k_s \cdot k_v \cdot \overline{f_{t05}}$

$$k_s (n = 144) = 1,0 \quad (\text{EN 384, figure 1})$$

$$k_v = 1,0 \text{ (visuell sortering)} \quad (\text{EN 384, pkt. 5.4})$$

$$\underline{f_{t0k}} = k_s \cdot k_v \cdot \overline{f_{t05}} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25,3N / mm^2 = \underline{25,3N / mm^2}$$

### 2.10.3 Karakteristisk E-modul, T1

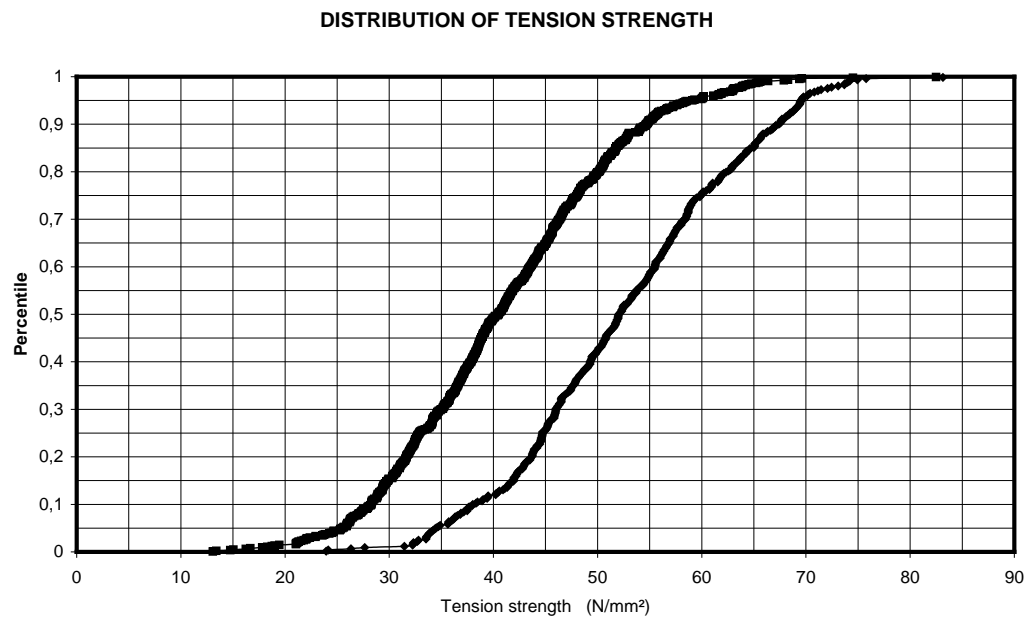
$$\text{Karakteristisk E-modul: } \underline{E_{t0,mean}} = \frac{\sum \overline{E}_j \cdot n_j}{\sum n_j} = \underline{12923N / mm^2} \quad (\text{EN 384, pkt. 5.5})$$

### 2.10.4 Karakteristisk densitet, T1

$$\text{Karakteristisk densitet: } \rho_k = \frac{\sum \rho_{05} \cdot n_j}{\sum n_j} = \underline{547kg / m^3} \quad (\text{EN 384, pkt. 5.5})$$

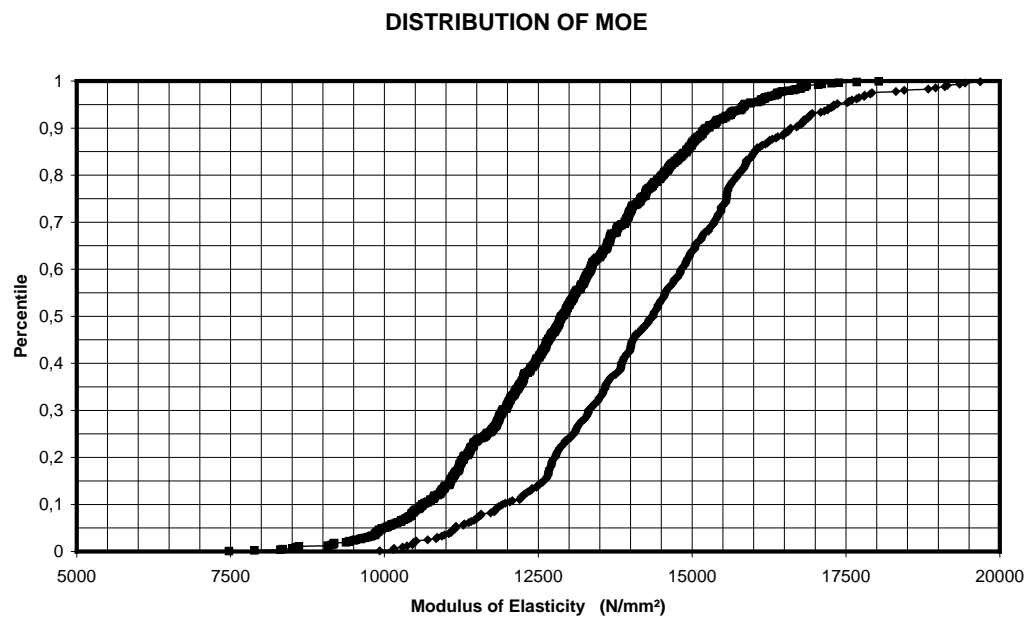
## 2.11 Statistisk fordeling av T1 og T3

### 2.11.1 Strekkfasthet



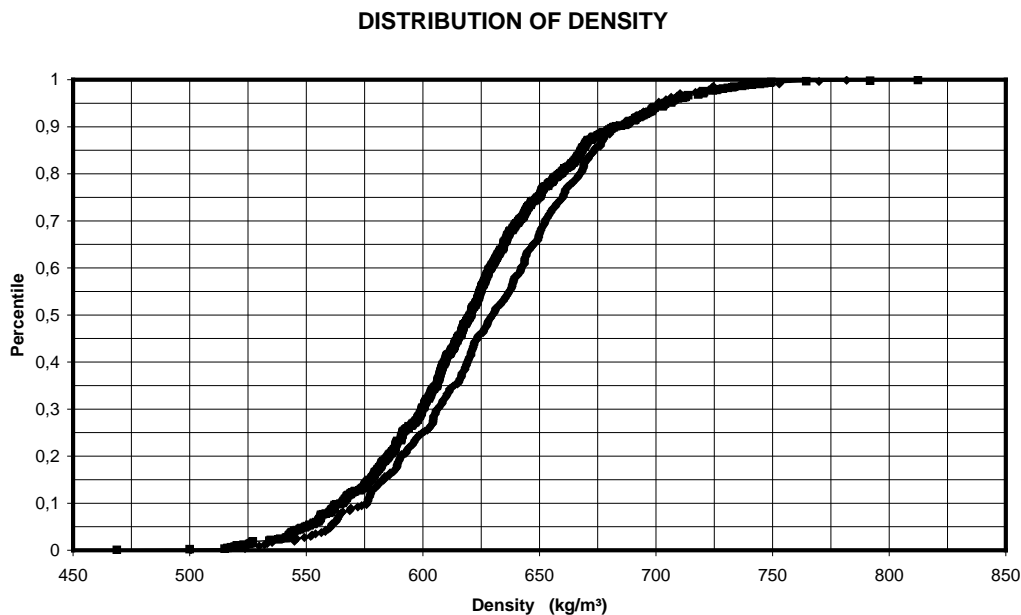
Figur 2.4. Fordeling av strekkfasthet, T1 og T3.

### 2.11.2 Elastisitetsmodul



Figur 2.5. Fordeling av elastisitetsmodul, T1 og T3.

## 2.12 Densitet



Figur 2.6. Fordeling av densitet, T1 og T3.

## 2.13 Kommentarer og diskusjon

### 2.13.1 Maskinell sortering

Det ble innledningsvis i delprosjektet forsøkt å maskinsortere (Dynagrade) bjørkelameller. Resultatene var imidlertid negative, og aktivitetene rettet mot maskinell styrkesortering av limtrelameller av bjørk ble avsluttet.

Både Dynagrade og bøyebaserte styrkesorteringsmaskiner tar utgangspunkt i et kjent forhold mellom materialets elastisitetsmodul (MOE) og materialfastheten (bøyefasthet og/eller strekkfasthet). Som Figur 2.3 viser, er korrelasjonen mellom strekkfasthet og korresponderende elastisitetsmodul for bjørk meget lav ( $R^2 = 0,30$ ). Tilsvarende laboratoriemålte verdier for nordisk vokst gran og/eller furu vil normalt være 0,60 eller høyere.

### 2.13.2 Visuell sortering

Stor fiberhelling og kvist var de viktigste og mest klassebestemmende virkesfeil under den visuelle sorteringen. Av samtlige prøver bedømt som T3, ble 29 % klassifisert pga. fiberhelling. Tilsvarende tall for T1 er 26 %. Fiberhelling må spesielt vurderes på kantsiden.

På grunn av bjørkevirkets visuelle og anatomiske egenskaper er imidlertid fiberhellingen/skråfibrigheten vanskelig å oppdage. Denne problemstillingen må vurderes/løses på en tilfredsstillende måte i forbindelse med praktisk sortering.

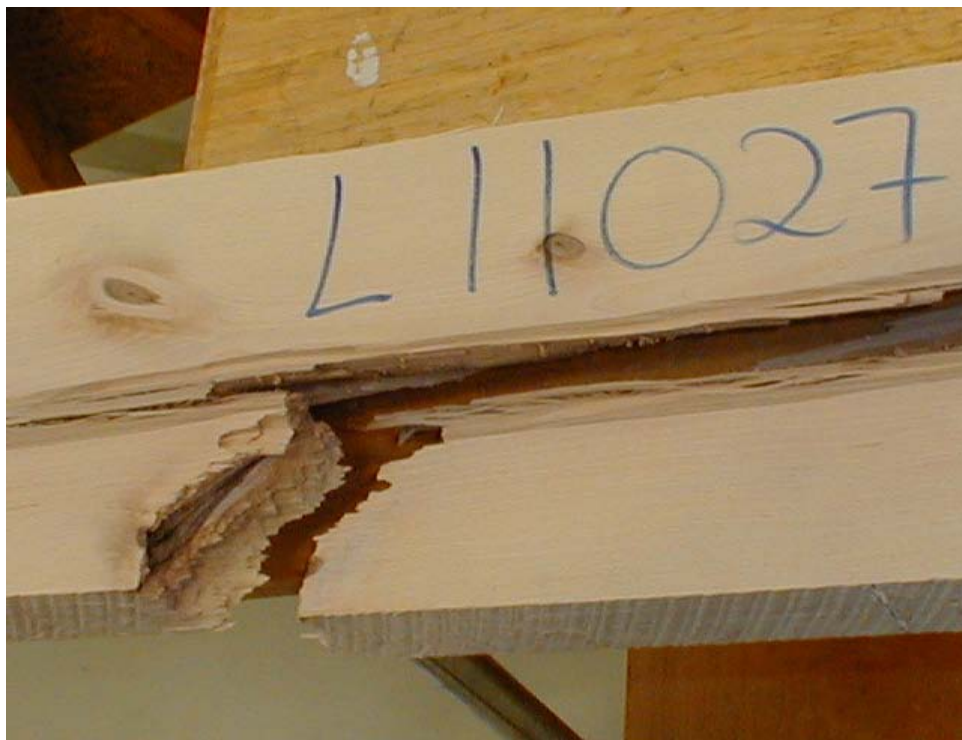


*Figur 2.7. Eksempel på strekkbrudd i skråfibret virke.  
Fiberhellingen kommer fram over kant.*

I sorteringsklasse T1 ble 56 % av lamellene klassifisert pga. kviststørrelse (flat- og/eller kantsidekvist). I sorteringsklasse T3 var det tilsvarende 62 % pga. kviststørrelse.



*Figur 2.8. Eksempel på strekkbrudd i bladkvist.*



Figur 2.9. Eksempel på strekkbrudd pga. kantkvist.

Kvist og fiberhelling utgjør til sammen 87 % av samtlige nedklassingsårsaker. Vedrørende spesifiserte sorteringsregler, henvises det til Vedlegg 1.

### 2.13.3 Strekkfasthet

Visuell sortering av bjørkelameller etter INSTA 142 i sorteringsklassene T1 (T1+T2) og T3 viste at regelverket klarer å skille mellom høy og lav fasthet på en meget tilfredsstillende og entydig måte (jmf. Fig. 2.4).

Dersom sorteringskriteriene overholdes, er mulighetene for å sortere ut lamellvirke med meget høy strekkfasthet stor. Til sammenligning tilsvarer virket sortert etter T3 tilnærmet fasthetsklasse D60 med hensyn til karakteristisk strekkfasthet.

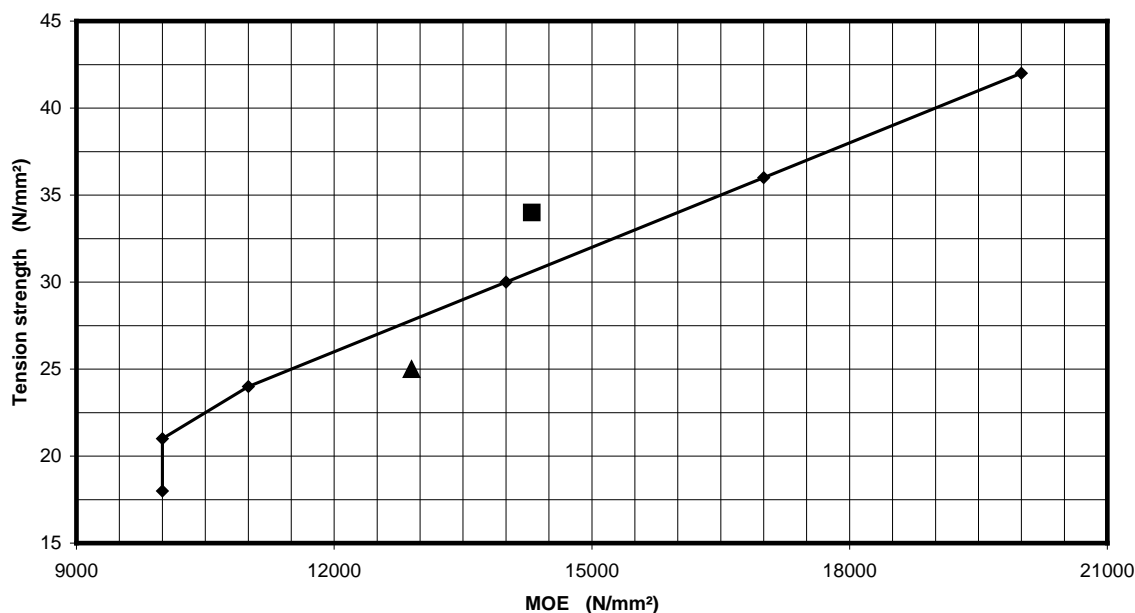
### 2.13.4 Elastisitetsmodul, MOE

Visuell sortering av bjørkelameller etter INSTA 142 i sorteringsklassene T1 (T1+T2) og T3 viste at regelverket klarer å skille relativt godt mellom høy og lav fasthet med hensyn til elastisitetsmodul (jmf. Figur 2.5).

Økningen i elastisitetsmodul fra klasse T1 til T3 er imidlertid mindre enn hva EN 338 angir for korresponderende økning i fasthetsklasser for (D-klasser), se Figur 2.10.



Strength classes - Hardwood species - in EN 338



Figur 2.10. Sammenheng mellom fasthet og MOE for D-klasser iht. EN 338 er angitt med heltrukket linje og punkter. Svart trekant angir verdiene for T1, svart kvadrat angir tilsvarende for T3.

### 2.13.5 Densitet

Visuell sortering av bjørkelameller etter INSTA 142 i sorteringsklassene T1 (T1+T2) og T3 skiller ikke på densitet (se Fig. 2.6). Fordeling av densitet innenfor de to sorteringsklassene er tilnærmet overlappende. Tilsvarende visualiserer Figur 2.6 hvor liten sammenheng det er mellom densitet og strekkfasthet for de testede lamellene ( $R^2 = 0,05$ ).

## 2.14 Konklusjon

På bakgrunn av strekktesting av ca. 1200 limtrelameller av nordisk bjørk anbefales det å definere to egne fasthetsklasser, LTB 34 og LTB 25. Dette skyldes at de påviste egenskapene hos nordisk bjørk ikke er i overensstemmelse med angitte egenskaper i EN 338 for D-klassene ("hardwood species"). Dette gjelder spesielt forholdet til densitet.

Tabell 2.11. Anbefalte verdier for limtrelameller av bjørk, fasthetsklasse LTB 34 og LTB 25.

	$f_{t0k}$ N/mm <sup>2</sup>	$E_{t0mean}$ N/mm <sup>2</sup>	$\rho_k$ kg/m <sup>3</sup>
LTB 34	34,0	14300	550
LTB 25	25,0	12900	550

Fasthetsklasse LTB 34 oppnås ved visuell sortering av bjørkelameller iht. sorteringsklasse T3. Fasthetsklasse LTB 25 oppnås ved visuell sortering av bjørkelameller iht. sorteringsklasse T1 (T1 + T2). Tallet i klassebetegnelsene angir de respektive klassenes karakteristiske strekkfasthet.

## 2.15 Referanser

- [1] EN 338 Structural timber – Strength classes
- [2] INSTA 142 Nordic visual strength grading rules for timber
- [3] EN 408 Timber structures – Structural timber and glued laminated timber - Determination of some physical and mechanical properties
- [4] EN 1194 Timber structures – Glued laminated timber – Strength classes and determination of characteristic values
- [5] EN 384 Structural timber – Determination of characteristic values of mechanical properties and density

## Vedlegg 2-1. Sortering bjørk limtrelameller

Virkesegenskap	T3	T1, innerlameller
<b>Kvist</b>		
Enkeltkvist - kantside	1/3 av tykkelsen	4/5 av tykkelsen
Enkeltkvist - flatside	1/6 av bredden	2/5 av bredden, men maksimalt 75 mm.
Kvistgruppe	Største tillatte mål er lik summen av målet på største tillatte enkeltkvist i flate og i kant.	
Gankvist	Godtas ikke	I kant, som enkeltkvist. Kvistlengde høyst lik virkesbredden.
Avstand fra ende til nærmeste kvist	Minimum 3 x kvistens diameter til fingerbunnen. Fiberhellingen skal ikke være større enn 1/10 i freseområdet.	Det skal være kvistfritt i område for fingerfresing.
Fiberhelling	Godtas opptil 1:10	Godtas opptil 1:6
<b>Andre virkesegenskaper</b>		
Årringbredde	Ingen begrensning	
Ringsprekk	Godtas ikke	Godtas inntil 1/4 av bredden på flatsiden. Godtas ikke nærmere kantene enn 1/4 av bredden.
Skjøre	Godtas ikke	Godtas kun om den ikke rekker utenfor den ytterste 1/4 av kanten.
Tørkesprekk	Godtatt i hele lengden om sprekken ikke er sammenhengende og gjennomgående. En gjennomgående sprekke à 0,5 m er godtatt pr. 3 meter lengde.	

<b>Virkesegenskap</b>	<b>T3</b>	<b>T1, innerlameller</b>
Toppbrudd	Godtas inntil 1/4 av bredden i midten.	Godtas inntil 1/2 av bredden i midten.
Vre	Tette vreer godtas inntil 1/4 av bredden i midten.	Tette vreer godtas inntil 1/2 av bredden i midten.
Vankant	9/10 av tykkelsen skal være bearbeidet.	
Mål og toleranser	Saget last. Dimensjoner ≤ 100 mm -1/+3 mm Dimensjoner > 100 mm -2/+4 mm	
Fuktighet ved sortering	Middel fuktighet 8 % - 15 %.	
Vindskjevhet	1 mm pr. 25 mm bredde, målt over 2 meter.	
Flatbøy	Godtatt	
Kantkrok	Godtatt inntil 5 mm målt over 2 meter.	
Kuv	Godtatt	
Rødkjerne	Fast, frisk rødkjerne: Maksimalt 1/10 bredde av lamellens margside.	Fast, frisk rødkjerne: Maksimalt 1/3 bredde av lamellens margside.
Flammeved	Kun tillatt i en meters lengde inntil 1/2 tykkelsen. Ikke tillatt i 0,5 m lengde av endene.	
Brent	Ikke godtatt	Godtatt
Råte	Ikke godtatt	Godtatt inntil 0,5 m lengde i opptil 1/4 av bredden på siden hvor det forekommer. Bør ikke være gjennom- gående.
Blåved	Godtatt	

<b>Virkesegenskap</b>	<b>T3</b>	<b>T1, innerlameller</b>
Føyre	Godtatt i 1/5 av bredden, lengde opptil 2 x bredden. Gjennomgående ikke godtatt.	Godtatt i 1/5 av bredden, lengde opptil 3 x bredden. Bør ikke være gjennomgående.
Misfarging	Misfarging som ikke forårsaket av råtesopper (surnet) er godtatt.	
Insektskade	Ikke godtatt	
Bark	Ikke godtatt	

### 3. Liming av bjørk

*Av Birte Pitzner og Per Lind*

#### 3.1 Summary

The gluing of birch lamellae with approved adhesives for coniferous wood species shows a different performance when used with hardwood with a higher density.

For the purpose of producing birch glulam beams, it is necessary to find an appropriate adhesive. In the preliminary tests, nine adhesives that are approved for the use of gluing spruce lamellae were tested regarding their possible application for gluing of birch lamellae to glulam beams. Two of the tested adhesives were chosen: A MUF- and an EPI-adhesive system. The PRF-resins were not chosen because of their dark colour, which does not meet present requirements from customers who want a light, invisible glue line. The epoxy-adhesive passed the test as well, but is normally only used for repairs and not for the production because of the high costs of the adhesive. The polyurethane-systems did not convince in this implementation with birch wood.

The two chosen adhesives were used to produce finger joints. Two finger lengths were tried out: 15 mm and 30 mm. Two strength grades were also tested: T1 and T3. The produced finger joints were tested for their bending strength and tensile strength. The production of finger joints will be a challenge until all necessary parameters are determined. Of importance are e.g. pressure, assembly time, machine equipment, choice of adhesive, finger profile, etc.

The results of several test series indicate that it is possible to produce reliable birch finger joints with sufficient strength. Finally, 14 glulam beams were produced from birch lamellae.

#### 3.2 Sammendrag

Liming av bjørkelameller med godkjente limtyper for bartræsorter oppviser en annen yteevne brukt på lauvtre, som har høyere densitet.

Ved produksjon av limtrebjelker i bjørk, er det nødvendig å finne et passende lim. I innledende tester ble ni limtyper som er godkjent for bruk ved liming av granlameller, testet med hensyn til en mulig bruk i liming av bjørkelameller til limtrebjelker. To av de testede limsortene ble valgt: Et MUF-lim og et EPI-lim. PRF-lim ble ikke valgt pga. den mørke fargen, som ikke tilfredsstillter kundenes krav om en lys, usynlig limfuge. Epoxy-limet besto også testen, men er normalt brukt kun ved reparasjoner og ikke til produksjon pga. limets høye kostnad. Polyurethansystemene overbeviste ikke i denne gjennomføringen med bjørk.

De to valgte limtypene ble brukt til å produsere fingerskjøter. To fingerlengder ble prøvd: 15 mm og 30 mm. Dessuten ble to styrkegrader testet: T1 og T3. De produserte fingerskjøtene ble testet mht. bøye- og strekkstyrke. Produksjon av fingerskjøter er en utfordring inntil alle nødvendige parametere er fastslått. Her er for eksempel følgende viktig: Trykk, lukketid, maskinelt utstyr, valg av lim, fingerprofil etc.

Resultatene av flere testserier tilsier at det er mulig å produsere pålitelige fingerskjøter av bjørk med tilstrekkelig styrke. Avslutningsvis ble det produsert 14 limtrebjelker av bjørkelameller.

### 3.3 Introduction

In this research project, different sides regarding the use of birch as raw material for glulam has been investigated. The aim of this is to determine the needed parameters and requirements in order to produce glulam made of birch lamellae. To fulfil this ambitious goal, it is necessary to find suitable adhesives and to be able to produce finger joints with sufficient strength and performance. This part of the project describes the tests carried out to determine applicable adhesives, the undertakings to produce usable finger joints and the production of birch glulam beams.

### 3.4 Preliminary test with small test pieces

The aim of this preliminary test was to find two applicable glues for the production of finger joints and glulam beams made of birch wood (*Betula ssp.*).

#### 3.4.1 Adhesives

As shown in the Table 3.1, nine products of five different adhesive types were used in the preliminary tests.

*Table 3.1. Adhesives for the preliminary test.*

MUF	Melamine-Urea-Formaldehyde resin
PRF	Phenol-Urea-Formaldehyde resin
PUR	Polyurethane adhesive
EPI	Emulsion Polymer Isocyanate
Epoxy	Epoxy adhesive

<b>MUF</b>	<b>PRF</b>	<b>PUR</b>	<b>EPI</b>	<b>Epoxy</b>
MUF 1	PRF 1	PUR 1	EPI 1	Epoxy 1
MUF 2	PRF 2	PUR 2		
MUF 3				

Since the aim of this project is to glue birch satisfactorily and not compare the different products of different companies, the adhesives will be named MUF 1, MUF 2, MUF 3, PRF 1, etc.

All of the following adhesives are approved according to EN 301/302 for the manufacture of load bearing timber constructions. They are especially suited for coniferous wood. These adhesives were used in the preliminary test (in alphabetical order):

- BASF AG (Ludwigshafen, Germany)
  - Kauramin 681 + hardener 686
- Casco Adhesives AB (Stockholm, Sweden)
  - Cascomin 1242 + hardener 2540
  - Cascosinol 1775 + hardener 2575
- Dynea ASA (Lillestrøm, Norway)
  - Dynomel L-435 + H-469
  - Dynosol S-100 + H-629
  - Dynopur 9200
  - EXP 9018 + EXP 7314
- Purbond AG (Sempach-Station, Switzerland)
  - Purbond HB 110
- WEVO-Chemie GmbH (Ostfildern-Kemnat, Germany)
  - EP 20/VP1 + B20/1

### 3.4.2 Test method - Shear test EN 392

The test method according to EN 392 is a procedure for measuring the shear strength of the glue line parallel to the grain direction. This test is applicable in the field of continuous quality control of the glue line. The main principle is to apply shear stress to the glue line until a failure occurs. The test pieces are conditioned to equilibrium moisture content in the standard climate 20 °C/65 % RH.

The dimensions of the test pieces have to be measured to the nearest 0.5 mm. The loading has to be in the direction of the grain. The distance between the shearing



tool and the glue line may not exceed 1 mm. The applying of shear stress has to be undertaken at a constant rate and in such a way that the failure occurs after at least 20 seconds. Additional to the shear strength, the wood failure percentage has to be estimated to the nearest figure divisible by five.

The shear strength  $f_v$  is determined with the following equation:

$$f_v = k \cdot \frac{F_u}{A} \quad [\text{N/mm}^2]$$

With

$A$  Shear area  $A = b \cdot t$

$t$  Thickness in mm

$b$  Width in mm

$F_u$  Ultimate load in N

$k$  Modification factor:  $k = 0.78 + 0,0044t$

Note: Factor  $k$  modifies the shear strength for test pieces where the thickness in the grain direction of the sheared area is less than 50 mm.

For documentation, a test report has to be written with all relevant data.

### 3.4.3 Preparation of the test pieces

For each glue, two small beams were made of two glued lamellae. The lamellae dimensions were 400 mm x 55 mm x 35 mm. The density ranged between 537.5 kg/m<sup>3</sup> and 753.0 kg/m<sup>3</sup>. The wood moisture content was 12 ± 1 % for all lamellae.

Table 3.2. Gluing details.

Glue	Amount [g/m <sup>2</sup> ]	Closed assembly time [min]	Press time [h:min]
MUF 1	350	10	22:00
MUF 2	350	10	22:00
MUF 3	350	10	22:00
PRF 1	350	10	22:00
PRF 2	350	10	22:00
PU 1	300	5	3:30
PU 2	300	5	3:30
EPI	300	5	2:00
Epoxy	350	5	24:00



Five test pieces from each small beam were tested according to EN 392. Additionally, the shear strength of the wood (both lamellae) was tested. The shear strength and the wood failure percentage were recorded.

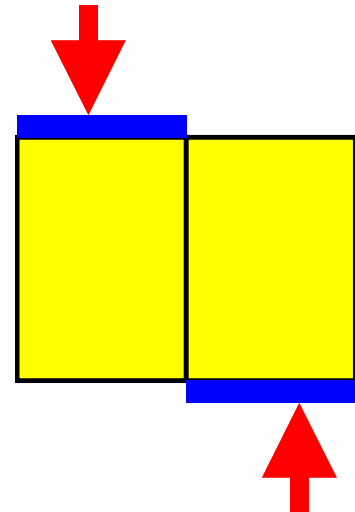


Figure 3.4. Shear test EN 392.

### 3.4.4 Results

The following figures describe the results of the shear test according to EN 392. Figures 3.5 and 3.6 show the shear strength and the wood failure percentage respectively, with the minimum, maximum and mean values ( $\bar{\varnothing}$ ) of the different test series. Each series consists of ten test pieces taken from two beams glued under normal conditions (20 °C/65 % RH).

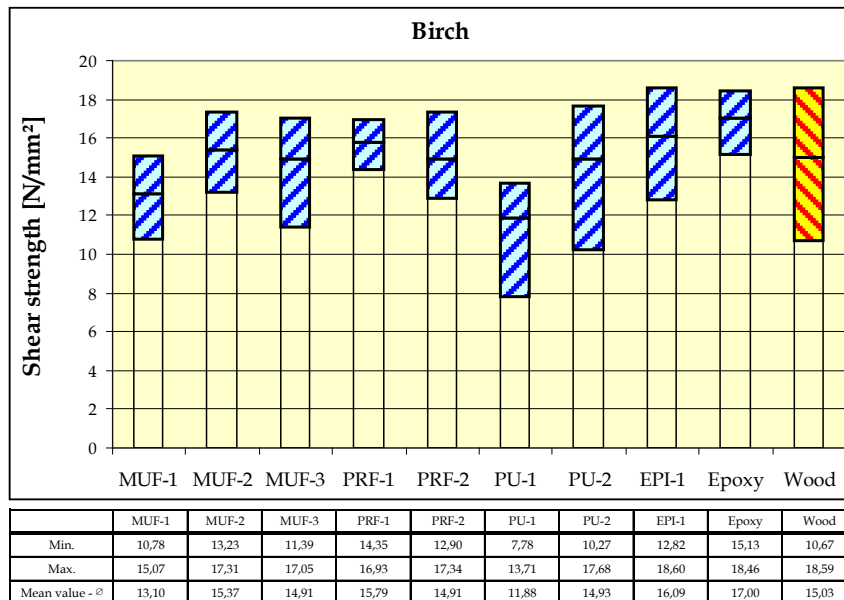
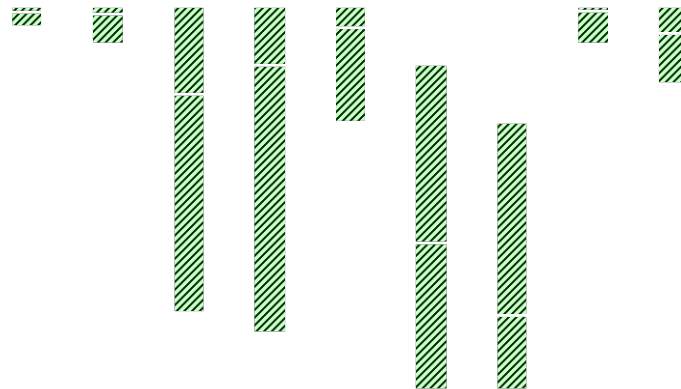


Figure 3.5. EN 392 - Shear strength.



	MUF-1	MUF-2	MUF-3	PRF-1	PRF-2	PU-1	PU-2	EPI-1	Epoxy
Min.	95	90	20	15	70	0	0	90	80
Max.	100	100	100	100	100	85	70	100	100
Mean value - $\emptyset$	99	98	77	85	95	39	20	99	93

Figure 3.6. EN 392 - Wood failure percentage.

Figure 3.7 describes the relation between the shear strength and the wood failure percentage. The columns and the triangles express the mean values ( $\emptyset$ ) of the different test series. The green columns express the shear strength, the orange columns the wood strength, whereas the brown triangles represent the wood failure percentage. The last columns on the right side show the mean value of all shear strength values, all wood strength values and wood failure percentage values respectively.

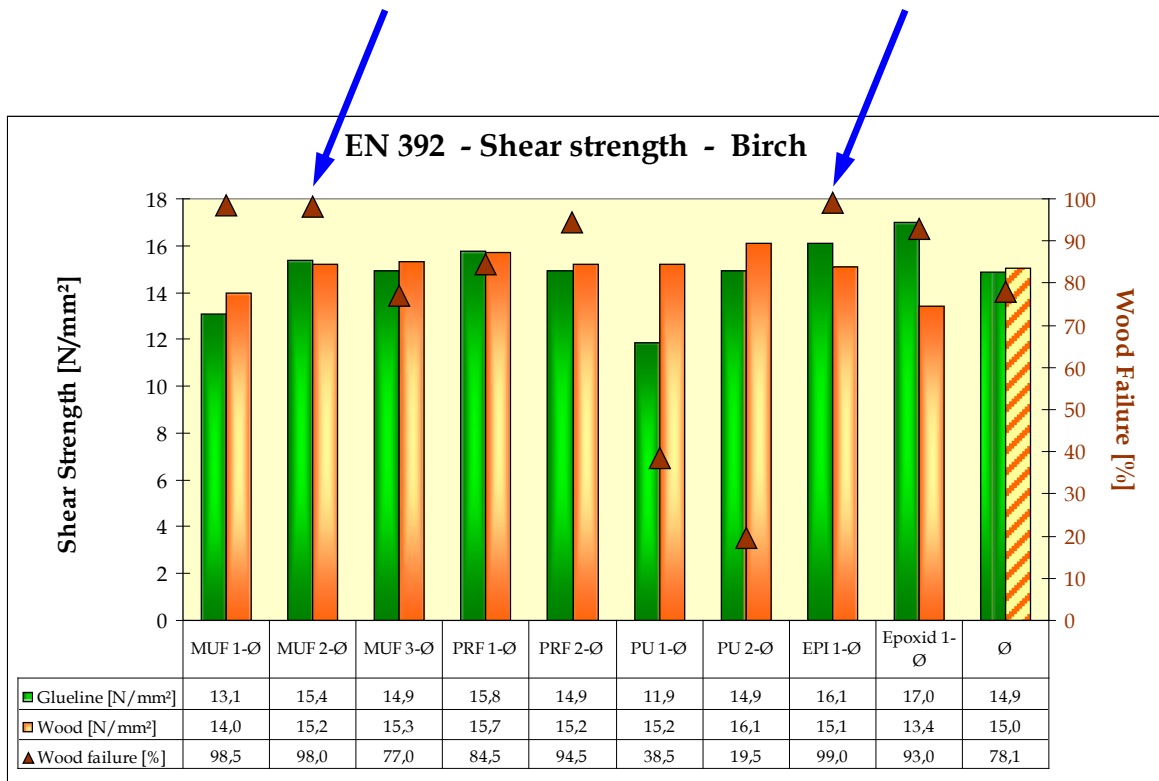


Figure 3.7. EN 392: Relation between shear strength and wood failure percentage.

The systems MUF-1, MUF-2, PRF-2, EPI-1 and Epoxy demonstrated convincing results in the preliminary test. MUF-3 as well as PRF-1 did not achieve as good results as the first group, but they were still in the satisfactory range. The test pieces glued with the polyurethane adhesives did not give high wood failure percentages and the results had a wide range of values.

### 3.4.5 Conclusions - Preliminary test

The gluing of birch wood with approved adhesives for coniferous wood species shows a different performance when used with spruce and hardwood with a higher density.

Two adhesives (blue arrows in Figure 3.7) were chosen for further tests with finger jointed connections and glued laminated beams. The MUF-2-system and the EPI-system show all in all good results with promising prospects of a successful process. The PRF-systems were not chosen because of their dark colour, which does not meet present requirements from customers who want a light, invisible glue line. The epoxy-adhesive passed the test as well, but is normally only used for repairs and not for the production because of high adhesive costs. The polyurethane-systems did not convince in this implementation with birch wood.

### 3.5 Finger jointing of lamellae

A reliable connection of lamellae with finger joints is one of the main challenges with the production of glulam. With this background, the emphasis was placed on this intermediate step of the production process.

Following the preliminary test, two adhesives were chosen: MUF-2 and EPI. These two adhesives were used to produce finger jointed connections with two different finger profiles. The two adhesives are named differently now:

⇒ MUF 2 = Dynomel L-435 + H-469 = Prefere 4535 / 5035  
 ⇒ EPI = EXP 9018 + EXP 7314 = Prefere 6151 / 6651

The practical implementations were carried out at Moelven Limtre - Moelv (finger length: 30 mm) and Moelven Limtre - Splitkon (finger length: 15 mm). An additional test series with the MUF-resin was implemented with the new equipment at Moelv (15 mm).

*Table 3.3. Test overview.*

Adhesive	Finger length [mm]	No. of test pieces	
		Bending strength	Tensile strength
MUF-2	15	20	20
	30	20	23
EPI	15	20	20
	30	21	19
MUF-2	15	12	19

Totally, 194 finger joints were produced and tested.

### 3.5.1 Test methods

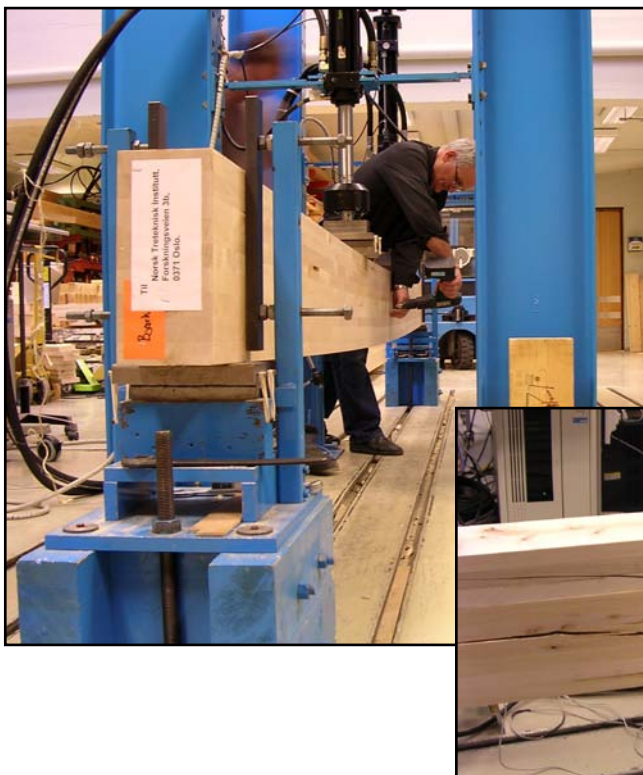
#### Tensile strength

The tensile strength of the finger joints is tested according to NS-EN 408:1995 under point 13.2. The requirements are given in NS-EN 1194:1999.



*Figure 3.1. Tensile stress testing.*

#### Bending strength



*Figure 3.2. Bending strength testing.*

The bending strength is tested according to the requirements in NS-EN 385 and NS-EN 408.

### 3.5.2 Preparation of test pieces

The lamellae were conditioned in the normal climate 65 % RH and 20 °C before they were measured, packed and transported to one of the two contributing

glulam companies. The density of each lamella was recorded. The lamellae were divided into groups with the same range of variety in the density.

Half of the lamellae were finger jointed at Moelven Limtre AS - Moelv and the other half at Moelven Limtre AS - Splitkon. On all finger joints, the adhesive was applied two-sided.

#### Finger jointing at Moelven Limtre - Splitkon

The lamellae were marked for end cutting at NTI before being transported to Moelven Limtre - Splitkon. Since special equipment is needed to apply the EPI-adhesive, the preparation and application of the adhesive system was carried out manually. The finger jointing was carried out with a Cook Bolinder compact machine, which had to be operated manually (jointing and pressing time). The glue was applied two-sided on a milled birch profile.

The chosen MUF-adhesive is used on a daily basis at the factory. The finger jointing was done as usual, except for the adjustment of the end pressure. For spruce and pine, a pressure of 11.0 N/mm<sup>2</sup> is used, while for birch, due to its higher density, it was necessary to increase the pressure to 25.0 N/mm<sup>2</sup>.

The end pressure is determined on the basis of the requirement for a certain ratio between the tip and bottom width of the fingers. For the actual profile, the tip width should be ca. 0.7-0.8 mm. The fingers must be pressed to a level of a certain bottom clearance, maximum 0.04 x length of the finger. In this case, the limit value is at ca. 0.6 mm. To fulfil these requirements, the amount of the normal end pressure had to be more than doubled.

The used finger profile (nominal measures in mm) is:

Length:	15.0
Division:	3.8
Bottom width:	0.6

During the threading process, it was noticed that the fingers that were milled in the partition between the single milling cutter elements, were longer than the others (each seventh). This condition worsened during the finger jointing, and the company could later inform that an error had occurred during grinding of the milling cutter at the manufacturer. We assume that the results will not be influenced to a high degree. The geometric parameters of the profile were not changed during the process.



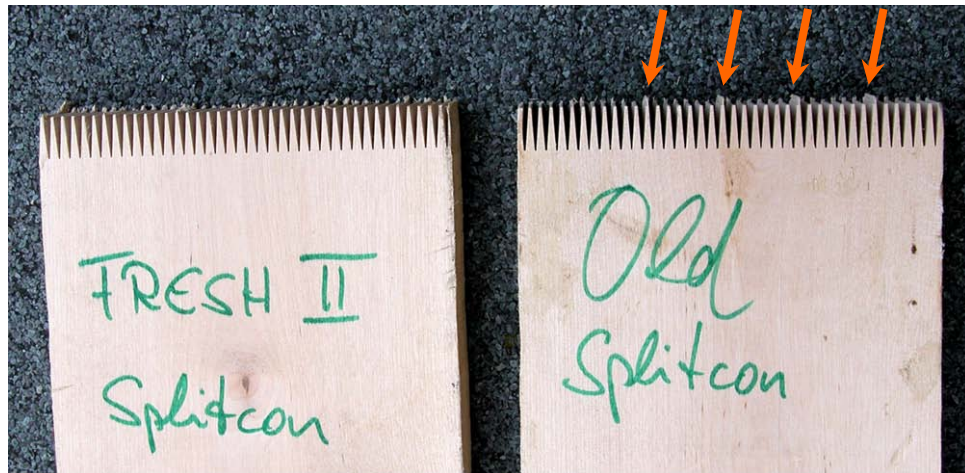


Figure 3.3. Finger profiles: Fresh and after 160 profiles.

The capacity of the profile is defined by the parameters “Relative glue area” (A) and “Cross section reduction” (R). The relative glue area (A) shows the proportion between the glue lines’ active area and the cross section of the material. When jointing to a strength class higher than C30, the ideal value for R should be at least 10.0. An increasing bottom clearance reduces the proportion and thus the capacity of the joint.

The cross section reduction indicates the reduction in the cross section of the material, which is formed of the width of the profile’s finger tips. There is no load transmission through the finger tips, which results in a smaller bearing cross section. When finger jointing in a higher strength class, the cross section reduction (R) should not exceed ca. 10 %.

Annex 3-1 shows an overview of nominal and actual profile data, as well as the estimated values for (A) and (R).

The actual finger profile at Splitkon would give the following theoretical values in a finger joint (with a bottom clearance of 0.6 mm):

$$\begin{aligned} (A): & 9.3 \\ (R): & 18.3 \end{aligned}$$

As mentioned above, the position and compressing of the joints were performed with manual control of the machine. The EPI-adhesive requires special application equipment, and manual application was thus needed. Normally, milling, gluing and pressing is done in one operation.

The following figure shows the process sequence:



*Figure 3.4. Finger jointing with EPI-adhesive: Process sequence.*

After finger jointing with both adhesives, it was noticed that the bottom clearance of the finger joints glued with MUF was larger than the finger joints glued with EPI. A possible reason is that the system in the automatic mode did not manage to build up the needed high pressure during the short available time. The large bottom clearance will without doubt influence the strength of the joints.

At the same time, it was noticed that the glue application seemed to be uneven, which was confirmed during later testing.



*Figure 3.5. Finger joint right after pressing: MUF.*

Test series with ca. 20 finger joints were produced for tensile and bending strength testing. Since the emphasis is on documenting the tensile strength of the finger joints, the joints with the smallest bottom clearances were chosen for the tensile tests. An overview of measured bottom clearances in the different series is given below. The mean value represents all individual results of each series. "Minimum" and "Maximum" describe the minimum mean value and maximum mean value of each series.

<b>Series</b>	<b>Mean value</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
MUF-tensile	0.5	0.0	0.9
MUF-bending	1.4	1.0	1.8
EPI-tensile	0.4	0.0	1.0
EPI-bending	0.6	0.1	1.3

A theoretical calculation of the relative glue area (A) and the cross section reduction percentage (R) was carried out based on the mean values of the bottom clearances.

<b>Series</b>	<b>(A)</b>	<b>(R)</b>
MUF-tensile	9.8	19.5
MUF-bending	9.9	19.1
EPI-tensile	9.2	23.0
EPI-bending	9.7	19.9
<b>Nominal</b>	<b>9.3</b>	<b>18.3</b>

Deviances from the nominal values caused a small increase in the relative glue area, whereas the increase in the cross section reduction is quite distinctive (especially for EPI-tensile). Based on this, a certain strength reduction compared to the optimal has to be expected, as well as a great variation in the bottom clearances of the individual test results.

#### Finger jointing at Moelven Limtre - Moelv

The lamellae were marked for end cutting at NTI before being transported to Moelven Limtre - Moelv. Later it was discovered that the end cutting was not carried out as planned. The mixing and application of the EPI-adhesive was done manually, while the MUF-resin was mixed and applied (two-sided roll application) as usual. The threading and pressing took place in a friction press, which is separate from the glue application machine.

To achieve the correct fit of the fingers, the end pressure was adjusted to the double of what is usual for spruce (ca. 75 bar compared to the usual 40 bar). The pressure for the 30 mm profile is lower than for the 15 mm profile because of a lower friction during threading and pressing.

The used finger profile (nominal measures in mm) is:

Length:	29.0
Division:	6.2
Bottom width:	0.6

The measurements of the milled profile will always be slightly different from the nominal measurements. There were no changes in the measured parameters during this test series.

The milled profile resulted in a calculated relative glue area and cross section reduction percentage with a maximum allowed bottom clearance of 1.16 mm (0.04 x finger length) of:

(A): 10.3  
(R): 12.8

This profile shows more favorable parameters than the Splitkon-profile.

EPI: After the two-sided, manual adhesive application, the finger joints were pressed in the usual way.

MUF: The finger joints, which were manufactured with MUF-resin, were produced in the same way as the usual production of spruce finger joints.

The bottom clearance was measured in the different series from both sides. An overview of measured bottom clearances in the different series is given below. The mean value represents all individual results of each series. "Minimum" and "Maximum" describe the minimum mean value and maximum mean value of each series.

Series	Mean value	Minimum	Maximum
MUF-tensile	1.4	0.5	2.3
MUF-bending	1.3	0.2	2.0
EPI-tensile	1.3	0.6	1.9
EPI-bending	1.4	0.4	2.5

The mean value of the bottom clearances is higher than the asked maximum limit value. The finger joints showed to some extent to be pressed together in an awry way, the values thus vary from one side to the other (see Figure 3.6).

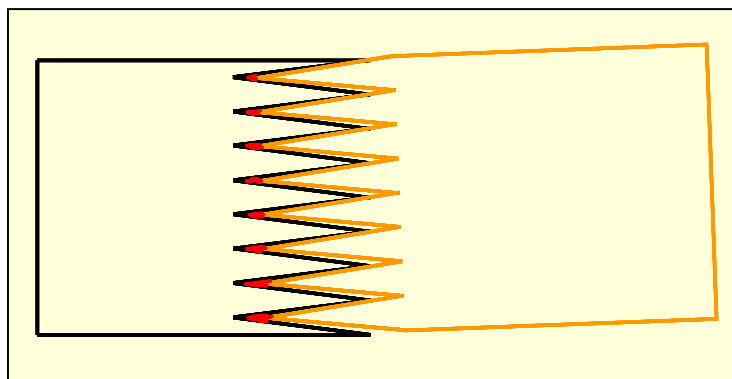


Figure 3.6. Sketch of an awry finger joint.

A theoretical calculation of the relative glue area (A) and the cross section reduction percentage (R) was carried out with the determined mean values of the bottom clearances.

<b>Series</b>	<b>(A)</b>	<b>(R)</b>
MUF-tensile	10.1	15.1
MUF-bending	10.2	14.8
EPI-tensile	10.2	14.8
EPI-bending	10.1	15.1
<b>Nominal</b>	<b>10.3</b>	<b>12.8</b>

The calculations indicate that better results should be expected with this finger joint profile than with the profile used at Splitkon.

## 3.6 Results

### 3.6.1 Splitkon

Annex 3-2 shows a summary of all the test series. Single values are also shown together with the made observations.

#### EPI

The EPI-series show very good results, with a characteristic tensile strength and bending strength of 36.6 N/mm<sup>2</sup> and 76.4 N/mm<sup>2</sup> respectively. The values are very high and are above the desired minimum requirements. The lamellae are a mixture of strength grade T2 and T3, where the characteristic tensile strength of the material is presumed to be ca. 30.0 N/mm<sup>2</sup>.

#### MUF

For the MUF-joints, the situation is different. In this case, a characteristic tensile strength and bending strength of 18.3 N/mm<sup>2</sup> and 30.1 N/mm<sup>2</sup> respectively was achieved, which is far lower than what is the case with EPI.

The MUF-tensile has eight single values that are lower than 30.0 N/mm<sup>2</sup>. The high percentage of edge failures (failures along the finger surface) is most likely due to problems with the glue application. The mean bottom clearance is within the tolerance limit.

The MUF-bending also has a large percentage of edge failures. In addition to a suspected insufficient glue application, the effect of the large bottom clearance will undoubtedly have an influence.

Another phenomenon apparent in the gluing of birch, is the necessity of a certain closed assembly time to achieve maximum glue line strength. Testing of MUF-glue for approval for use in glulam production shows this very clearly. The shortest closed assembly time used for gluing of spruce and pine is ca. 5 minutes for one of the part tests (resistance against delamination).

The same test used on gluing of birch will not give acceptable values on this level, and we have been forced to increase the minimum time to ca. 15 minutes. When finger jointing, the contact time between glue and wood is relatively short, possibly too short to give optimal strength. The reason seems to be the chemical structure of the MUF-glue, in combination with the high density of the birch. An interesting point is that we do not see the same tendency with the use of EPI-glue, which again points out the good qualities of this glue type. It is unclear whether this "theory" has influenced the results.

### 3.6.2 Moelv

Annex 3-2 shows a summary of all the test series. Annex 3-3 shows the single values together with the made observations. Characteristic values are based on normal distribution.

#### EPI

The EPI-tensile has four joints with values below 30 N/mm<sup>2</sup>. In these, the failures mostly occur in the wood itself as shear failure (70-80 %). The lowest value in the remaining test amount is 36.3 N/mm<sup>2</sup>, which is satisfactory.

The EPI-bending shows high values in the entire series, where the minimum value and the characteristic value are 49.5 N/mm<sup>2</sup> and 52.6 N/mm<sup>2</sup> respectively.

#### MUF

The MUF-tensile has six samples below 30.0 N/mm<sup>2</sup>. There is a similar tendency in these samples as in the EPI samples.

The MUF-bending shows high values, where the minimum is at 62.6 N/mm<sup>2</sup> and the characteristic value is at 60.2 N/mm<sup>2</sup>.

The material quality is more significant for the tensile strength results. At bending, the zone around the finger joint is the most loaded, while for the tensile samples, the entire sample length is applied with the same tension. There is also a danger for bias if something "gives" at the edges. Insufficient end cutting will in addition give the highest results for the tensile samples.

## 3.7 Conclusions

All single values are included in the statistical calculations. Several of the single joints have shown failures that qualify for omission, but we have chosen not to make this assessment. Clean wood failures and failures in the tensile series that are due to clamping (clean shear failures), should be weeded out if one wants a more thorough assessment.

The standard deviation is relatively high in the series Moelven-tensile-EPI (15.5), Splitkon-bending-MUF (11.6) and Moelven-bending-EPI (13.5). This is probably due to a large variety in material quality, glue application or bottom clearance.

Totally, the results show that finger jointing of birch (and other high density species) requires special attention. It is very important that the finger profile provides the correct geometry, and that the end pressure is high enough to press the pieces sufficiently together. We also see the necessity of the end cutting being performed correctly, and that the materials in the jointing zone have an even fibre structure.

The jointing should be done using two-sided glue application, and for the MUF-adhesives, it is preferable with a longer open assembly time than what is normal for spruce and pine.

The lamellae in this test are a mixture of strength grades T2 and T3, where the assumed characteristic tensile strength for birch lamellae is at ca. 30 N/mm<sup>2</sup>. For spruce and pine, the joints' capacity is estimated according to the method given in NS-EN 1194.

At a characteristic tensile strength of 30 N/mm<sup>2</sup>, the joints' characteristic tensile strength and bending strength would have been ca. 35 N/mm<sup>2</sup> and 50 N/mm<sup>2</sup> respectively. It is very uncertain if this connection will apply for birch also. With the finger profiles that are used industrially today, it does not seem that such requirements can be met.

With optimal grading, end cutting and implementation of the finger jointing, it should be possible to meet a characteristic tensile requirement of at least 30 N/mm<sup>2</sup> for the material quality that has been part of this test.

The bottom clearance for the finger joints glued with MUF-adhesive was partly higher than what it is supposed to be. This may be explained by a too low pressure in the press. The press was designed to press coniferous wood and not wood with a higher density, such as birch. In addition, the automatic glue application was not sufficient for birch. There is a demand for further research on the technical equipment for the production of birch finger joints.

### **3.8 Additional test series**

In connection with the production of the glulam beams, Moelven also produced joints for an additional test. The strength grade of the lamellae was the same as for the outer lamellae of the beams, namely T3. Assumed characteristic tensile strength for this class is ca. 35 N/mm<sup>2</sup>.

Moelven changed the finger profile and press in the period between the two tests, where the new was similar to the one used at Splitkon. Only the MUF-glue was included in the test series.

The nominal measurements of the profile gave the following geometrical data at a bottom clearance of 0.6 mm (0.04 x finger length):

(A): 9.3  
(R): 18.3

The finger profile was control measured and gave the following geometrical data at a mean measured bottom clearance in the series of 0.1 mm:

(A): 9.3  
(R): 16.2

The numbers show that the finger joints, as a basis, have optimal geometrical data. The reduction in (R) is due to that the bottom clearance is measured to only 0.1 mm.

For spruce and pine, an end pressure of ca. 32 bar (8.0 N/mm<sup>2</sup> end surface) is normally used, while we used 63 bar to join the fingers correctly together (15.8 N/mm<sup>2</sup> end surface). The material dimension was 30 mm x 145 mm.

### 3.8.1 Results

The results are found in Annex 3-4. The samples have not been commented or assessed regarding the extended characterization of the type of failure.

The MUF-tensile: The series included 19 joints and achieved a mean value of 46.2 N/mm<sup>2</sup>. Two joints were below 35.0 N/mm<sup>2</sup>, where one had a knot in the jointing zone and the other had a clamping failure. The values of these two were 30.7 N/mm<sup>2</sup> and 30.5 N/mm<sup>2</sup> respectively. The joints as such were not optimally cut and contained some fissures.

The MUF-bending: This series only included 12 samples. The mean value was as high as 72.7 N/mm<sup>2</sup>, where the lowest value was 48.3 N/mm<sup>2</sup> (second lowest: 59.2 N/mm<sup>2</sup>). This bending series has also a relatively large standard deviation (12.1).

The results strengthen the assumption that the joints meet the characteristic tensile strength of the lamellae.



### 3.9 Glued laminated beams

At Moelven Limtre AS - Moelv, 14 beams were produced on April 19<sup>th</sup> 2005 with the MUF-system Prefere 4535/5035. The resin was applied one-sided in separate strings. The production details are listed below:

Dimensions:	150 x 300 x 12 200 mm
End dimensions:	140 x 300 x 6 000 mm
Strength class:	T1 and T3
Beam design:	Two lamellae T3 on each side and five lamellae T1 in the middle
Glue amount:	400 g/m <sup>2</sup>
Start of applying the glue:	13:40
End of applying the glue:	14:15
Full pressure in the press:	14:25
Pressure time:	> 10 h

The results of the bending strength are described in Chapter 4.

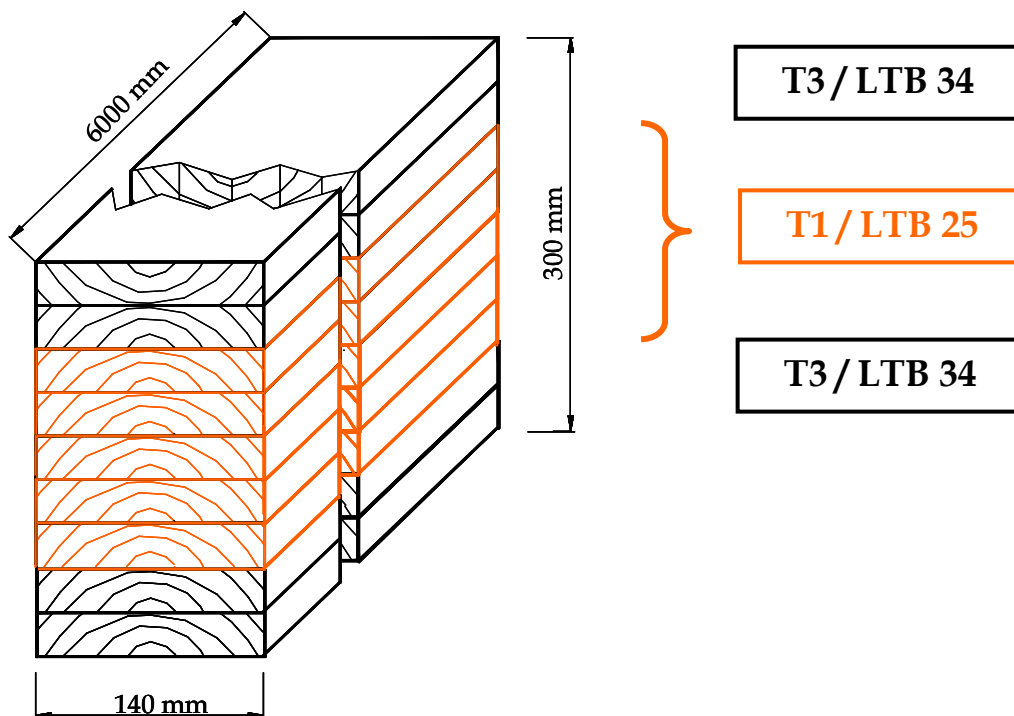


Figure 3.7. Beam design.



*Figure 3.8. Applying of the adhesive.*



*Figure 3.9. Beams in the press.*

### 3.10 Perspective

Glulam produced of birch seems to be promising. As a result of this project, several adhesives went into the process of being tested for approval according to EN 302-2. Two of the tested adhesives have already been approved.

Irrespective of the good results and already started procedures for adhesive approvals, there has to be made further research to find the right parameters to produce glulam e.g. with the correct pressure for finger jointing, the correct finger joint profile, assembly time, machine equipment, right choice of adhesive, etc.

The results of several test series indicate that it is possible to produce reliable and strong finger joints with birch lamellae and glulam beams.

## Annex 3-1. Finger joint geometry

### Beregning av fingergeometriens kapasitet - nominelle og virkelige mål

Nominell profilmål (mm)					Sammenpresset til en bunn-klaring på 0,04 x fingerlengden				
Tupp	Bunn	Deling	Lengde	Relativt limareal (A) (uskjøtt)	Tverrsnittsreduksjon (R)		A	R	
					Langs tupp	Langs bunn			
Splitkon 15 mm	-	0,6	3,8	15,0	10,0	21,1 *	15,8	9,3	18,3
Moelven 30 mm	-	0,6	6,2	29,0	11,0	12,9 *	9,7	10,3	12,8
Moelven 15 mm	-	0,6	3,8	15,0	10,0	21,1 *	15,8	9,3	18,3

\* Tverrsnittsreduksjonen langs fingertuppen er beregnet ved en tuppbredde lik 0,80 mm

Virkelige mål (mm)					Skjøtt tilstand				
Tupp	Bunn	Deling	Lengde	Relativt limareal (uskjøtt)	Tverrsnittsreduksjon		Bunnklaring	A	R
					Langs tupp	Langs bunn			
<b>Splitkon 15 mm</b>									
Ende 1	0,9	0,5-0,8	3,5-3,9	15,0	10,7	24,3	17,6		
Ende 2	0,9	0,5	3,8	15,0	10,4	23,7	13,2		
Strekk MUF								0,5	9,8 19,5
Strekk EPI								0,4	9,9 19,1
Bøy MUF								1,4	9,2 23,0
Bøy EPI								0,6	9,7 19,9
<b>Moelven 30 mm</b>									
	0,9-1,1	0,6-0,8	6,1-6,2	28,0	10,7	14,6	11,4		
Strekk MUF								1,4	10,1 15,1
Strekk EPI								1,3	10,2 14,8
Bøy MUF								1,3	10,2 14,8
Bøy EPI								1,4	10,1 15,1
<b>Moelven 15 mm</b>									
	0,8	0,5-0,7	3,7-3,9	14,5	9,7	21,1	15,8	0,1	9,3 16,2

## Annex 3-2. Compilation of the results - Finger joints

### Forsøk 1

Sorteringsklasse: T2 + T3. Dimensjon: 30 x 148 mm. Fingerlengde: Splitkon 15 mm, Moelven 30 mm. Karakteristisk kravgrense for lamellene: 30,0 N/mm<sup>2</sup>. Antall undermålere refererer til lamellenes karakteristiske strekkfasthet. Det er benyttet normalfordeling ved beregning av de karakteristiske verdiene.

<b>Strekk</b>	<b>Antall</b>	<b>Bunn- klaring</b> [mm]	<b>Finger- lengde</b> [mm]	<b>Middel- verdi</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>Std.av.</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>Karakt. verdi</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>Antall underm.</b>
Splitkon - MUF	20	0,5	15	32,0	7,1	18,3	8
Splitkon - EPI	20	0,4	15	54,1	9,0	36,6	0
Moelven - MUF	23	1,4	30	34,6	7,0	21,1	6
Moelven - EPI	19	1,3	30	46,3	15,5	16,3	4

<b>Bøy</b>	<b>Antall</b>	<b>Bunn- klaring</b> [mm]	<b>Finger- lengde</b> [mm]	<b>Middel- verdi</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>Std.av.</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>Karakt. verdi</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>Antall underm.</b>
Splitkon - MUF	20	1,4	15	53,0	11,6	30,1	
Splitkon - EPI	20	0,6	15	91,4	8,8	74,4	
Moelven - MUF	20	1,3	30	73,1	6,7	60,2	
Moelven - EPI	21	1,4	30	78,7	13,5	52,6	

### Tilleggsforsøk

Sorteringsklasse: T3. Dimensjon: 30 x 145 mm. Fingerlengde: 15 mm. Karakteristisk kravgrense for lamellene: 30,0 N/mm<sup>2</sup>.

<b>Strekk</b>	<b>Antall</b>	<b>Bunn- klaring</b> [mm]	<b>Finger- lengde</b> [mm]	<b>Middel- verdi</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>Std.av.</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>Karakt. verdi</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>Antall underm.</b>
Moelven - MUF	19	0,1	15	46,1	9,8	27,0	2

<b>Bøy</b>	<b>Antall</b>	<b>Bunn- klaring</b> [mm]	<b>Finger- lengde</b> [mm]	<b>Middel- verdi</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>Std.av.</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>Karakt. verdi</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>Antall underm.</b>
Moelven-MUF	12	0,1	15	72,7	12,1	48,0	

## Annex 3-3. Test series 1 – Finger joints - Individual results

### Bøyefasthet

### MUF-Splitkon

Fingerlengde: 15 mm

Prøve- nr.	Lamell-nr. / Densitet					Bunnklaring			Lim	Bøye- fasthet [N/mm <sup>2</sup> ]	Flanke- brudd [%]	Finger- rotbrudd [%]	Tre- brudd [%]	Kommentarer
	Venstre	Densitet	Høyre	Densitet	Densitet Ø	Venstre [mm]	Høyre [mm]	Middel- verdi [mm]						
65	137	0,74	106	0,73	0,74	0,8	1,2	1,00	MUF	80,0	84	10	6	
62	108	0,72	122	0,71	0,72	1,5	1,8	1,65	MUF	72,6	87	11	2	
67	171	0,69	127	0,68	0,69	1,4	1,8	1,60	MUF	69,0	85	15	0	
63	122	0,71	131	0,71	0,71	2,0	1,5	1,75	MUF	65,8	90	10	0	
70	107	0,65	138	0,65	0,65	1,4	1,4	1,40	MUF	56,0	96	4	0	
66	154	0,69	171	0,69	0,69	1,5	1,6	1,55	MUF	55,2	92	6	2	
69	147	0,66	146	0,66	0,66	1,7	1,4	1,55	MUF	55,2	93	3	4	
64	131	0,71	168	0,71	0,71	1,0	1,4	1,20	MUF	54,9	84	8	8	
68	27	0,66	147	0,66	0,66	0,8	1,1	0,95	MUF	51,2	93	7	0	
73	124	0,65	90	0,64	0,65	1,3	1,6	1,45	MUF	50,1	95	5	0	
71	138	0,65	37	0,65	0,65	1,0	1,0	1,00	MUF	49,4	95	5	0	
77	155	0,63	86	0,63	0,63	1,3	0,8	1,05	MUF	48,3	90	10	0	
76	111	0,64	74	0,63	0,64	1,2	1,5	1,35	MUF	47,2	88	12	0	
75	75	0,64	101	0,64	0,64	1,5	1,7	1,60	MUF	45,9	92	8	0	
78	66	0,61	83	0,61	0,61	1,3	1,4	1,35	MUF	43,1	89	5	6	Sideveis forskyvning i skot
81	142	0,59	57	0,58	0,59	1,5	1,7	1,60	MUF	42,7	80	12	8	
74	90	0,64	75	0,64	0,64	0,9	1,4	1,15	MUF	41,7	86	14	0	
80	77	0,60	142	0,59	0,60	1,4	1,6	1,50	MUF	39,1	82	12	6	
72	37	0,65	115	0,65	0,65	1,7	1,9	1,80	MUF	38,8	95	5	0	

Middelverdi Ø	0,66
Minimum	0,59
Maximum	0,74
Standardavvik	0,04
Var.koeff.	0,06

0,66	0,66	1,33	1,46	1,39
0,58	0,59	0,80	0,80	0,95
0,73	0,74	2,00	1,90	1,80
0,04	0,04			
0,06	0,06			

53,0	89	9	2
38,8	80	3	0
80,0	96	15	8
11,6			
0,22			

#### Forklaringskoder i kommentarfeltet

FB = Flankebrudd

FRB = Fingerrotbrudd

TB = Trebrudd

HV = Heltrebrudd

**Bøye-  
fasthet****MUF-Moelven****Fingerlengde: 30 mm**

Prøve- nr.	Lamell-nr. / Densitet					Bunnklaring			Lim	Bøye- fasthet [N/mm <sup>2</sup> ]	Flanke- brudd [%]	Finger- rotbrudd [%]	Tre- brudd [%]	Kommentarer
	Venstre	Densitet	Høyre	Densitet	Densitet Ø	Venstre [mm]	Høyre [mm]	Middel- verdi [mm]						
41	105	0,74	22	0,73	0,74	0,7	1,5	1,10	MUF	90,7	42	26	32	crack ion the surface
35	150	0,64	10	0,64	0,64	1,0	1,4	1,20	MUF	79,6	50	8	42	grain angle
24	40	0,7	87	0,69	0,70	0,8	1,8	1,30	MUF	79,0	76	20	4	
40	60	0,6	174	0,58	0,59	0,0	0,7	0,35	MUF	78,7	40	34	26	crack in the fingers
38	110	0,63	99	0,62	0,63	1,0	2,0	1,50	MUF	77,1	84	16	0	
32	44	0,65	159	0,65	0,65	0,7	1,6	1,15	MUF	76,8	80	20	0	
29	51	0,67	169	0,67	0,67	1,0	1,4	1,20	MUF	76,1	76	18	6	
31	80	0,66	126	0,66	0,66	1,3	2,0	1,65	MUF	75,9	28	0	72	
37	82	0,63	92	0,63	0,63	0,2	0,2	0,20	MUF	74,9	74	26	0	crack in the fingers
36	158	0,64	96	0,63	0,64	1,3	2,0	1,65	MUF	73,0	65	13	22	
30	62	0,66	164	0,66	0,66	0,9	1,5	1,20	MUF	71,4	48	0	52	crack in one finger
22	98	0,72	1	0,71	0,72	1,5	2,1	1,80	MUF	71,1	48	34	18	
26	100	0,68	177	0,68	0,68	1,2	1,9	1,55	MUF	70,9	70	30	0	
33	76	0,65	135	0,65	0,65	1,0	1,0	1,00	MUF	70,6	66	20	14	
27	11	0,68	151	0,68	0,68	0,8	1,0	0,90	MUF	70,3	62	18	20	crack
23	132	0,71	136	0,70	0,71	0,7	1,8	1,25	MUF	69,0	42	0	58	
34	134	0,65	105	0,74	0,70	1,2	1,7	1,45	MUF	67,6	52	6	42	
28	148	0,67	85	0,68	0,68	1,0	1,5	1,25	MUF	63,6	58	26	16	little glue
25	119	0,69	97	0,69	0,69	2,0	2,0	2,00	MUF	62,6	56	6	38	little glue
39	140	0,62	102	0,62	0,62	1,3	2,0	1,65	MUF	62,6	18	0	82	crack on the surface

Middelverdi Ø	0,66
Minimum	0,60
Maximum	0,74
Standardavvik	0,04
Var.koeff.	0,05

0,67	0,67	0,98	1,56	1,27
0,58	0,59	0,00	0,20	0,20
0,74	0,74	2,00	2,10	2,00
0,04	0,04			
0,06	0,05			

73,1	57	16	27
62,6	18	0	0
90,7	84	34	82
6,7			
0,09			

**Forklaringskoder i kommentarfeltet**

FB = Flankebrudd

FRB = Fingerrotbrudd

TB = Trebrudd

HV = Heltrebrudd

**Bøyefasthet****EPI-Splitkon****Fingerlengde: 15 mm**

Prøve-nr.	Lamell-nr. / Densitet					Bunnklaring			Lim	Bøye-fasthet [N/mm <sup>2</sup> ]	Flanke-brudd [%]	Finger-rotbrudd [%]	Tre-brudd [%]	Kommentarer
	Venstre	Densitet	Høyre	Densitet	Densitet Ø	Venstre [mm]	Høyre [mm]	Middel-verdi [mm]						
42	123	0,71	33	0,71	0,71	0,5	0,8	0,65	EPI	108,9	80	20	0	
44	94	0,69	157	0,69	0,69	0,8	1,0	0,90	EPI	106,5	70	18	12	
50	117	0,66	118	0,66	0,66	1,2	1,3	1,25	EPI	103,0	48	38	14	
51	8	0,66	161	0,65	0,66	1,0	1,0	1,00	EPI	100,8	72	20	8	
43	4	0,71	61	0,70	0,71	1,0	1,1	1,05	EPI	97,8	74	10	16	
46	64	0,68	59	0,68	0,68	0,2	0,2	0,20	EPI	95,9	76	24	0	
48	23	0,67	65	0,67	0,67	0,2	0,3	0,25	EPI	95,4	78	22	0	
49	24	0,67	47	0,66	0,67	0,2	0,2	0,20	EPI	93,5	22	46	22	
53	152	0,65	167	0,65	0,65	0,4	0,6	0,50	EPI	93,3	62	26	12	
56	116	0,64	129	0,63	0,64	0,9	1,1	1,00	EPI	91,8	20	0	80	
45	166	0,68	163	0,68	0,68	0,1	0,3	0,20	EPI	89,9	50	0	50	
55	93	0,64	149	0,64	0,64	0,1	0,2	0,15	EPI	86,8	62	18	20	
52	89	0,65	141	0,65	0,65	0,4	0,4	0,40	EPI	85,5	78	18	4	
47	58	0,68	13	0,67	0,68	0,5	0,8	0,65	EPI	85,3	78	20	2	
60	43	0,61	78	0,60	0,61	0,4	0,5	0,45	EPI	84,7	4	0	96	Kvist, grain angle
57	48	0,63	79	0,63	0,63	0,7	0,7	0,70	EPI	83,4	26	68	6	
58	79	0,63	18	0,62	0,63	0,1	0,3	0,20	EPI	83,2	76	20	4	
54	180	0,64	5	0,64	0,64	0,3	0,4	0,35	EPI	83,1	38	46	16	
61	45	0,59	120	0,58	0,59	0,1	0,1	0,10	EPI	80,8	0	0	100	Kvist, fiberforst.
59	139	0,62	121	0,61	0,62	0,7	1,0	0,85	EPI	78,5	12	0	88	

Middelverdi Ø	0,66
Minimum	0,59
Maximum	0,71
Standardavvik	0,03
Var.koeff.	0,05

0,65	0,65	0,49	0,62	0,55
0,58	0,59	0,10	0,10	0,10
0,71	0,71	1,20	1,30	1,25
0,03	0,03			
0,05	0,05			

91,4	51	21	28
78,5	0	0	0
108,9	80	68	100
8,8			
0,10			

**Forklaringskoder i kommentarfeltet**

FB = Flankebrudd

FRB = Fingerrotbrudd

TB = Trebrudd

HV = Heltrebrudd



**Bøyefasthet****EPI-Moelven****Fingerlengde: 30 mm**

Prøve- nr.	Lamell-nr. / Densitet					Bunnklaring			Lim	Bøye- fasthet [N/mm <sup>2</sup> ]	Flanke- brudd [%]	Finger- rotbrudd [%]	Tre- brudd [%]	Kommentarer
	Venstre	Densitet	Høyre	Densitet	Densitet Ø	Venstre [mm]	Høyre [mm]	Middel- verdi [mm]						
13	15	0,65	53	0,65	0,65	0,4	0,7	0,55	EPI	100,1	70	30	0	
6	25	0,68	170	0,68	0,68	1,0	2,0	1,50	EPI	95,2	5	0	95	
12	125	0,65	165	0,65	0,65	0,5	1,5	1,00	EPI	93,3	0	0	100	
15	162	0,64	17	0,64	0,64	1,0	1,8	1,40	EPI	89,4	44	40	16	
1	156	0,71	7	0,71	0,71	1,0	1,5	1,25	EPI	88,1	81	19	0	
19	6	0,62	46	0,62	0,62	0,8	1,1	0,95	EPI	88,1	52	34	14	
7	178	0,68	9	0,67	0,68	0,5	1,5	1,00	EPI	88,0	4	58	38	
20	145	0,61	39	0,60	0,61	0,8	1,5	1,15	EPI	86,3	26	42	32	
17	91	0,63	67	0,63	0,63	0,3	0,4	0,35	EPI	85,1	8	0	92	
16	144	0,63	91	0,63	0,63	1,2	2,0	1,60	EPI	85,0	50	6	44	
5	2	0,68	25	0,68	0,68	1,5	2,0	1,75	EPI	81,6	64	30	6	little glue
4	176	0,69	2	0,68	0,69	1,1	1,5	1,30	EPI	78,7	76	24	0	
8	3	0,67	41	0,67	0,67	1,0	2,0	1,50	EPI	77,3	64	36	0	
11	133	0,66	20	0,65	0,66	1,5	1,6	1,55	EPI	74,2	14	0	86	little glue, Kvist, Grain angle
9	109	0,67	14	0,66	0,67	1,4	1,9	1,65	EPI	72,5	71	29	0	
10	143	0,66	56	0,66	0,66	1,7	1,5	1,60	EPI	71,4	60	16	24	
18	112	0,63	50	0,62	0,63	1,6	1,6	1,60	EPI	68,6	51	49	0	little glue
14	114	0,65	88	0,64	0,65	1,5	1,9	1,70	EPI	64,1	22	0	78	little glue, Kvist
3	179	0,7	12	0,69	0,70	1,8	1,9	1,85	EPI	61,5	74	14	12	little glue
21	19	0,59	34	0,58	0,59	2,5	2,5	2,50	EPI	54,3	86	14	0	little glue
2	95	0,71	71	0,70	0,71	2,0	2,4	2,20	EPI	49,5	18	0	82	little glue

Middelverdi Ø	0,66
Minimum	0,59
Maximum	0,71
Standardavvik	0,03
Var.koeff.	0,05

0,65	0,66	1,20	1,66	1,43
0,58	0,59	0,30	0,40	0,35
0,71	0,71	2,50	2,50	2,50
0,03	0,03			
0,05	0,05			

78,7	45	21	34
n	0	0	0
100,1	86	58	100
13,49			
0,17			

**Forklaringskoder i kommentarfeltet**

FB = Flankebrudd

FRB = Fingerrotbrudd

TB = Trebrudd

HV = Heltrebrudd

## Strekfasthet

## MUF-Splitkon

Fingerlengde: 15 mm

Prøve- nr.	Lamell-nr. / Densitet					Bunnklaring			Lim	Strek- fasthet [N/mm <sup>2</sup> ]	Flan- ke- brudd [%]	Finger- rotbrudd [%]	Tre- brudd [%]	Heltre- brudd [%]	Kommentarer
	Venstre	Densitet	Høyre	Densitet	Densitet Ø	Venstre [mm]	Høyre [mm]	Middel- verdi [mm]							
63	16	0,73	137	0,74	0,74	0,9	0,9	0,9	MUF	44,3	100	0	0	0	Fingerbrudd
67	168	0,71	128	0,70	0,71	0,6	0,1	0,4	MUF	41,6	100	0	0	0	Fingerbrudd
66	103	0,56	42	0,55	0,56	0,0	0,4	0,2	MUF	41,4	86	0	14	0	Fingerbrudd
68	128	0,70	38	0,69	0,70	-	-	-	MUF	39,7	96	4	0	0	
79	26	0,63	155	0,63	0,63	0,6	1,0	0,8	MUF	39,2	100	0	0	0	Fingerbrudd. Noe Skjeventring
73	153	0,67	175	0,67	0,67	1,0	0,8	0,9	MUF	35,5	100	0	0	0	Fingerbrudd. Noe Skjeventring
72	72	0,68	153	0,67	0,68	0,4	0,5	0,5	MUF	35,2	100	0	0	0	Fingerbrudd
65	29	0,55	103	0,56	0,56	0,0	0,0	0,0	MUF	35,0	0	0	100	0	Skjørbrudd
69	38	0,69	154	0,69	0,69	0,3	0,6	0,5	MUF	34,6	100	0	0	0	
70	127	0,68	49	0,68	0,68	0,8	0,5	0,7	MUF	34,3	100	0	0	0	Fingerbrudd. Skjeventring
71	49	0,68	172	0,68	0,68	0,8	0,8	0,8	MUF	31,5	70	30	0	0	Fingerbrudd
81	70	0,62	81	0,62	0,62	0,0	0,6	0,3	MUF	30,0	100	0	0	0	Fingerbrudd. Skjeventring
78	101	0,64	111	0,64	0,64	1,0	0,8	0,9	MUF	29,6	100	0	0	0	Fingerbrudd
74	175	0,67	36	0,67	0,67	0,6	0,0	0,3	MUF	27,4	100	0	0	0	Fingerbrudd. Noe Skjeventring
76	55	0,66	27	0,66	0,66	0,0	0,0	0,0	MUF	26,4	20	0	0	80	
77	146	0,66	68	0,66	0,66	0,6	0,8	0,7	MUF	24,6	92	8	0	0	Fingerbrudd. Noe Skjeventring
64	106	0,73	30	0,56	0,65	0,0	0,0	0,0	MUF	24,2	100	0	0	0	Fingerbrudd
82	81	0,62	21	0,62	0,62	0,7	0,8	0,8	MUF	23,0	100	0	0	0	Fingerbrudd. Skjeventring
75	36	0,67	55	0,66	0,67	0,0	0,0	0,0	MUF	21,8	100	0	0	0	Fingerbrudd
80	86	0,63	70	0,62	0,63	0,4	0,6	0,5	MUF	21,7	100	0	0	0	Fingerbrudd

Middelverdi Ø	0,66
Minimum	0,55
Maximum	0,73
Standardavvik	0,05
Var.koeff.	0,07

0,65	0,65	0,46	0,48	0,47
0,55	0,56	0,00	0,00	0,00
0,74	0,74	1,00	1,00	0,90
0,05	0,04			
0,08	0,07			

32,1	88	2	6	4
21,7	0	0	0	0
44,3	100	30	100	80
7,09				
0,22				

Middelverdi Ø	24,84
Middelverdi Ø	36,86

## Forklaringskoder i kommentarfeltet

FB = Flankebrudd  
 FRB = Fingerrotbrudd  
 TB = Trebrudd  
 HV = Heltrebrudd

## Strekfasthet

## MUF-Moelven

Fingerlengde: 30 mm

Prøve-nr.	Lamell-nr./Densitet					Bunnklaring			Lim	Strekfasthet [N/mm <sup>2</sup> ]	Flankebrudd [%]	Fingerrotbrudd [%]	Trebrudd [%]	Heltrebrudd [%]	Kommentarer
	Venstre	Densitet	Høyre	Densitet	Densitet Ø	Venstre [mm]	Høyre [mm]	Middelverdi [mm]							
26	85	0,67	51	0,67	0,67	1,5	2,2	1,9	MUF	50,8	100	0	0	0	FB
23	97	0,69	100	0,68	0,69	1,0	1,5	1,3	MUF	45,0	70	0	0	30	Kvist-fiberf.-FB
21	1	0,71	132	0,71	0,71	1,6	1,3	1,5	MUF	41,7	100	0	0	0	noe sprekker-FB
39	31	0,55	113	0,56	0,56	1,0	1,0	1,0	MUF	41,0	85	0	15	0	FB
41	69	0,73	130	0,73	0,73	1,0	1,0	1,0	MUF	39,9	100	0	0	0	FB
30	159	0,65	76	0,65	0,65	1,0	1,5	1,3	MUF	38,9	100	0	0	0	FB
34	96	0,63	82	0,63	0,63	0,7	1,5	1,1	MUF	38,4	40	0	0	60	Fiberhelning
35	92	0,63	110	0,63	0,63	1,5	1,5	1,5	MUF	36,4	25	21	0	54	Fiberhelning-FB
29	126	0,65	44	0,65	0,65	1,7	0,7	1,2	MUF	36,2	94	6	0	0	FB
40	28	0,56	113	0,56	0,56	1,5	1,8	1,7	MUF	35,7	58	28	14	0	Sprekk i kant-kvist-FB
24	177	0,68	11	0,68	0,68	1,0	0,8	0,9	MUF	35,0	94	0	0	6	FB
36	99	0,62	140	0,62	0,62	0,5	0,5	0,5	MUF	35,0	100	0	0	0	FB
37	102	0,62	54	0,61	0,62	0,8	1,5	1,2	MUF	34,9	51	32	17	0	Fiberhelning-kvist-FB
20	69	0,73	98	0,72	0,73	2,0	2,5	2,3	MUF	34,7	23	0	1	76	sprekker mellom fingrene
27	169	0,66	62	0,66	0,66	1,6	2,0	1,8	MUF	33,8	71	0	29	0	Sprekker-FB
42	130	0,73	105	0,74	0,74	2,0	2,0	2,0	MUF	32,6	100	0	0	0	Sprekk i kant-FB
28	164	0,66	80	0,66	0,66	1,5	1,5	1,5	MUF	31,1	92	0	8	0	FB
32	104	0,64	150	0,64	0,64	1,4	1,4	1,4	MUF	29,8	10	0	0	90	Skjarbrudd-delvis FB
22	87	0,69	119	0,69	0,69	1,0	1,8	1,4	MUF	27,5	100	0	0	0	FB
38	54	0,61	32	0,60	0,61	1,8	0,5	1,2	MUF	27,1	50	0	0	50	Innspeningsbrudd-FB
33	10	0,64	158	0,64	0,64	1,0	1,5	1,3	MUF	26,0	0	0	0	100	Fiberhelning
31	135	0,65	134	0,65	0,65	1,0	2,0	1,5	MUF	25,0	30	0	0	70	Sprekker-skjarbrudd-delvis FB
25	151	0,68	148	0,67	0,68	1,3	1,8	1,6	MUF	19,5	50	10	0	40	FB

Middelverdi Ø	0,66
Minimum	0,55
Maximum	0,73
Standardavvik	0,05
Var.koeff.	0,07

0,65	0,66	1,28	1,47	1,37
0,56	0,56	0,50	0,50	0,50
0,74	0,74	2,00	2,50	2,25
0,05	0,05			
0,07	0,07			

34,6	67	4	4	25
19,5	0	0	0	0
50,8	100	32	29	100
6,98				
0,20				

Middelverdi Ø	25,82
Middelverdi Ø	37,71

## Forklaringskoder i kommentarfeltet

FB = Flankebrudd

FRB = Fingerrotbrudd

TB = Trebrudd

HV = Heltrebrudd

## Strekfasthet

## EPI-Splitkon

Fingerlengde: 15 mm

Prøve-nr.	Lamell-nr. / Densitet					Bunnklaring			Lim	Strekfasthet [N/mm <sup>2</sup> ]	Flankebrudd [%]	Fingerrotbrudd [%]	Trebrudd [%]	Heltrebrudd [%]	Kommentarer
	Venstre	Densitet	Høyre	Densitet	Densitet Ø	Venstre [mm]	Høyre [mm]	Middelverdi [mm]							
46	157	0,69	166	0,69	0,69	0,5	0,5	0,50	MUF	70,4	82	18	0	0	Fingerbrudd
47	163	0,68	64	0,68	0,68	1,0	1,0	1,00	MUF	67,4	100	0	0	0	Fingerbrudd
53	161	0,65	89	0,65	0,65	0,0	0,0	0,00	MUF	65,2	84	16	0	0	Fingerbrudd
51	47	0,60	117	0,66	0,63	0,0	0,0	0,00	MUF	63,8	100	0	0	0	Fingerbrudd
52	118	0,66	8	0,66	0,66	0,2	0,2	0,20	MUF	61,7	100	0	0	0	Fingerbrudd
56	5	0,64	93	0,64	0,64	0,5	0,1	0,30	MUF	59,4	0	0	0	100	Skjær / Innspenningsbrudd
44	33	0,71	4	0,71	0,71	0,5	0,8	0,65	MUF	58,3	0	0	0	100	Skjærbrudd utenfor skjøt
43	173	0,72	123	0,71	0,72	0,0	0,2	0,10	MUF	57,2	83	13	4	0	Fingerbrudd
59	73	0,63	48	0,63	0,63	0,5	0,0	0,25	MUF	55,7	40	0	34	26	Noe skjevhet. Skjærbrudd
60	18	0,62	139	0,62	0,62	0,0	0,2	0,10	MUF	54,5	0	0	0	100	
57	149	0,64	116	0,64	0,64	1,0	1,0	1,00	MUF	53,2	0	0	100	0	Kvist
61	121	0,61	43	0,61	0,61	0,5	0,5	0,50	MUF	52,5	46	54	0	0	Fingerbrudd
45	61	0,70	94	0,69	0,70	1,0	1,0	1,00	MUF	51,9	70	8	22	0	Fingerbrudd-noe Fiberhelning
50	65	0,67	24	0,67	0,67	0,5	0,5	0,50	MUF	50,4	90	0	10	0	Fingerbrudd
48	59	0,68	58	0,68	0,68	0,2	0,4	0,30	MUF	47,4	0	0	0	100	Skjærbrudd
58	129	0,63	73	0,63	0,63	0,5	0,5	0,50	MUF	46,8	8	0	52	40	Kvist / skjærbrudd
62	78	0,60	45	0,59	0,60	0,5	0,5	0,50	MUF	43,1	0	0	0	100	Fiberhelning
54	141	0,65	152	0,65	0,65	0,2	0,5	0,35	MUF	42,6	0	0	0	100	Kvist
49	13	0,67	23	0,67	0,67	0,1	0,4	0,25	MUF	40,5	10	0	0	90	Skjærbrudd
55	167	0,65	180	0,64	0,65	0,0	0,5	0,25	MUF	39,3	0	0	0	100	Kvist-flatside

Middelverdi Ø	0,66
Minimum	0,60
Maximum	0,72
Standardavvik	0,04
Var.koeff.	0,05

0,66	0,66	0,39	0,44	0,41
0,59	0,60	0,00	0,00	0,00
0,71	0,72	1,00	1,00	1,00
0,03	0,03			
0,05	0,05			

54,1	41	5	11	43
39,3	0	0	0	0
70,4	100	54	100	100
9,04				
0,17				

## Forklaringskoder i kommentarfeltet

FB = Flankebrudd  
 FRB = Fingerrotbrudd  
 TB = Trebrudd  
 HV = Heltrebrudd

## Strekfasthet

EPI-Moelven

Fingerlengde: 30 mm

Prøve-nr.	Lamell-nr. / Densitet					Bunnklaring			Lim	Strekfasthet [N/mm <sup>2</sup> ]	Flankebrudd [%]	Fingerrotbrudd [%]	Trebrudd [%]	Heltrebrudd [%]	Kommentarer
	Venstre	Densitet	Høyre	Densitet	Densitet Ø	Venstre [mm]	Høyre [mm]	Middelverdi [mm]							
10	20	0,65	125	0,65	0,65	0,5	1,8	1,15	EPI	70,4	20	0	0	80	Kvist, innspenningsbrudd
12	53	0,65	114	0,65	0,65	0,7	1,4	1,05	EPI	68,9	88	4	8	0	(innspenningsbrudd/skjærbrudd)-FB
14	17	0,64	52	0,64	0,64	1,0	1,7	1,35	EPI	67,9	60	0	20	20	Innspenningsbrudd/. skjærbrudd, FB
16	67	0,63	112	0,63	0,63	1,5	1,0	1,25	EPI	61,3	58	42	0	0	FRB, FB
11	165	0,65	15	0,65	0,65	1,5	1,5	1,50	EPI	55,7	100	0	0	0	(innspenningsbrudd), FB
3	71	0,70	179	0,70	0,70	1,0	1,5	1,25	EPI	55,6	65	35	0	0	FRB, FB
4	12	0,69	176	0,69	0,69	1,2	1,0	1,10	EPI	54,2	85	5	0	10	FB
18	46	0,62	145	0,61	0,62	1,0	1,0	1,00	EPI	50,2	71	0	29	0	FB
1	160	0,72	156	0,71	0,72	1,5	1,8	1,65	EPI	48,0	96	4	0	0	FB
19	39	0,60	19	0,59	0,60	0,2	1,0	0,60	EPI	45,0	6	0	34	60	Kvist
13	88	0,64	162	0,64	0,64	1,0	2,0	1,50	EPI	44,9	0	0	0	100	Innspenningsbrudd/(skærbrudd)
15	52	0,64	144	0,63	0,64	1,4	1,6	1,50	EPI	43,2	6	20	20	34	Innspenningsbrudd, (FB)
9	56	0,66	133	0,66	0,66	1,5	1,2	1,35	EPI	42,0	57	0	0	43	Skjærbrudd, FB
2	7	0,71	95	0,71	0,71	1,0	2,0	1,50	EPI	40,7	57	38	0	5	Fiberhelning, FB
8	14	0,66	143	0,66	0,66	1,5	1,7	1,60	EPI	36,3	95	0	5	0	FB
7	41	0,67	109	0,67	0,67	1,7	1,7	1,70	EPI	29,5	30	0	0	70	Skjærbrudd
6	9	0,67	3	0,67	0,67	1,0	1,0	1,00	EPI	24,6	22	0	2	76	Skjærbrudd fra profil
17	50	0,62	6	0,62	0,62	1,0	1,0	1,00	EPI	24,2	20	0	0	80	Skjærbrudd, noe FB
5	170	0,68	178	0,68	0,68	1,5	2,3	1,90	EPI	16,5	32	0	0	68	Skjærbrudd, FB

Middelverdi Ø	0,66
Minimum	0,60
Maximum	0,72
Standardavvik	0,03
Var.koeff.	0,05

0,66	0,66	1,14	1,48	1,31
0,59	0,60	0,20	1,00	0,60
0,71	0,72	1,70	2,30	1,90
0,03	0,03			
0,05	0,05			

46,3	51	8	6	34
16,5	0	0	0	0
70,4	100	42	34	100
15,51				
0,34				

Middelverdi Ø	23,70
Middelverdi Ø	52,29

## Forklaringskoder i kommentarfeltet

FB = Flankebrudd

FRB = Fingerrotbrudd

TB = Trebrudd

HV = Heltrebrudd

## Annex 3-4. Test series 2 – Finger joints - Individual results

### Bøyefasthet MUF-Moelven Fingerlengde: 15 mm 2. Forsøk

Prøve- nr.	Lamell-nr. / Densitet					Bunnklaring			Bøye- fasthet [N/mm <sup>2</sup> ]	Brudd- type	Kommentarer
	Venstre	Densitet	Høyre	Densitet	Densitet Ø	Venstre [mm]	Høyre [mm]	Lim			
3	1	0,63	2	0,68	0,66	0,1	0,1	MUF	87,3	2	
7	1	0,61	2	0,58	0,60	0,1	0,1	MUF	87,1	1	
11	1	0,67	2	0,69	0,68	0,1	0,1	MUF	86,9	2	
10	1	0,67	2	0,63	0,65	0,1	0,1	MUF	82,2	2	
6	1	0,66	2	0,68	0,67	0,1	0,1	MUF	74,6	1	
8	1	0,58	2	0,63	0,61	0,1	0,1	MUF	74,3	1	
2	1	0,66	2	0,72	0,69	0,1	0,1	MUF	70,2	2	
9	1	0,71	2	0,66	0,69	0,1	0,1	MUF	69,3	1	
4	1	0,71	2	0,65	0,68	0,1	0,1	MUF	66,3	2	
1	1	0,63	2	0,73	0,68	0,1	0,1	MUF	66,1	1	
5	1	0,58	2	0,64	0,61	0,1	0,1	MUF	59,2	1	
12	1	0,56	2	0,71	0,64	0,1	0,1	MUF	48,3	1	

Middelverdi Ø	0,64
Minimum	0,56
Maximum	0,71
Standardavvik	0,05
Var.koeff.	0,08

0,67	0,65	0,10	0,10	72,7
0,58	0,60	0,10	0,10	48,3
0,73	0,69	0,10	0,10	87,3
0,04	0,03			12,05
0,07	0,05			0,17
Middelverdi Ø				72,65

**Strekfasthet MUF-Moelven Fingerlengde: 15 mm 2. Forsøk**

Prøve- nr.	Lamell-nr. / Densitet					Bunnklaring			Strek- fasthet [N/mm <sup>2</sup> ]	Brudd- type	Kommentarer
	Venstre	Densitet	Høyre	Densitet	Densitet Ø	Venstre [mm]	Høyre [mm]	Lim			
3	1	0,70	2	0,65	0,68	0,1	0,1	MUF	60,6	4	
1	1	0,72	2	0,60	0,66	0,1	0,1	MUF	60,5	4	
13	1	0,67	2	0,69	0,68	0,1	0,1	MUF	60,5	4	
14	1	0,68	2	0,68	0,68	0,1	0,1	MUF	56,5	7	
2	1	0,64	2	0,66	0,65	0,1	0,1	MUF	53,4	4	kvist nær fingerskøtt
15	1	0,61	2	0,69	0,65	0,1	0,1	MUF	52,2	5	
11	1	0,60	2	0,61	0,61	0,1	0,1	MUF	50,5	6	
16	1	0,63	2	0,72	0,68	0,1	0,1	MUF	48,3	2	
17	1	0,66	2	0,68	0,67	0,1	0,1	MUF	48,1	2	
7	1	0,63	2	0,58	0,61	0,1	0,1	MUF	47,2	7	
19	1	0,62	2	0,65	0,64	0,1	0,1	MUF	47,2	4	
6	1	0,61	2	0,68	0,65	0,1	0,1	MUF	40,8	4	
8	1	0,65	2	0,68	0,67	0,1	0,1	MUF	40,5	2	Bredde: 136 mm!
12	1	0,63	2	0,65	0,64	0,1	0,1	MUF	39,9	7	
5	1	0,59	2	0,68	0,64	0,1	0,1	MUF	37,5	4	
9	1	0,61	2	0,61	0,61	0,1	0,1	MUF	36,7	7	brudd langs sprekke, Bredde: 136 mm!
18	1	0,63	2	0,69	0,66	0,1	0,1	MUF	35,6	4	
10	1	0,66	2	0,67	0,67	0,1	0,1	MUF	30,7	4	kvist nær fingerskøtt
4	1	0,71	2	0,66	0,69	0,1	0,1	MUF	30,5	7	

Middelverdi Ø	0,64
Minimum	0,59
Maximum	0,72
Standardavvik	0,04
Var.koeff.	0,06

0,66	0,65	0,10	0,10	46,2
0,58	0,61	0,10	0,10	30,5
0,72	0,69	0,10	0,10	60,6
0,04	0,03			9,73
0,06	0,04			0,21
Middelverdi Ø				46,17

## 4. Limtre – Bøyefasthet, MOE og densitet

Av Kjell Helge Solli

### 4.1 Sammendrag

Tabell 4.1 viser hovedresultatene av undersøkelsen. Verdiene er omregnet til et referansetverrsnitt lik 150 mm x 600 mm.

Tabell 4.1. Forslag til anbefalte verdier for limtrebjelker av bjørk med lameller i fasthetsklasse LTB 34 og LTB 25.

$f_{m,g,k}$ N/mm <sup>2</sup>	$E_{0mean}$ N/mm <sup>2</sup>	$\rho_k$ kg/m <sup>3</sup>
40,0	14700	600

En forutsetning for å benytte de anbefalte verdiene, er at bjelkeoppbygning, fasthetsklasser og limtyper er identisk med hva som er anvendt i dette prosjektet.

Limtre produsert etter disse forutsetninger anbefales kun benyttet i Klimaklasse 1 eller Klimaklasse 2, se NS 3470-1, pkt. 11.1.4 (eventuelt Service class 1 eller Service class 2 angitt i EN 1995-1-1:2004 pkt. 2.3.1.3).

### 4.2 Målsetting for delprosjekt Limtre - Bøyefasthet, MOE og densitet

Delprosjektet skal resultere i et forslag til verdier for bøyefasthet, elastisitetsmodul og densitet for limtre av bjørkelameller. Fastsettelse av karakteristiske material-egenskaper er gjort i henhold til gjeldende europeiske standarder, slik at resultatene skal kunne oppnå internasjonal aksept.

### 4.3 Materialer

I delprosjektet inngikk det 14 limtrebjelker med nominell dimensjon 140 mm x 300 mm x 6000 mm.

Hver bjelke var limt sammen av ni lameller med tykkelse 33 mm av bjørk. De to ytterlamellene på hver side av tverrsnittene hadde kvalitet LTB 34, de fem midtre lamellene hadde kvalitet LTB 25.

Limtypen som ble benyttet til å lime opp tverrsnittet, var et MUF-lim av type Prefere 4535/5035. Limtypen som ble benyttet i lamellenes fingerskjøter, var et MUF-lim av type Prefere 4525/5025. Bjelkene hadde en midlere trefuktighet på 10,6 %.



## 4.4 Testprosedyre

Bøyefasthet ble bestemt iht. EN 408 Kap. 13. Elastisitetsmodul ble bestemt iht. EN 408 Kap. 9 (lokal elastisitetsmodul,  $MOE_{\text{lokal}}$ ) og Kap. 10 (global elastisitetsmodul,  $MOE_{\text{global}}$ ).

## 4.5 Korreksjoner

Den registrerte verdien for bøyefasthet ble for hver prøve multiplisert med dimensjonsfaktoren  $k_{\text{size}}$ , hvor

$$k_{\text{size}} = \left(\frac{b}{150}\right)^{0,05} \cdot \left(\frac{h}{600}\right)^{0,1} \quad (\text{EN 1194 [4], pkt. 6.2})$$

der  $b$  og  $h$  er de reelle tverrsnittsmål for bjelken.

Den registrerte verdien for elastisitetsmodul ble for hver prøve korrigert med hensyn til reell trefuktighet til en verdi tilsvarende 12 % trefuktighet (EN 384 [5] pkt. 5.3.4.2 c). Den registrerte verdien for densitet ble for hver prøve korrigert med hensyn til reell trefuktighet til en verdi tilsvarende 12 % trefuktighet (EN 384 pkt. 6).

## 4.6 Resultater – samtlige bjelker

Tabell 4.2. Mekaniske egenskaper, samtlige bjelker. Verdiene er omregnet til et referansetverrsnitt lik 150 mm x 600 mm.

	Bøyefasthet	$MOE_{\text{lokal}}$	$MOE_{\text{global}}$	Densitet
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Middelverdi	53,8	14734	13736	629
Standard avvik	6,7	513	357	10,2
Variasjonskoeff. [%]	12,4	3,5	2,6	7,3
Karakteristisk bøyefasthet, normalfordelt:		$f_{m,g,k\text{-norm}}$	= 40,4 N/mm <sup>2</sup>	
Karakteristisk bøyefasthet, lognormalfordelt:		$f_{m,g,k\text{-lognorm}}$	= 41,2 N/mm <sup>2</sup>	
Karakteristisk densitet		$\rho_k$	= 612 kg/m <sup>3</sup>	

## 4.7 Kommentarer

### 4.7.1 Bruddtyper

I 10 av 14 bøyebrudd var fingerskjøt helt eller delvis bruddårsak. I fire bøyebrudd var fiberhelling helt eller delvis bruddårsak. Kvist som medvirkende bruddårsak ble påvist ved tre av bøyebruddene.

### 4.7.2 Fasthetsklasser

Fasthetsklasser og metoder for bestemmelse av karakteristiske verdier for limtre er definert i EN 1194 [4]. Imidlertid står det følgende kommentar under Kap. 1 Scope: "This standard is currently limited to softwood glued laminated timber".

Angitte beregningsmetoder og definerte krav (for eksempel vedr. fingerskjøter etc.) gitt i EN 1194 vil ikke nødvendigvis være relevante for bjørk, med mindre dette dokumenteres.

### 4.7.3 Densitet

Den registrerte densiteten for limtrebjelkene stemte relativt godt overens med densitet for limtrelameller i fasthetsklassene LTB 34 og LTB 25 ( $\rho_{l,k-34} = \rho_{l,k-25} = 550 \text{ kg/m}^3$ ).

## 4.8 Konklusjon

Tabell 4.3. Forslag til anbefalte verdier for limtrebjelker av bjørk med lameller i fasthetsklasse LTB 34 og LTB 25.

$f_{m,g,k}$ N/mm <sup>2</sup>	$E_{0,g,mean}$ N/mm <sup>2</sup>	$\rho_{g,k}$ kg/m <sup>3</sup>
40,0	14700	600

$f_{m,g,k}$	Karakteristisk bøyefasthet, limtrebjelke
$E_{0,g,mean}$	Midlere E-modul i fiberretningen, limtrebjelke
$\rho_{g,k}$	Karakteristisk densitet, limtrebjelke

Bøyefasthet er omregnet til et referansetverrsnitt lik 150 mm x 600 mm. E-modul og densitet er korrigert til en likevektsfuktighet på 12 %. En forutsetning for å benytte de anbefalte verdiene, er at bjelkeoppbygning, fasthetsklasser og limtyper er identisk med hva som er anvendt i dette prosjektet.

Limtre produsert etter disse forutsetninger anbefales kun benyttet i Klimaklasse 1 eller Klimaklasse 2, se NS 3470-1, pkt. 11.1.4 (eventuelt Service class 1 eller Service class 2 angitt i EN 1995-1-1:2004 pkt. 2.3.1.3).

## 4.9 Referanser

- [1] EN 338 Structural timber – Strength classes
- [2] INSTA 142 Nordic visual strength grading rules for timber
- [3] EN 408 Timber structures – Structural timber and glued laminated timber - Determination of some physical and mechanical properties
- [4] EN 1194 Timber structures – Glued laminated timber – Strength classes and determination of characteristic values
- [5] EN 384 Structural timber – Determination of characteristic values of mechanical properties and density

## Vedlegg 4-1. Verdier for den enkelte bjelke

NR.	Bøyefasthet N/mm <sup>2</sup>	MOE <sub>lokal</sub> N/mm <sup>2</sup>	MOE <sub>global</sub> N/mm <sup>2</sup>	Densitet kg/m <sup>3</sup>	Bruddårsak
1	42,2	14902	13757	623	FJ
2	50,5	14010	13300	625	K
3	52,3	14319	13902	631	FJ
4	60,1	14088	13490	620	FJ
5	56,3	15349	14394	628	FH
6	59,2	14359	13724	632	FH
7	64,2	15051	13833	622	FJ
8	53,4	14110	13071	611	FJ
9	43,7	14562	13449	635	FJ/FH
10	53,5	14715	13833	645	FJ/K
11	60,5	14956	13546	624	FJ
12	56,3	15675	14128	639	FJ
13	44,4	14917	13688	621	K/FH
14	55,8	15261	14194	648	FJ/K
Middelverdi	53,8	14734	13736	629	
Std.av.	6,7	513	357	10,2	
Var.koeff.	12,4	3,5	2,6	1,6	

Tabell 4-1.1. Enkeltresultater fra bjelketesting, korrigert mht. trefuktighet. Bøyefasthet er omregnet til et referansetverrsnitt lik 150 mm x 600 mm.

FJ Fingerskjøt  
 FH Fiberhelling  
 K Kvist