

Råstoff til massivtreelementer

- En aktivitet i SSFF-prosjektet

Raw material for solid wood units

- An activity in the SSFF-project

Prosjektleder: Vegard Kilde, Norsk Treteknisk Institutt

Dato: 2004-04-16

Prosjektnr: 370021

Sammendrag

Massivtreelementer er i ferd med å etablere seg som et viktig produkt innen trehusbygging. Ved produksjon av massivtreelementer er råstoffforbruket stort. Råstoffkostnaden er derfor en viktig faktor for å få økonomi i en industriell framstilling av massivtreelementer. I SSFF-prosjektet inngår det en aktivitet som omhandler råstoff til massivtreelementer, der hovedmålsettingen har vært å undersøke hvilke egenskaper massivtreelementene får, dersom de produseres av virkesråstoff med lave fasthetsegenskaper.

Det har vært fokusert på to typer råstoff. Utlegg fra trelast av gran beregnet til limtreproduksjon, og trelast skåret fra massevirke furu. Begge deler er råstoff som har liten verdi og begrenset bruksområde. Gjennomsnittlig E-modul for lamellene fra utlegg limtre var 11 263 N/mm², lamellene fra massevirke hadde en gjennomsnittlig E-modul på 9 026 N/mm². Begge verdiene er høyere enn kravet for fasthetsklasse C14 - bartrær (Norges Standardiseringsforbund 1995a). Forklaringsgraden (R²) mellom stivhet lameller og stivhet massivtreelementer var 90,8 % og 96,6 % for spennvidder på 5 800 mm og 4 500 mm. Dette viser at gjennomsnittlig E-modul til råstoffet har meget stor sammenheng med E-modulen vi vil få i de ferdige massivtreelementene. Massivtreelementer består av mange lameller satt sammen til ett element. Hvis en enkeltlamell har en stor styrkereduserende virkesegenskap i forhold til resten av lamellene, vil den med svært liten sannsynlighet virke inn på E-modulen til massivtreelementet, da det er lite sannsynlig at nabolamellene har tilsvarende virkesfeil i samme tverrsnitt for massivtreelementet.

Forsøket viser at råstoff som i dag ikke brukes til konstruksjoner grunnet lave fasthetsegenskaper (T0 og lavere), er godt egnet til produksjon av massivtreelementer.

Stikkord: *Massivtreelementer, råstoff, SSFF-prosjekt*

Keywords: *Solid wood units, raw material, SSFF-project*

Summary

Solid wood units are about to be established as an important product in wooden house building. When producing solid wood units, the raw material consumption is very large. The raw material cost is therefore an important factor in making the production of solid wood units profitable. The SSFF-project includes an activity that deals with raw material for solid wood units, where the main goal has been to examine what qualities the solid wood units gain when produced from raw materials with low strength qualities.

The focus has been on two types of raw materials. Rejects from spruce from glulam production, and pulp wood sawn from pine. Both are raw materials that have little value and limited usage areas. Mean modulus of elasticity for the lamellae from glulam rejects was 11 263 N/mm², lamellae from pulp wood had a mean modulus of elasticity of 9 026 N/mm². Both values are higher than the requirement for strength class C14 - conifers (7 000 N/mm²) (Norges Standardiseringsforbund 1995a). The explanatory degree (R^2) between stiffness lamellae and stiffness solid wood units was 90,8 % and 96,6 % for spans of 5 800 mm and 4 500 mm. This shows that there is a very good correlation between mean modulus of elasticity of the raw material with the modulus of elasticity of the solid wood units. Solid wood units consist of many lamellae assembled to one unit. If a single lamella has a large strength reducing quality compared to the rest of the lamellae, it will not be likely to have an effect on the modulus of elasticity of the solid wood unit, as it is unlikely that the neighbouring lamellae have a corresponding defect in the exact same cross section of the solid wood unit. The test shows that raw material that presently is not used for constructions due to low strength qualities, T0 (including rejects), are well suited for production of solid wood units.

Forord

SSFF-prosjektet "Norsk Trevirke som råstoff - Verdiskapningspotensial og industrielle muligheter" er initiert av Skogbrukets og skogindustrienes forskningsforening (SSFF). Det er et kompetanseprosjekt med brukermedvirkning, der det også inngår gjennomføring av tre dr. gradsarbeider.

I SSFF-prosjektet delprosjekt TRE inngår det en aktivitet som omhandler råstoff til massivtreelementer. Hovedmålsettingen har der vært å undersøke hvilke egenskaper massivtreelementer får, dersom de produseres av virkesråstoff med lave fasthetsegenskaper.

SSFF-prosjektet er finansiert av Norges forskningsråd, Skogtiltaksfondet, norsk treforedlingsindustri og Fondet for treteknisk forskning ved Treteknisk. Videre bidrar mange aktører innenfor skogbruk og skogbasert næring med en betydelig egeninnsats. Vi retter en stor takk til Viken Skogeierforening som leverte råstoffet massevirke furu, Moelven Våler AS som leverte utleggslameller fra produksjon av limtre, Vesterud Sag i Tyristrand som skar lamellene fra massevirke furu, Moelven Sokna AS som tørket og høvlet lamellene, og Alfa Tre i Larvik som produserte massivtreelementene.

Oslo, 2004-04-19

Vegard Kilde, delprosjektleder TRE

Knut Magnar Sandland, prosjektleder

Innhold

Sammendrag.....	3
Summary	4
Forord	5
1 Innledning.....	8
1.1 Hva er lav kvalitet?	8
1.2 Hvor finnes ønsket kvalitet?.....	9
1.3 Hypotese.....	9
2 Materiale og metoder	10
2.1 Lameller til massivtreelementer.....	10
2.1.1 Utlegg fra limtreproduksjon som råstoff.....	10
2.1.2 Massevirke som råstoff	10
2.1.3 Registreringer av lamellenes egenskaper	11
2.1.4 Registrering av E-modul på lameller	11
2.2 Metode for testing av massivtreelementer	12
2.2.1 Elementer	12
2.2.2 Testing av massivtreelementer.	14
2.2.3 Belastninger	15
3 Resultater	16
3.1 Lameller.....	16
3.1.1 Kvalitetsfordeling	16
3.1.2 Nedklassingsårsaker	17
3.1.3 E-modul lameller	18
3.2 Elementer	20
4 Konklusjon.....	25
Referanser.....	27

1 Innledning

Massivtreelementer er i ferd med å etablere seg som et viktig produkt innen trehusbygging. Det finnes flere metoder å konstruere massivtreelementer på. Hovedskillene går mellom lameller (tilsvarende plank eller bord) som er sammensatt ved siden av hverandre på høykant, eller lameller som er krysslågt i flere sjikt (NTI 2000).

Ved produksjon av massivtreelementer er råstofforbruket svært stort. Råstoffkostnaden er derfor en viktig faktor for å få god økonomi i en industriell framstilling av massivtreelementer.

Siden elementene er massive, vil en stor styrkereduserende virkesegenskap i én lamell bli oppveid av nabolameller som sannsynligvis har svært liten reduksjon. Ut fra dette har det derfor vært en gjeldende hypotese at rimelige og relativt lave kvaliteter til råstoff, kan være kostnadseffektivt å benytte til framstilling av massivtreelementer.

På bakgrunn av at det tidligere har vært utført svært lite arbeid med hensyn til å konkretisere hvilke egenskaper som kan tillates som råstoff til massivtreelementer, har målsetningen i dette prosjektet vært å undersøke hvordan egenskapene til massivtreelementene blir påvirket når de produseres av råstoff med lave krav til fasthetsegenskaper.

1.1 Hva er lav kvalitet?

Råstoffet til massivtreelementer vil være trelast. Skurlast har minst bearbeidingsgrad, og vil være det råstoffet som har lavest produksjonskostnad. Det er viktig at råstoffet har lav trefuktighet og tilpasset det klima massivtreelementet skal brukes i. For innendørskonstruksjoner i helårsoppvarmede bygninger vil trefuktigheten gjennom et år variere fra 6 % til 12 %.

For å si noe om kvaliteten på råstoffet, er det naturlig å forholde seg til et klassifiseringsregelverk for trelast. For massivtreelementer vil det være nordisk standard for styrkesortering, NS-INSTA 142 (Norges Standardiseringsforbund 1997a), som fordeler trelasten inn i fire klasser, i tillegg til utlegg. T0 er laveste og T3 er høyeste klasse. Alle klasser over T1 regnes som klasser egnet til konstruksjonsformål. T0 og utlegg omsettes ikke til disse formålene. T0 skal ha en karakteristisk bøyefasthet, $f_{m,k}$, på 14 N/mm², gjennomsnittlig densitet på 350 kg/m³ og gjennomsnittlig bøyestivhet, $E_{0,mean}$, på 7 N/mm² etter NS EN 338 (Norges Standardiseringsforbund 1995a). For utlegg finnes ikke slike verdier.

For dette prosjektet har det dermed vært interessant å ta utgangspunkt i T0 og utlegg som aktuelt råstoff.

1.2 Hvor finnes ønsket kvalitet?

Fra sagbruksbransjen peker det seg ut ett type råstoff, nemlig utlegg fra produksjon av limtrelameller. Her er kravet til gjennomsnittlig trefuktighet ofte på 10-14 %. På grunn av spesielle dimensjoner beregnet for limtre, er mulighetene til å utnytte utlegg noe begrenset til ulike formål. For massivtreelementer er dette fuktighetsnivået gunstig, og massivtreelementer setter små krav til hvilke dimensjoner som kan benyttes.

Furutømmer til framstilling av kjemisk og mekanisk masse er et stadig mindre etterspurt råstoff. Dette har medført en nedgang i prisen for dette råstoffet. Reglene for tømmer-sortering klassifiserer furu massevirke som uegnet til framstilling av trelast. Det finnes betydelige volumer av furu, som med en relativt beskjeden prisøkning kan bli forløst som et råstoff med lav kostnad for dette formålet.

Dette er bakgrunnen for at denne rapporten undersøker utlegg fra limtre-produksjon og massevirke som råstoff til massivtreelementer.

1.3 Hypotese

Hypotesen for prosjektet er:

- Hvilken innvirkning har råstoffets kvalitet på massivtreelementenes fasthetsegenskaper?
- Er råstoff som ikke benyttes til konstruksjoner grunnet lave fasthetsegenskaper (T0 og lavere), egnet til produksjon av massivtreelementer?

2 Materiale og metoder

2.1 Lameller til massivtreelementer

I prosjektet er det benyttet følgende to råstofftyper for utprøving i massivtreelementer:

1. Granlamellene er basert på utlegg fra vanlig produksjon av limtre lameller. Dette vil i praksis si utlegg etter NS-EN 519 (maskinell styrkesortering) (Norges Standardiseringsforbund 1995c) eller NS-INSTA 142 (visuell styrkesortering) (Norges Standardiseringsforbund 1997a). Tverrsnittsdimensjonen på lamellene var 45 mm x 150 mm. Lamellene ble høvlet til 40 mm x 145 mm før produksjon av massivtreelementene.
2. Furulamellene er skåret av massevirke med få begrensinger i forhold til kravene for massevirkesortimentet. Tømmeret ble skåret i samme dimensjon som granlamellene.

2.1.1 Utlegg fra limtreproduksjon som råstoff

Lamellene av gran er utlegg fra trelast som var beregnet til limtreproduksjon. Den er tatt ut fra den daglige produksjonen ved Moelven Våler AS. På grunn av stor spredning i fuktigheten, ble lamellene tørket på nytt i forsøksstørka på Moelven Sokna AS. Gjennomsnittlig fuktighet på granlamellene etter tørking var 13,5 %, med et standardavvik på 1,9 %. Tømmeret som er råstoff for granlamellene, er levert etter standard skurtømmersortiment.

2.1.2 Massevirke som råstoff

For å oppnå samme lamelldimensjon på furu som for gran, ble følgende minstekrav satt til fururåstoffet:

Lengde:	minimum 3 m
Toppdiameter:	minimum 18 cm under bark
Rotdiameter:	ingen begrensning

Tømmeret skulle i tillegg være skjærbart i henhold til krok. Det var ikke krav til kviststørrelse, gankvist, toppbrekk, ringsprekk eller årringbredde.

Viken Skogeierforening leverte ca. 27 m³ furu massevirke som ble skåret på Vesetrud Sag i Tyrstrand. Postningen hadde som mål å få ut flest mulig planker med en tverrsnittsdimensjon på 45 mm x 150 mm etter tørking. Kravet til vankant var satt til skåret flate på halve kanten. Trelasten ble tørket på Moelven Sokna AS. Gjennomsnittlig fuktighet etter tørking var 12,2 %, med et standardavvik på 1,9 %.

Nedenfor følger tilpasninger som er gjort ut over kravene i NS-INSTA 142 klasse T0 (inkludert utlegg).

- Lamellene skal "henge sammen"
- Gankvist, uansett størrelse, tas med i prøvematerialet
- Stor ringsprekk anses ikke egnet til massivtreelementer
- Toppbrudd godtas
- Vre godtas
- Deformasjon godtas
- Brent og råte tas med, gitt at den er spikerfast
- Vankant godtas inntil 1/2 kantside/flatside

2.1.3 Registreringer av lamellenes egenskaper

Alle registreringer er utført etter tørking, men før høvling. Følgende registreringer ble utført på alle lamellene:

- Fuktighet registrert med elektrisk motstandsmåler
- Lengde
- Bøyestivhet, målt ved nedbøyning under kjent belastning og spennvidde
- Sorteringsklasse etter NS-INSTA 142 med nedklassingsårsak

2.1.4 Registrering av E-modul på lameller

E-modul er beregnet ved å registrere nedbøyning under kjent belastning. Transduser som måler nedbøyning i mm og lodd er benyttet for registreringene.

Metoden benyttes til registrering av E-modul på limtrelameller for det japanske markedet (JPIC 2000). Det er valgt å bruke lengdegrupper i stedet for aktuell lengde per plank for å forenkle registreringene. Da det var større variasjon i lengdene på furu ble det valgt å ha flere lengdegrupper for furu. E-modul er korrigert for fuktighet, og beregnet ut fra nominelle mål.

Metoden baserer seg på formel 1 og 2 (JPIC 2000). For å regne resultatet om til N/mm², multipliseres resultatet med 0,0981.

Lengden registreres og sluttlasten beregnes.

$$\text{Sluttlast [kg]} = \frac{2F_b \times bh^2}{3L} \quad (1)$$

b= Bredden av lamell [cm]

h= Tykkelsen av lamell [cm]

L= Lengden av spennet [cm]

F_b = Antatt fasthetsklasse i henhold til tabell 7-11 (JPIC 2000). Den antatte klassen var L 90, noe som tilsvarer i underkant av C-18 i NS-EN 338.

$$E - \text{modul [kg / cm}^2\text{]} = \frac{\Delta p L^3}{4bh^3 \Delta y} \quad (2)$$

L = Lengden av spennet [cm]

b = Bredden av lamellen [cm]

h = Tykkelsen av lamellen [cm]

Δp = Sluttlast [kg]

Δy = Nedbøyning [cm]

Tabellene nedenfor viser hvilke lengdegrupper som er brukt og den tilsvarende sluttlast. Forlasten ble brukt for å kalibrere nullpunktet til transduseren.

Tabell 1. Benyttede verdier for registreringer av gran med tverrsnittsdimensjonen 45 mm x 150 mm.

Lengdegruppe [mm]	Forlast [kg]	Belastning [kg]
4 000	5,03	20,13
3 000	5,03	25,13

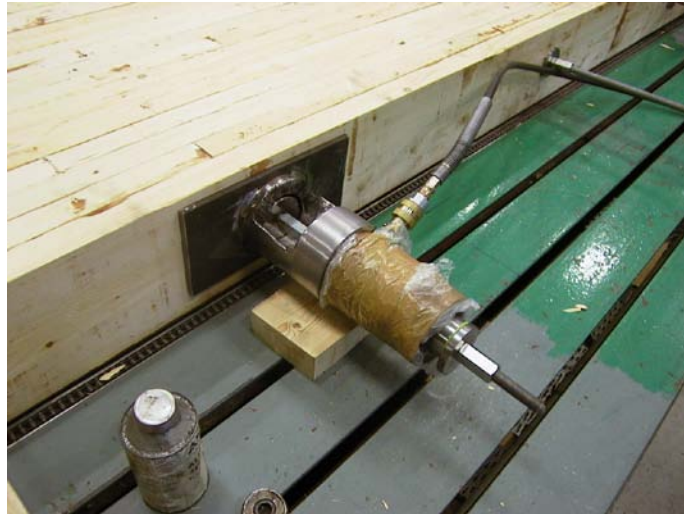
Tabell 2. Benyttede verdier for registreringer av furu med tverrsnittsdimensjonen 45 mm x 150 mm.

Lengdegruppe [mm]	Forlast [kg]	Belastning [kg]
4 000	5,03	18,88
3 500	5,03	21,57
3 000	5,03	25,17
2 500	5,03	30,20

2.2 Metode for testing av massivtreelementer

2.2.1 Elementer

Elementene ble produsert som tverrspente elementer av Alfa Tre AS. Det vil si at lamellene settes på høykant og spennes sammen. Massivtreelementene spennes sammen ved at mutteren på de gjengede stålstagene strammes til. I lengderetning av elementet blir lamellene kun lagt inntil hverandre, dette kalles buttskjøting.



Bilde 1. Hydraulisk jekk for oppspenning av stålstag.

Type element:	tverrspent med buttskjøter
Antall stag per element:	8 stk
Avstand mellom stagene:	750 mm
Oppspenningskraft pr. stag:	6 tonn

Dimensjon elementer:	
Lengde:	6 000 mm
Bredde:	1 200 mm
Høyde:	145 mm (basert på nominelle mål fra lamellene)

Det ble produsert 5 elementer av hvert råstoff. Med utgangspunkt i registrert E-modul ble lamellene delt inn i dårligste og beste 25 % fraktil. Deretter ble det produsert et element av lamellene fra den dårligste 25 % fraktilen merket rød, og ett av lamellene fra den beste 25 % fraktilen merket grønn. Deretter ble det laget 3 elementer kalt blanding fra de lamellene som var igjen.

Utgangspunktet for plassering av buttskjøter var at de ikke skulle ligge ved siden av hverandre og unngå at for mange skjøter ligger på linje.



Bilde 2. Buttskjøter i et massivtreelement

2.2.2 Testing av massivtreelementer.

Massivtreelementene ble testet i prøverigg på Norsk Treteknisk Institutt.

Det er ikke utarbeidet noen egen standard for testing av massivtreelementer. I det følgende presenteres testprosedyre som er benyttet:

- Alle massivtreelementene ble testet ved to forskjellige spennvidder, 4 500 mm og 5 800 mm.
- Massivtreelementene ble belastet med punktlast og linjelast midt i spennet.

Massivtreelementene ble lagt på et tilnærmet fritt opplegg.



Bilde 3. Fritt opplagt massivtreelement.

Nedbøyning ble registrert ved hjelp av tre givere satt opp under massivtreelementet. En giver ble plassert i hver ytterkant og en giver på midten. E-modul for hvert element er basert på middelveien til E-modul ut fra sammenhengen mellom kraft og deformasjon for hver av de tre givene.

2.2.3 Belastninger

Punktlasten og linjelasten er i dette forsøket plassert midt i spennvidden og mellom to oppspenningsstag. Dette gir minst gunstige posisjon. Punktlasten har en diameter på 100 mm. Bredde på linjelasten var 100 mm. Forsøket ble avsluttet når belastningen nådde 45 kN, eller når knaking hørtes fra elementet. Under testing ble nedbøyning og belastning kontinuerlig målt og registrert.

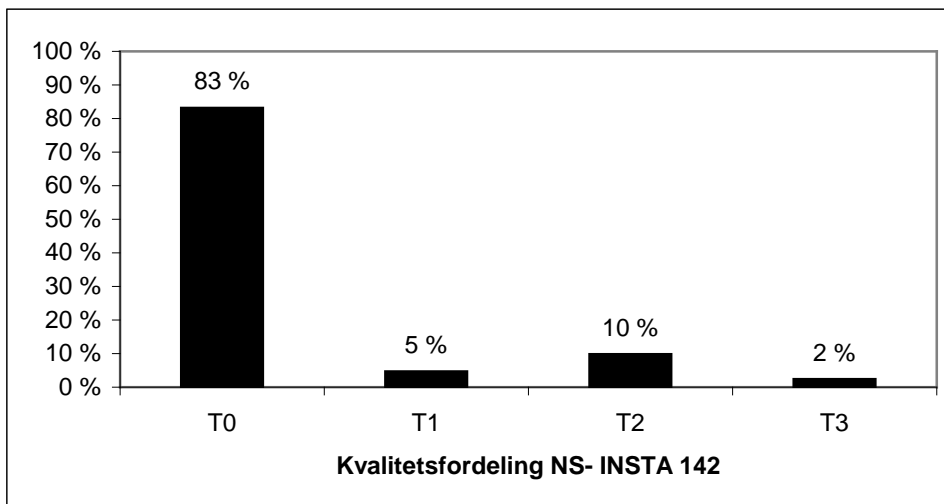
3 Resultater

For hvert massivtreelement gikk det med 1,044 m³ trelast, og totalt ble det brukt 255 granlameller og 280 furulameller.

3.1 Lameller

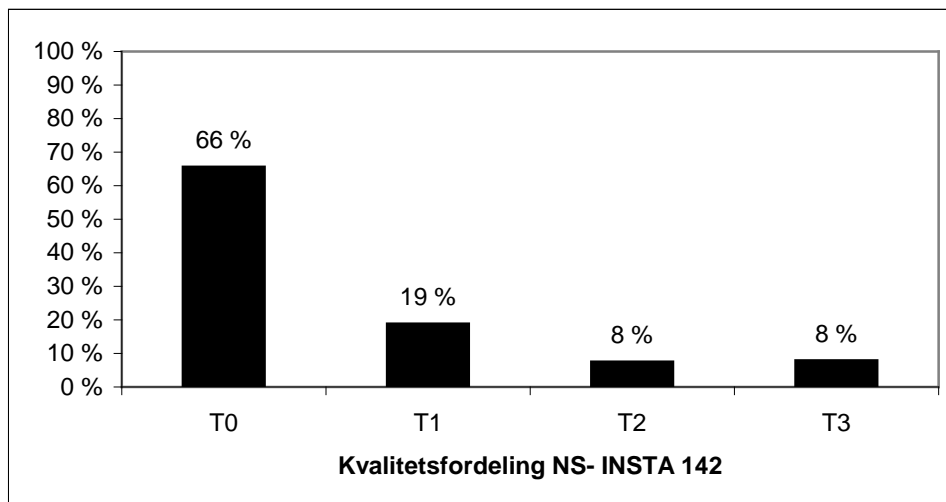
3.1.1 Kvalitetsfordeling

Det var svært høy andel av T0 (inkludert utlegg) i lamellen fra utlegg limtre. Figur 1 viser en andel T0 (inkludert utlegg) på 83,1 %. Råstoffet er sortert ut maskinelt etter NS-EN 519, og kan ikke sammenliknes direkte med NS-INSTA 142 sin vurdering av kvist og fiberhelling.



Figur 1. Kvalitetsfordeling lameller fra utlegg limtre ved sortering etter NS-INSTA 142.

Sorteringen av lameller fra massevirke viser en andel av T0 (inkludert utlegg) på 65 %. Dette er betydelig lavere enn for utlegg limtre, og er et resultat av at materialet ikke har vært gjennom sortering på et tidligere stadium.



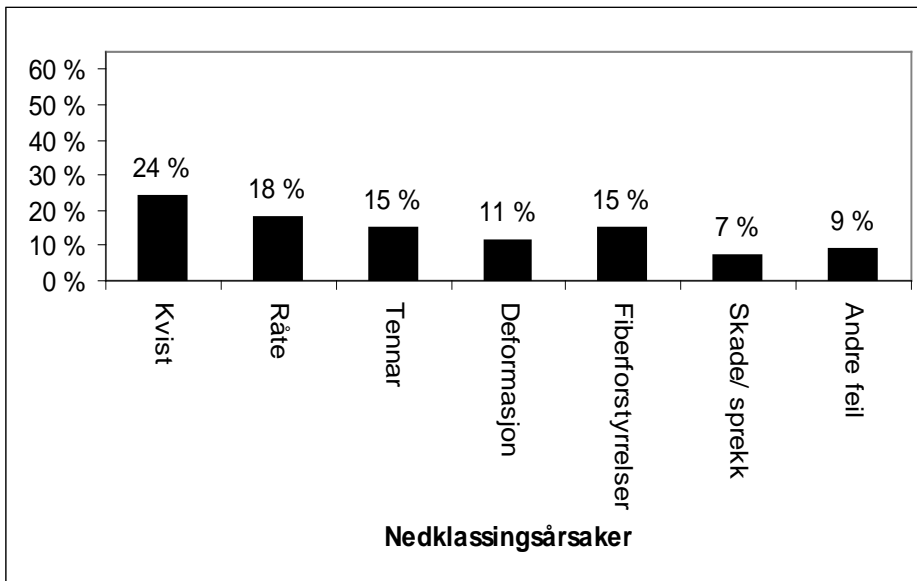
Figur 2. Kvalitetsfordeling lameller fra massevirke ved sortering etter NS-INSTA 142.

Det har lite for seg å sammenligne utfallet av sorteringene mellom lameller fra utlegg limtre og massevirke, fordi utgangspunktet for utvelgelsen er svært forskjellig. Samtidig viser dette at det er et langt større potensial for bedre kvalitet i lamellene ved å ta utgangspunkt i et dårlig tømmeråstoff, enn å ta utgangspunkt i et dårlig trelastråstoff.

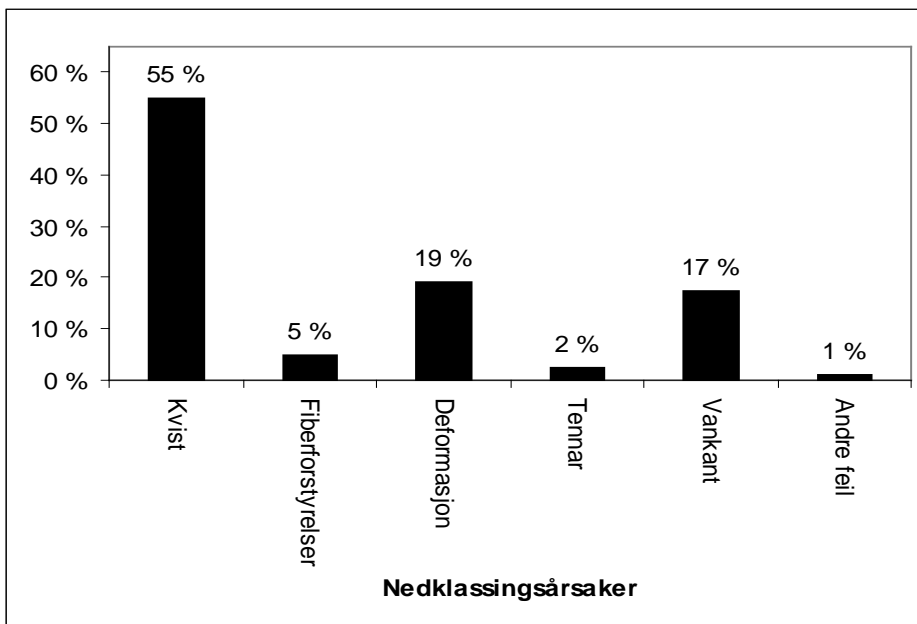
3.1.2 Nedklassingsårsaker

Årsakene til nedklassing for lameller fra utlegg limtre etter NS-INSTA 142 er flere enn for lameller fra massevirke. Kvist er hyppigste nedklassingsårsak, og står for 24 %. En bør ellers merke seg den høye råteandelen (18 %). Sorteringsreglene for brent og råte i sorteringsklasse T0 sier at råte ikke er tillatt, men brent godtas (Norges Standardiseringsforbund 1997a).

De viktigste nedklassingsårsakene etter NS-INSTA 142 for lameller fra massevirke var kvist (55 %), deformasjon (19 %) og vankant (17 %).



Figur 3. Nedklassingsårsaker lameller fra utlegg limtre NS-INSTA 142.

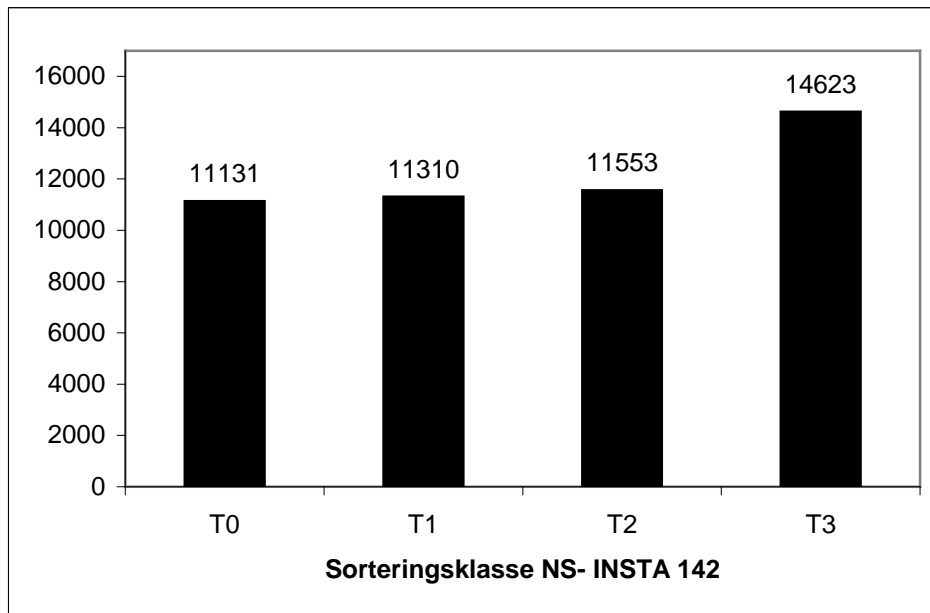


Figur 4. Nedklassingsårsaker lameller fra massevirke NS-INSTA 142.

3.1.3 E-modul lameller

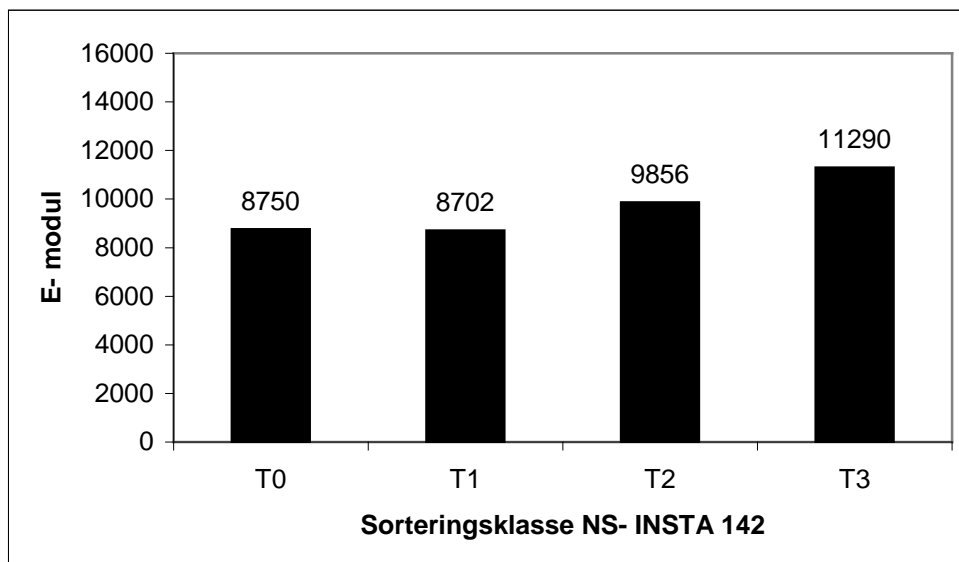
Skurnøyaktigheten vil variere, spesielt etter tørking. Dette vil påvirke enkeltmålinger, men vil ha mindre betydning for lamellenes gjennomsnittlige E-modul når de settes sammen til et massivtreelement.

Det er interessant å se på sammenhengen mellom E-modul og sorteringsklasse etter NS-INSTA 142. Dette gir kun indikasjoner, da det er stor forskjell i antall lameller i hver sorteringsklasse.



Figur 5. Sammenheng E- modul lameller fra utlegg og sorteringsklasse NS-INSTA 142.

Statistisk analyse ved hjelp av Tukey-Kramer test viste at for limtre lamellene var det kun sorteringsklasse T3 som hadde en E-modul som var signifikant forskjellig i forhold til T0, T1 og T2. Det var ikke mulig å finne noen signifikant forskjell i E-modul mellom sorteringsklasse T0, T1 og T2. Resultatet ble ikke forandret ved å eliminere de lamellene som var nedklasset på grunn av ikke styrkereduserende årsaker. Gjennomsnittlig E-modul for alle lamellene fra utlegg limtre var 11 263 N/mm² som er høyere enn kravet til E-modul for fasthetsklasse C14 (7 000 N/mm²) (Norges Standardiseringsforbund 1995a).



Figur 6. Sammenheng mellom E-modul lameller fra massevirke og sorteringsklasse NS-INSTA 142.

For massevirkelamellene viste Tukey-Kramer test at det ikke var signifikant forskjell på E-modulen mellom T2 og T1, samt T1 og T0. T3 har en E-modul som er signifikant forskjellig fra de andre sorteringsklassene, og det er en signifikant forskjell mellom T2 og T0.

Ved å eliminere lamellene som er nedklasset til T0 på grunn av ikke styrkereduserende årsaker, viste resultatet at det var en signifikant forskjell mellom T1, T2 og T3. Det var fortsatt ikke en signifikant forskjell mellom T0 og T1.

Dette viser at den visuelle styrkesorteringen etter NS-INSTA 142 skiller mellom de ulike sorteringsklassene. Gjennomsnittlig E-modul for alle lamellene fra massevirke var $9\,026\text{ N/mm}^2$, som er høyere en kravet til E-modul for fasthetsklasse C14 ($7\,000\text{ N/mm}^2$) (Norges Standardiseringsforbund 1995a).

Lamellene av utlegg limtre hadde i gjennomsnitt en høyere E-modul enn lamellene fra massevirke. Dette kan i hovedsak forklares med at lamellene fra utlegg limtre kommer fra et råstoff som i utgangspunktet har strengere krav til styrkereduserende egenskaper. Skurnøyaktigheten vil variere, spesielt etter tørking. Dette vil påvirke enkeltmålinger siden det blir brukt nominelle mål, men vil ha mindre betydning for lamellenes gjennomsnittlige E-modul når de settes sammen til et massivtreelement.

3.2 Elementer

Resultatene fra punktlast er ikke med i den videre databearbeidingen.

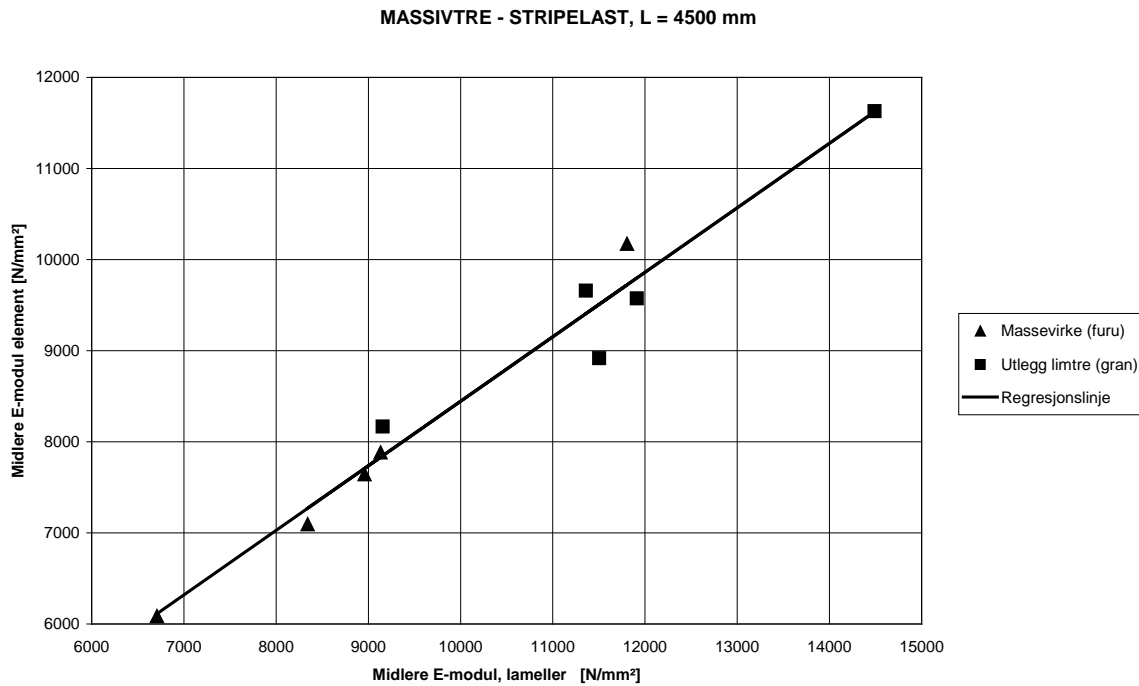
Hovedgrunnen til dette er at der punktlasten kom svært nær, eller rett over buttskjøter ble det registrert svært høy lokal nedbøyning, uavhengig av den totale nedbøyning for massivtreelementet.

Tabell 3. Målt E-modul til massivtreelement med linjelast og spennvidde på henholdsvis 5 800 mm og 4 500 mm. Kolonnen til venstre viser gjennomsnittlig E-modul for lamellene brukt i de respektive element.

Element	E-modul [N/mm ²]		E-modul [N/mm ²] lamell
	Spennvidde 5 800 mm	Spennvidde 4 500 mm	
nr.1 (Massevirke)	7 282	6 087	6 705
nr.2 (Massevirke)	10 252	10 173	11 805
nr.3 (Massevirke)	7 900	7 643	8 959
nr.4 (Massevirke)	8 105	8 090	9 131
nr.5 (Massevirke)	7 367	7 095	8 341
nr.1 (Utlegg limtre)	8 868	8 167	9 156
nr.2 (Utlegg limtre)	11 763	11 630	14 489
nr.3 (Utlegg limtre)	9 495	9 658	11 359
nr.4 (Utlegg limtre)	9 187	8 918	11 503
nr.5 (Utlegg limtre)	9 410	9 545	11 911

Element nr. 1, består av de dårligste 25 % fraktilene i E-modul til lamellene. Element nr. 2 består av de beste 25 % fraktilene i E-modul til lamellene. Element nr. 3, 4 og 5 består av en blanding i E-modul av de gjenværende lamellene. Dette gjelder både massivtreelementene produsert av lameller fra utlegg limtre og massevirke.

Figur 7 og 8 nedenfor viser den grafiske sammenhengen mellom midlere E-modul for lamellene og midlere E-modul for massivtreelementene utarbeidet fra resultatene i tabell 3.



Figur 7. Linjelast og 4 500 mm spennvidde. Symbolet ▲ = massivtreelementer av massevirke, mens symbolet ■ = massivtreelementene av utlegg limtre.

Nederste ■ viser massivtreelementet som ble produsert av lameller fra dårligste 25 % fraktil av utlegg limtre. Firkant øverste til høyre i diagrammet viser massivtreelementet som ble produsert av lameller fra beste 25 % fraktil av utlegg limtre. De tre ■ i midten er massivtreelementer produsert av lameller som var mellom dårligste og beste 25 % fraktil. Tilsvarende for massivtreelementene produsert av lameller fra massevirke.

Den lineære regresjonslinja som vist i figur 7 er som følger (3):

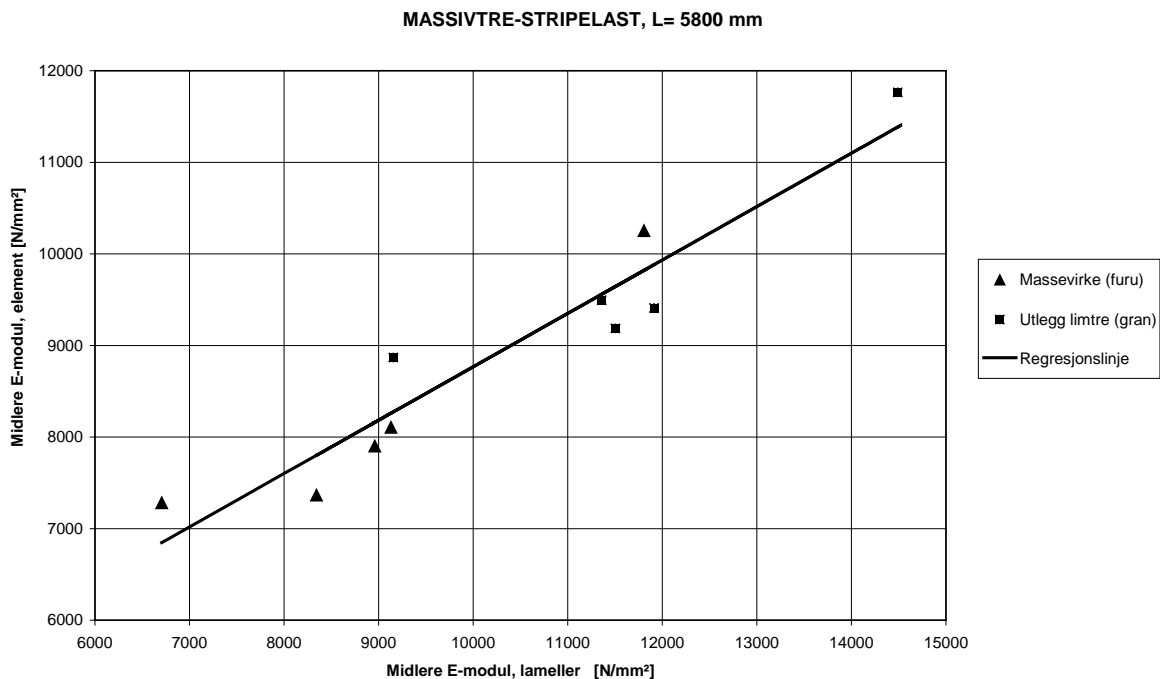
x = midlere E-modul lamell

$f(x)$ = midlere E-modul massivtreelement

$$f(x) = 0,7079 x + 1364,83 \quad (3)$$

$$R^2 = 0,966$$

En R^2 -verdi på 0,966 viser at det er svært god sammenheng mellom midlere E-modul lamell og midlere E-modul massivtreelement. Dette betyr i praksis at 96,6 % variasjonen i E-modul for element, kan forklares ut ifra variasjonen i E-modul for lamell.



Figur 8. Linjelast og 5 800 mm spennvidde. Symbolet ▲ = massivtreelementer av massevirke, mens symbolet ■ = massivtreelementene av utlegg limtre.

Nederste ■ viser massivtreelementet som ble produsert av lameller fra dårligste 25 % fraktil av utlegg limtre. Firkant øverste til høyre i diagrammet viser massivtreelementet som ble produsert av lameller fra beste 25 % fraktil av utlegg limtre. De tre ■ i midten er massivtreelementer produsert av lameller som var mellom dårligste og beste 25 % fraktil. Tilsvarende for massivtreelementene produsert av lameller fra massevirke.

Den lineære regresjonslinja som vist i figur 8 er som følger (4):

x = midlere E-modul lamell

$f(x)$ = midlere E-modul massivtreelement

$$f(x) = 0,5829x + 2936,81 \quad (4)$$

$$R^2 = 0,908$$

En R^2 -verdi på 0,908 viser at det er svært god sammenheng mellom midlere E-modul lamell og midlere E-modul massivtreelement. Dette betyr i praksis at 90,8 % variasjonen i E-modul for element, kan forklares ut ifra variasjonen i E-modul for lamell.

Resultatene viser også at E-modulen til massivtreelementene av utlegg limtre lameller er noe høyere enn E-modulen til massivtreelementene av massevirke lameller. Årsaken til forskjellen i E-modulen kan skyldes flere årsaker:

- Gjennomsnittlig E-modul for lamellene fra utlegg limtre var høyere sammenlignet med lamellene fra massevirke

- Lamellene fra utlegg limtreproduksjon, har strengere krav til tømmer Sortiment enn lamellene som er hentet fra massevirke tømmer.
- Lamellene fra massevirke var generelt kortere, dermed ble det også flere buttskjøter i hvert element, og E-modulen for element ventes å synke.
- Flere skjøter gjør også at sannsynligheten for en dårlig skjøt øker, og sannsynligheten for lavere E-modul øker.

Resultatene i tabell 3 viser også at E-modul var litt høyere for noen av massivtreelementene testet ved spennvidde på 5 800 mm i forhold til spennvidden på 4 500 mm. Dette kan blant annet skyldes at innvirkning av skjærdeformasjon har mindre betydning for den lengste spennvidden.

4 Konklusjon

Resultatene viser at det er forskjell i E-modul til lameller fra utlegg limtreproduksjon (gran) og lameller fra massevirke (furu). Gjennomsnittlig E-modul for alle lamellene fra utlegg limtre var 11 263 N/mm², som er høyere enn det som er krav for fasthetsklasse C14 bartrær (7 000 N/mm²) (Norges Standardiseringsforbund 1995a). For lamellene fra massevirke var gjennomsnittlig E-modul 9 026 N/mm². Årsaken til forskjellen kan forklares ut fra at utlegg fra limtreproduksjon har strengere krav til tømmer Sortiment enn lamellene som er hentet fra massevirke. Resultatene viser samtidig at det er forskjell i E-modul for massivtreelementer laget av utlegg limtre og massevirke. En høyere E-modul for utlegg limtre førte til høyere E-modul for massivtreelementene enn tilsvarende for massevirke. I tillegg var lamellene fra massevirke generelt kortere, som gir flere buttskjøter og medfører at E-modulen til massivtreelement blir noe lavere.

Det eneste elementet som hadde lameller som ikke holdt kravet til E-modul for C14 var det elementet som ble produsert av den dårligste 25 % fraktilen i E-modul for furu (6 705 N/mm²). Ved tilfeldig utvalg av utsortert virke for produksjon av massivtreelement, er det svært lite sannsynlig å få en gjennomsnittlig E-modul til lamellene som er dårligere enn kravet for fasthetsklasse C14 (Norges Standardiseringsforbund 1995a).

Forklaringsgraden (R^2) mellom stivhet lameller og stivhet massivtreelementer på henholdsvis 90,8 % og 96,6 % for spennvidder på 5 800 mm og 4 500 mm, viser at gjennomsnittlig E-modul til råstoffet har en meget stor sammenheng med E-modulen vi vil få i de ferdige massivtreelementene. Når lamellene settes sammen til et massivtreelement, viser resultatene at det vil bli en reduksjon i E-modul for massivtreelementet i forhold til midlere E-modul for lameller. Dette skyldes i hovedsak at det er benyttet åpne buttskjøter i massivtreelementene, og uheldig og usystematisk plassering av buttskjøtene. Ved annen oppbygging av massivtreelementet, for eksempel fingerskjøtte lameller, vil tapet i E-modul når lamellene settes sammen til et massivtreelement bli redusert.

Forsøket viser at T0 (inkludert utlegg) fra vårt testområde (Hønefoss og Solør) generelt har en E-modul som tilsvarende fasthetsklasse C14 eller bedre.

For tverrspente massivtreelementer er det den gjennomsnittlige E-modulen til lamellene som har betydning, mens enkeltlamellers virkesfeil har begrenset påvirkning. En av grunnene til at en kan bruke et råstoff med i utgangspunktet svært varierende E-modul er at siden elementene er massive vil en stor styrkereduserende virkesegenskap i en lamell bli oppveid av nabolameller med sannsynlig svært liten reduksjon i E-modul for det sammensatte elementet.

Resultatene fra forsøket viser at gjennomsnittlig E-modul for lameller fra utlegg limtreproduksjon (gran) og massevirke (furu) satt sammen til massivtreelement, brukt som etasjeskiller i bolighus, vil kunne oppnå en teoretisk spennvidde kun basert på stivhet på henholdsvis 4 750 mm og 5 000 mm. Det forutsettes at kravene til tradisjonell bjelkelagskonstruksjon i NS 3470 er overholdt (Norges Standardiseringsforbund 1999e). Krav til lyd, trinnlyd og vibrasjoner vil også

påvirke spennvidden.

Forsøket viser at råstoff som i dag ikke brukes til konstruksjoner grunnet lave fasthetsegenskaper (T0, inklusiv utlegg), er godt egnet til produksjon av massivtreelementer.

Råte er det største hinderet for bruk av lave kvaliteter. Selv om fasthetsegenskapene ikke er redusert, har fast råte negativ psykologisk innvirkning på eventuelle kjøpere av trelast. Dette til tross for at råten ikke er synlig og ikke kan spre seg i tørt trevirke. Sannsynligvis egner massevirke og utlegg fra limtreproduksjon fra furu seg best. Dette fordi råteproblem er svært sjelden for treslaget.

Referanser

JPIC. 2000. OE-4. Manufacturing standard for structural glued laminated timber.

Norges Standardiseringsforbund. 1995c. NS-EN 519. Konstruksjonstrevirke krav til maskinelt styrkesortert trevirke og sorteringsmaskiner.

Norges Standardiseringsforbund. 1997a. NS-INSTA 142. Nordiske regler for visuell styrkesortering av trelast.

Norges Standardiseringsforbund. 1995a. NS-EN 338. Konstruksjonstrevirke. Styrkeklasser.

Norges Standardiseringsforbund. 1999e. NS 3470-1. Prosjektering av trekonstruksjoner. Beregnings- og konstruksjonsregler. Del 1: Allmenne regler.

Norsk Treteknisk Institutt. 2000. Fokus på tre Nr. 20. Bygningselementer av massivtre.