

## Prøving av trevirke ved -170 °C

### Resultater fra bøye-, trykk- og skjærttest

*Testing of timber at -170 °C*

*Results from bending-, shear- and compression tests*

*Saksbehandler:* Kjell Helge Solli, Treteknisk  
*Finansiering:* Fondet for Treteknisk Forskning  
*Dato:* Januar 2006

### Sammendrag

Norsk Treteknisk Institutt har gjennomført mekaniske tester på trevirke nedfrosset til -170 °C med hensyn til bøyefasthet/E-modul og trykkfasthet/E-modul vinkelrett fiberretningen. Videre er det gjort forsøk med limfuger med hensyn til skjærfasthet og fingerskjøtt virke med hensyn til bøyefasthet/E-modul. Samtlige forsøk med nedfrosset virke ble utført parvis med mest mulig identiske prøvestykker, som hadde en temperatur på +20 °C.

Hensikten med dette prosjektet var å undersøke om det kunne påvises hvorvidt den lave temperaturen medførte egenskaper som avviker sterkt fra hva som er kjent ved "vanlig" brukstemperatur.

Resultatene kan oppsummeres som følger:

- Midlere bøyefasthet for kalde prøvestykker tilsvarer 115 % av tilsvarende prøvestykker med normaltemperatur.
- Midlere E-modul (bøy) for kalde prøvestykker tilsvarer 125 % av tilsvarende prøvestykker med normaltemperatur.
- Midlere trykkfasthet (vinkelrett fiberretningen) for kalde prøvestykker tilsvarer 170 % av tilsvarende prøvestykker med normaltemperatur.
- Midlere E-modul (vinkelrett fiberretningen) for kalde prøvestykker tilsvarer 220 % av tilsvarende prøvestykker med normaltemperatur.
- Limte prøver viste like fasthetsegenskaper ved lav temperatur som ved normal temperatur.

Antall enkeltprøver som ble testet er begrenset, og resultatene må derfor kun ses på som indikasjoner. Resultatene som er angitt i denne rapporten må ikke brukes ved beregninger (karakteristiske verdier). Alle prøvestykker er testet ved korttidsbelastning. Hvilke eventuelle effekter som kan oppstå under lengre tidsbelastning, evt. varierende belastning og/eller temperatur, kan ikke forutsies på bakgrunn av disse testene.

**Stikkord:** Nedfrosset trevirke, bøye-, skjær- og trykkfasthet, E-modul  
**Keywords:** Frozen timber, bending-, shear- and compression strength, MOE

## Summary

Norsk Treteknisk Institutt (NTI) has performed several mechanical tests on frozen timber (-170 °C). The tested properties were  $f_m$ ,  $MOE_m$ ,  $f_{c90}$  and  $MOE_{c90}$ . Some pieces of finger jointed timber were also tested regarding  $f_m$  and  $MOE_m$ .

All frozen pieces were tested in pairs with corresponding "warm" pieces (+20 °C). Both cold and warm pieces were at the outset conditioned at the standard environment of +20 °C and 65 % RH.

The purpose of the test was to investigate whether frozen timber involves material properties that diverge from the known "warm" properties.

The tests gave the following results:

- $f_{m,mean,-170}$  corresponds to approximately 115 % of  $f_{m,mean,+20}$
- $MOE_{m,mean,-170}$  corresponds to approximately 125 % of  $MOE_{m,mean,+20}$
- $f_{c,90,mean,-170}$  corresponds to approximately 170 % of  $f_{c,90,mean,+20}$
- $MOE_{c,90,mean,-170}$  corresponds to approximately 220 % of  $MOE_{c,90,mean,+20}$
- The results did not indicate any change of properties regarding glued parts.

The results from this project must be regarded as indications. The numbers of specimens in the different samples were small. The results do not tell any thing about long-term effects or effects from higher moisture content.



*Figur 1. Picking up cold pieces – a cold experience.*

## Innhold

Sammendrag.....	3
Summary .....	4
1. Bakgrunn.....	6
2. Nedkjøling av prøvestykker.....	7
3. Bøyeprøving .....	9
3.1 Prøvestykker .....	9
3.2 Resultater.....	9
3.3 Kommentarer.....	10
4. Trykkprøving, vinkelrett fiberretningen.....	11
4.1 Prøvestykker .....	11
4.2 Testmetode.....	12
4.3 Resultater.....	13
4.4 Kommentarer.....	14
5. Testing av limforbindelser etter nedkjøling til -170 °C.....	16
5.1 Innledning.....	16
5.2 Skjærfasthet.....	16
5.3 Bøyefasthet og E-modul i fingerskjøter .....	17
5.4 Konklusjon .....	18
Vedlegg 1.....	19
Vedlegg 2.....	22

## 1. Bakgrunn

I forbindelse med et oppdrag hadde Norsk Treteknisk Institutt tilgang til en kjøletank beregnet for å kjøle ned prøvestykker til ekstremt lave temperaturer (kryogen prøving). Kjøletanken var leid av SINTEF Bygg og miljø. Det ble benyttet flytende nitrogen for å oppnå ønsket temperaturnivå.

Treteknisk fikk anledning til å gjennomføre enkelte tester i egen regi mens kjøletanken sto i laboratoriet. Målet med disse testene var å avdekke hvorvidt trevirke fikk endrete egenskaper ved temperaturer ned mot  $-170\text{ °C}$ .

På grunn av kjøletankens størrelse ble testene gjort på relativt små prøvestykker.

Prosjektet er finansiert av Fondet for Treteknisk Forskning.

## 2. Nedkjøling av prøvestykker

Kjøletanken (se Figur 2) hadde et kammer med volum ca. 0,6 m x 0,6 m x 0,6 m hvor prøvestykkene ble anbrakt. I kammeret var det montert en temperaturføler som kontinuerlig registrerte kammerets lufttemperatur. I tillegg var det plassert et stykke trevirke (125 mm x 200 mm x 200 mm) med en sentrisk plassert og forseglet temperaturføler for kontinuerlig registrering. På denne måten kunne både luft- og tretemperaturen avleses til en hver tid.



*Figur 2. Kjøletanken i drift.*

Temperaturen i kammeret ble påvirket ved å slippe kontrollerte mengder med flytende nitrogen inn i kammeret. Når tretemperaturen var sunket til ønsket nivå, ble prøvestykkene liggende ca. 1-2 timer for at man skulle være sikre på at temperaturen i trevirket hadde stabilisert seg. Nedkjøling av nevnte trestykke til -170 °C tok ca. 6 timer.



*Figur 3. Kjøletank tilknyttet beholder for flytende nitrogen.*

Ved testing ble ett og ett prøvestykke tatt ut av kjølekammeret. Testen ble deretter påbegynt straks. Laboratoriet ved Treteknisk har en konstant temperatur på +20 °C, og det forutsettes at temperaturen i prøvestykkene derfor hadde en viss temperaturstigning gjennom hele testforløpet (3-5 minutter). Trevirkets varmeledningsevne er imidlertid så lav, at det antas at all testing var avsluttet før tretemperaturer var steget særlig over -150 °C. Der det var mulig, ble det benyttet isolerende lag mellom prøvestykket og prøvemaskinen.

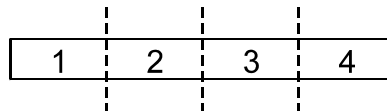
### 3. Bøyeprøving

#### 3.1 Prøvestykker

Det ble benyttet prøvestykker med tverrsnitt  $b \times h$  lik 53 mm x 21 mm og total spennvidde lik 450 mm (3 x 150 mm). Prøvestykkene var av gran (*Picea abies*) og ble testet på lavkant. Trefuktigheten tilsvarte likevektsfuktighet ved +20 °C og 65 % RF (tilsvarende ca. 12 % trefuktighet).

Det ble benyttet 2 punktlaster med angrepspunkt i spennets 3.-delspunkter. Deformasjonen ble målt over hele midtfeltets lengde (150 mm), dvs. mellom punktlastene. Deformasjonen ble registrert over et lastintervall tilsvarende 1/3 av bruddlasten.

Det ble tatt ut prøvestykker fra 3 forskjellige planker benevnt som A, B og C. Uttaket ble gjort som vist på Figur 4. Prøvestykkene A1, A3, B1, B3, C1 og C3 ble testet kalde. Prøvestykkene A2, A4, B2, B4, C2 og C4 ble testet ved normaltemperatur (+20 °C).



Figur 4. Prinsippkisse av prøveuttaket fra hver av de 3 plankene.

#### 3.2 Resultater

Tabell 1. Bøyefasthet for prøvestykker med normal og lav temperatur.

Bøyefasthet	NORMAL	KALDE
Middelverdi (N/mm <sup>2</sup> )	84,7	97,0
Stdv. (N/mm <sup>2</sup> )	16,1	30,0
V (%)	19,0	30,8

Tabell 2. E-modul for prøvestykker med normal og lav temperatur.

E-modul	NORMAL	KALDE
Middelverdi (N/mm <sup>2</sup> )	14000	17400
Stdv. (N/mm <sup>2</sup> )	2900	2250
V (%)	19,5	12,9

### 3.3 Kommentarer

Midlere bøyefasthet lå ca. 115 % høyere for kalde prøvestykker enn for prøvestykker med normaltemperatur.

Midlere E-modul lå ca. 125 % høyere for kalde prøvestykker enn for prøvestykker med normaltemperatur.

Det var ingen tegn til at det kalde trevirket oppførte seg "sprøtt". Forholdstallet mellom kraft og deformasjon økte i forhold til tilsvarende for varme prøver, men holdt seg konstant (dvs. elastisk) innenfor det aktuelle lastintervallet.

Variasjonskoeffisienten for både bøyefasthet og E-modul er forskjellig i de to seriene. Dette må forventes i serier med små tverrsnitt og/eller få enkeltprøver. I små tverrsnitt kan man oppleve tilnærmet feilfritt virke (høye verdier). Men man kan også oppleve enkeltstående virkesfeil som dominerer den aktuelle bruddverdien totalt. Med få prøvestykker vil en slik variasjon ikke bli utjevnet.

Prøvestykker var testet ved korttidsbelastning. Hvilke eventuelle effekter som kan oppstå under lengre tids belastning, evt. varierende belastning og/eller temperatur, kan ikke forutsies på bakgrunn av denne testen.

Prøvestykkene var testet med små tverrsnitt. Hvilke eventuelle effekter virkesfeil i større dimensjoner kan medføre, kan ikke forutsies på bakgrunn av denne testen. Oppgitte forholdstall mellom verdier testet ved normal og kald temperatur må derfor ikke anvendes på store tverrsnitt.

Prøvestykkene var testet ved en trefuktighet på ca. 12 %. Hvilke eventuelle effekter som kan oppstå dersom trefuktigheten var høyere, f. eks. 20-25 % kan ikke forutsies på bakgrunn av denne testen. Det antas imidlertid at et høyere fuktinnhold vil kunne medføre et sprøere materiale på grunn av høyere innhold av vann med isstruktur.

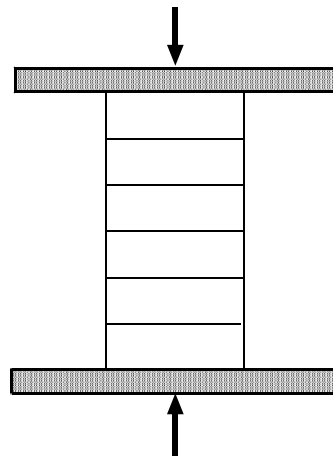


## 4. Trykkprøving, vinkelrett fiberretningen

### 4.1 Prøvestykker

Det ble benyttet prøvestykker av limtre. Prøvestykkene hadde 6 lameller med tykkelse 30 mm, limt sammen av følgende limtyper:

- PRF: Dynosol S-199+H-629  
Limmengde: 400 g/m<sup>2</sup>  
Presstrykk: 0,6 N/mm<sup>2</sup>
- Epoxy: Wevo EP20/VP1+B20/1  
Limmengde: 350 g/m<sup>2</sup>  
Presstrykk: 0,8 N/mm<sup>2</sup>



Figur 5. Prinsippskisse av prøvestykke og testmetode.

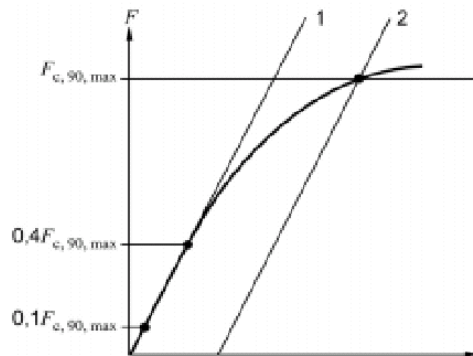
Prøvestykkene hadde en grunnflate (belastningsflate) 125 mm x 200 mm og høyde 180 mm (se Figur 5). Trefuktigheten var 13-14 %.



Figur 6. Eksempel på prøvestykke etter brudd.

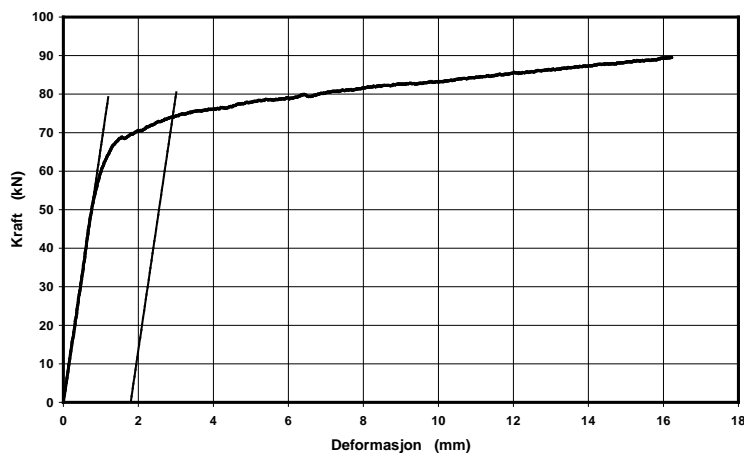
## 4.2 Testmetode

Det ble benyttet testmetode som beskrevet i NS-EN 408 pkt. 18 og 19.



Figur 7. Definisjon av brudd,  $F_{c,90,max}$   
(kopi av Fig. 8 i NS-EN 408).

Ved trykkbelastning vinkelrett fiberretningen, er definisjonen av brudd relatert til deformasjon og prøvestykkets elastisitet. Figur 7 viser et eksempel på hvordan deformasjonen øker jevnt etter at det elastiske området er overskredet.



Figur 8. Kraft/deformasjonsdiagram fra prøvestykke  
testet ved Treteknisk.

Lasten ble påført med konstant hastighet.

### 4.3 Resultater

Laboratorietesting av trykk vinkelrett fiberretningen skjedde innenfor et eksternt prosjekt. Med tillatelse fra oppdragsgiver kan følgende resultater refereres:

*Tabell 3. Prøvestykker opplimt med PRF.  
Trykk, vinkelrett fiberretningen.*

	NORMAL	KALD
PRF	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
$f_{c,90}$ -middel	3,9	6,5
$E_{90}$ -middel	575	1260

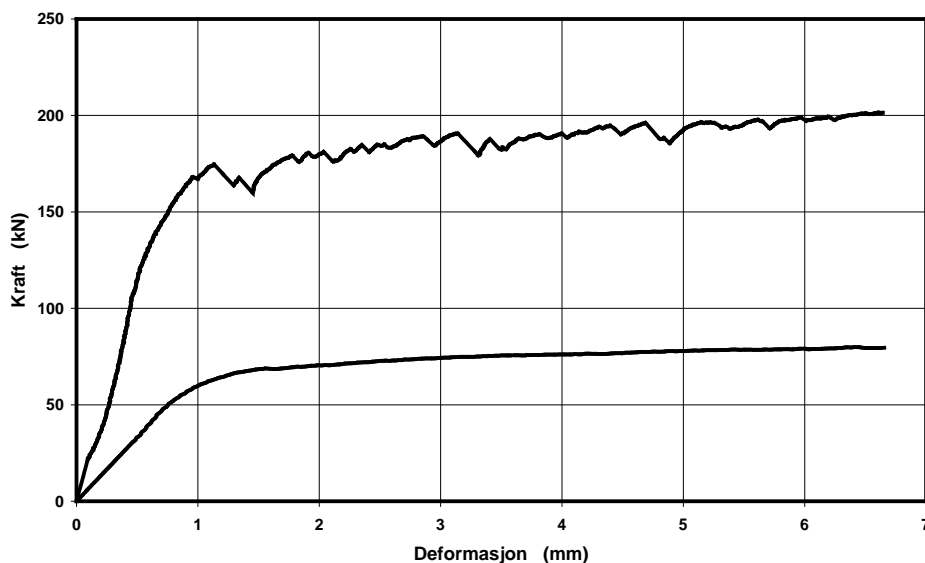
*Tabell 4. Prøvestykker opplimt med epoxy.  
Trykk, vinkelrett fiberretningen.*

	NORMAL	KALD
Epoxy	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
$f_{c,90}$ -middel	1)	5,9
$E_{90}$ -middel	1)	1030

1) Prøver limt med epoxy ble ikke testet ved normaltemperatur.

Forskjellen mellom verdier på PRF-limte og epoxylimte prøvestykker antas å skyldes det lave antallet enkeltprøver i hver serie (ca. 5 prøver av hver type).

Resultatene indikerer en klar økning av både trykkfasthet ( $f_{c,90}$ ) og E-modul ( $E_{90}$ ). Figur 8 viser en sammenligning av kraft-/deformasjonskurven for prøvestykker med normal og lav temperatur.



Figur 9. Kraft-/deformasjonskurve for prøvestykker med lav temperatur (høyeste verdi mht. kraft) sammenlignet med tilsvarende kurve for prøvestykker med normaltemperatur (laveste verdi mht. kraft).

#### 4.4 Kommentarer

Midlere trykkfasthet ( $f_{c,90}$ -middel) for kalde prøvestykker hadde en verdi som lå på ca. 170 % av tilsvarende for prøvestykker med normaltemperatur.

Midlere E-modul ( $E_{90}$ -middel) for kalde prøvestykker hadde en verdi som lå på ca. 220 % av tilsvarende for prøvestykker med normaltemperatur.

I området av kraft-/deformasjonsforløpet, før brudd ble definert, var det ingen spesielle observasjoner ved nedfrosset virke sammenlignet med normaltemperert virke. Det var ingen tegn til oppsprekking eller delaminering i limfugene.

I den fasen av kraft-/deformasjonsforløpet hvor deformasjonen økte uten at prøvestykket tok mer kraft (ikke-elastisk område, dvs. etter at prøvestykket per definisjon har nådd bruddtilstanden) knaket og smalt de kalde prøvestykkene langt mer enn tilsvarende varme. Dette fenomenet kan også leses ut av kurvene i Figur 8. Den nederste (normaltemperatur) kurven viser at prøvestykket går gjennom en tilnærmet plastisk deformasjonsprosess. Den øverste (kalde) kurven viser hvordan prøvestykket har en "sprø" (lite duktil) oppførsel.

Alle prøvestykker ble testet ved korttidsbelastning. Hvilke eventuelle effekter som kan oppstå under lengre tids belastning, evt. varierende belastning og/eller temperatur, kan ikke forutsies på bakgrunn av denne testen.

Prøvestykkene var testet ved en trefuktighet som lå i området 13-14 %. Hvilke eventuelle effekter som kan oppstå dersom trefuktigheten er høyere, f. eks.

20-25 %, kan ikke forutsies på bakgrunn av denne testen. Det antas imidlertid at et høyere fuktinnhold vil kunne medføre et sprøere material på grunn av høyere innhold av vann med isstruktur.

Den "sagtannformete" kraft-/deformasjonskurven, kfr. Figur 8, vil muligens fremkomme ved et lavere spenningsnivå. Dette antas i tillegg å være avhengig av lastvarigheten.

## 5. Testing av limforbindelser etter nedkjøling til $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$

### 5.1 Innledning

Prøver limt opp med ulike limtyper ble kjølt ned til  $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$  ved hjelp av flytende nitrogen. Limfugenes skjærfasthet samt små fingerskjøters bøyestyrke og E-modul ble fastlagt på bakgrunn av standard prøvemetoder. Parallellprøver kondisjonert ved romtemperatur ble samtidig testet for å visualisere effekten av den ekstremt lave temperaturen.

Enkeltprøvene har fått en temperaturøkning i løpet av den tiden det tok å gjennomføre testen, men vi antar likevel at den har vært ekstremt lav i bruddøyeblikket.

### 5.2 Skjærfasthet

Testblokker av gran ble tillaget med fem forskjellige lim, nemlig MUF, Epoxy (to typer) og PRF (to typer). Hver blokk bestod av to lameller, og det ble testet fem paralleller fra hver, unntatt for MUF der antallet var sju.

Ferdig tillagede skjærprøver ble frosset ned til angitt temperatur før de ble testet. En og en prøve ble hentet fra kjølekammeret og plassert i skjærhodet så raskt som mulig for å begrense oppvarmingen. Nedenfor er det vist et sammendrag av resultatene, og i Vedlegg 1 finnes samtlige enkeltverdier. Tabell 5 angir middelverdier.

Tabell 5. Skjærfasthet i limfuger.

	MUF	MUF	Epoxy (1)	Epoxy (1)	Epoxy (2)	Epoxy (2)	PRF (1)	PRF (1)	PRF (2)	PRF (2)
Temp.	+20 °C	-170 °C	+20 °C	-170 °C	+20 °C	-170 °C	+20 °C	-170 °C	+20 C	-170 °C
<b>f<sub>v</sub>-midd.</b>	8,3	6,6	7,7	10,1	10,6	12,6	9,8	9,8	9,3	9,2
<b>Std.</b>	1,4	1,9	1,6	2,0	2,5	1,3	3,0	2,9	1,3	1,8
<b>V</b>	16,9	28,8	20,8	19,8	23,6	10,3	30,6	29,6	14,0	19,6
<b>f<sub>v</sub>-min.</b>	6,7	3,7	6,0	7,3	6,6	10,9	6,9	7,0	7,0	6,9
Trebrudd	100	100	95	70	100	90	80	95	85	85

f<sub>v</sub>-midd. Midlere skjærfasthet (N/mm<sup>2</sup>)

Std. Standard avvik (N/mm<sup>2</sup>)

V Variasjonskoeffisient (%)

f<sub>v</sub>-min. Minste registrerte skjærfasthet (N/mm<sup>2</sup>)

Trebrudd: %-andel trebrudd

Resultatene tyder på at limfugene ikke svekkes ved den lave temperaturen. Det er høye verdier for % trebrudd, og der hvor vi ser forskjeller kan dette stort sett forklares med variasjoner i trekvaliteten. Dette vises tydelig i serien limt med MUF, hvor begge serier gir 100 % trebrudd.

### 5.3 Bøyefasthet og E-modul i fingerskjøter

Små fingerskjøter med tykkelse 33 mm og bredde 50 mm ble tillaget av C30 last og skjøtt sammen med et MUF-lim. Etter nedkjøling ble en og en prøve testet mht. bøyefasthet og global E-modul.

10 skjøter med temperatur 20 °C og 10 skjøter med temperatur -170 °C ble testet som angitt. I begge serier ble 2 skjøter utelatt på grunn av kvist i fingerstrukturen. Tabellen nedenfor gir en oversikt over resultatene, og i Vedlegg 2 finnes samtlige enkeltverdier.

Tabell 6. Bøyefasthet, fingerskjøtt virke.

	MUF	MUF
Temp.	+20 °C	-170 °C
<b>f<sub>m</sub>-midd.</b>	66,3	76,2
<b>Std.</b>	8,5	8,6
<b>V</b>	12,8	11,3
<b>f<sub>m</sub>-min.</b>	56,7	61,8

**f<sub>m</sub>-midd.** Midlere bøyefasthet (N/mm<sup>2</sup>)

**Std.** Standard avvik (N/mm<sup>2</sup>)

**V** Variasjonskoeffisient (%)

**f<sub>m</sub>-min.** Minste registrerte bøyefasthet (N/mm<sup>2</sup>)

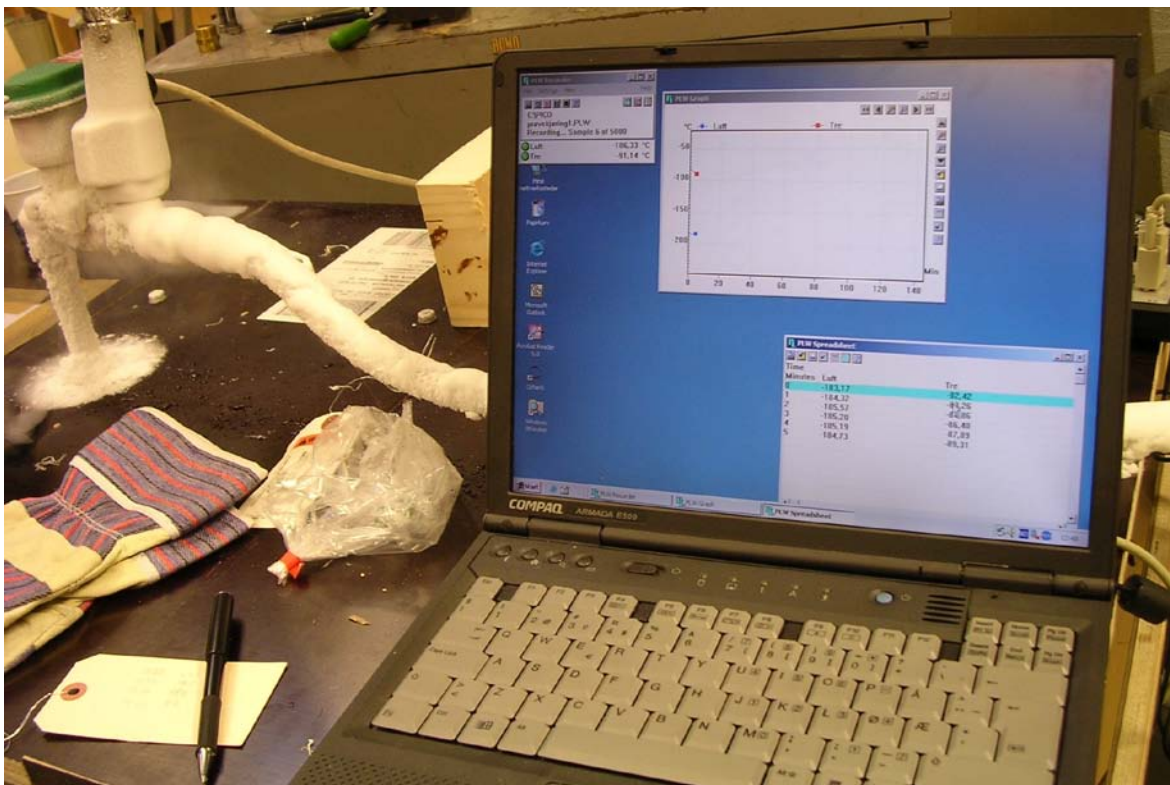
Tabell 7. E-modul, fingerskjøtt virke.

	MUF	MUF
Temp.	+20 °C	-170 °C
$f_{m-midd.}$	66,3	76,2
Std.	8,5	8,6
V	12,8	11,3
$f_{m-min.}$	56,7	61,8

**E-midd.** Midlere E-modul (N/mm<sup>2</sup>)  
**Std.** Standard avvik (N/mm<sup>2</sup>)  
**V** Variasjonskoeffisient (%)  
**E-min.** Minste registrerte E-modul (N/mm<sup>2</sup>)

## 5.4 Konklusjon

Dette begrensede forsøket tyder på at limte forbindelser ikke mister sin styrke når temperaturen i prøvene blir ekstremt lave. Ved limingen er det benyttet kommersielle lim av type MUF, PRF og Epoxy, og det er testet med hensyn på skjærfasthet og fingerskjøters bøyefasthet og E-modul.



Figur 10. Styringsenheten for kuldetanken.



## Vedlegg 1

### Bestemmelse av skjærfasthet - kalde prøver.

#### MUF - kald

Fuge nr.	Lengde (mm)	Bredde (mm)	Skjærkraft N	Skjærfasthet (N/mm <sup>2</sup> )	Trebrudd %
1	25,2	25,1	5431	8,6	100
2	24,0	25,2	5032	8,3	100
3	24,8	25,2	2908	4,7	100
4	24,7	25,2	4028	6,5	100
5	25,0	25,2	2304	3,7	100
6	24,4	25,2	4824	7,8	100
7	24,3	25,2	4167	6,8	100

Middelverdi	6,6	100
Standard avvik	1,9	
Minste verdi	3,7	
Høyeste verdi	8,6	

#### Epoxy (1) - kald

1	25,1	25,2	6831	10,8	50
2	25,8	25,3	4787	7,3	60
3	25,2	25,3	6256	9,8	90
4	25,1	25,2	8110	12,8	60
5	25,6	25,3	6416	9,9	100

Middelverdi	10,1	72
Standard avvik	2,0	
Minste verdi	7,3	
Høyeste verdi	12,8	

#### Epoxy (2) - kald

1	25,3	25,2	7341	11,5	90
2	24,8	25,3	6847	10,9	90
3	25,2	25,2	8118	12,8	80
4	25,4	25,2	8849	13,8	100
5	24,6	25,3	8630	13,9	100

Middelverdi	12,6	92
Standard avvik	1,3	
Minste verdi	10,9	
Høyeste verdi	13,9	

## Bestemmelse av skjærfasthet - kalde prøver (forts.).

### PRF (1) - kald

1	24,5	25,2	4348	7,0	90
2	24,9	25,3	4397	7,0	100
3	25,2	25,2	6178	9,7	90
4	25,6	25,2	7453	11,6	90
5	26,3	25,3	9190	13,8	100

Middelverdi	9,8	94
Standard avvik	2,9	
Minste verdi	7,0	
Høyeste verdi	13,8	

### PRF (2) - kald

1	24,2	25,2	5665	9,3	30
2	25,2	25,3	6971	10,9	100
3	24,7	25,2	4986	8,0	100
4	24,5	25,2	6792	11,0	100
5	25,1	25,3	4396	6,9	100

Middelverdi	9,2	86
Standard avvik	1,8	
Minste verdi	6,9	
Høyeste verdi	11,0	

## Bestemmelse av bøyefasthet og E-modul

Testing av små fingerskjøter ved romtemperatur og ved nedkjøling til -170 °C

Treslag	Gran	Limtype	MUF
Tykkelse	33 mm	Fingerlengde	15 mm
Bredde	50 mm	Spennvidde	560 mm
Trefuktighet	Ca. 12 %	Midtfelt	187 mm
Materialkvalitet	C30	Sidefelt	187 mm

Prøver testet ved -170 °C

Prøve nr.	Bruddlast (N)	Bøyefasthet (N/mm <sup>2</sup> )	E-modul (N/mm <sup>2</sup> )	Kommentarer
1	6 013	61,8	14 205	
2	4 366	44,9	14 505	Kvist
3	8 308	85,4	17 971	
4	6 547	67,3	15 579	
5	7 056	72,6	14 628	
6	7 830	80,5	18 017	
7	3 495	35,9	11 950	Kvist
8	7 267	74,7	17 010	
9	8 287	85,2	18 373	
10	7 965	81,9	17 104	

### Resultater

Prøve nr. 2 og 7 er utelatt på grunn av kvist i skjøten

Bøyefasthet		E-modul	
Middelverdi	76,2 N/mm <sup>2</sup>	Middelverdi	16 611 N/mm <sup>2</sup>
Standard avvik	8,6 N/mm <sup>2</sup>	Standard avvik	1 609 N/mm <sup>2</sup>
Variasjonskoef.	0,11	Variasjonskoef.	0,10
Minste verdi	61,8 N/mm <sup>2</sup>	Minste verdi	14 205 N/mm <sup>2</sup>

Prøver testet ved romtemperatur

Prøve nr.	Bruddlast (N)	Bøyefasthet (N/mm <sup>2</sup> )	E-modul (N/mm <sup>2</sup> )	Kommentarer
1	5 020	51,6	11 672	Kvist
2	4 272	43,9	11 675	Kvist
3	7 343	75,5	16 375	
4	5 633	57,9	13 053	
5	6 239	64,2	12 568	
6	5 846	60,1	14 543	
7	5 511	56,7	13 168	
8	6 179	63,6	14 314	
9	7 730	79,5	16 558	
10	7 046	72,5	17 303	

### Resultater

Prøve nr. 1 og 2 er utelatt på grunn av kvist i skjøten

Bøyefasthet		E-modul	
Middelverdi	66,3 N/mm <sup>2</sup>	Middelverdi	14 735 N/mm <sup>2</sup>
Standard avvik	8,5 N/mm <sup>2</sup>	Standard avvik	1 805 N/mm <sup>2</sup>
Variasjonskoef.	0,13	Variasjonskoef.	0,12
Minste verdi	56,7 N/mm <sup>2</sup>	Minste verdi	12 568 N/mm <sup>2</sup>

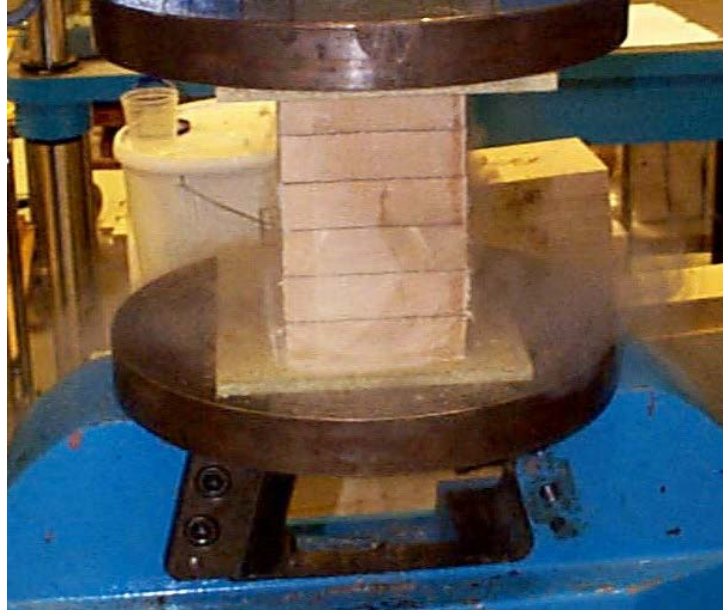
## Vedlegg 2



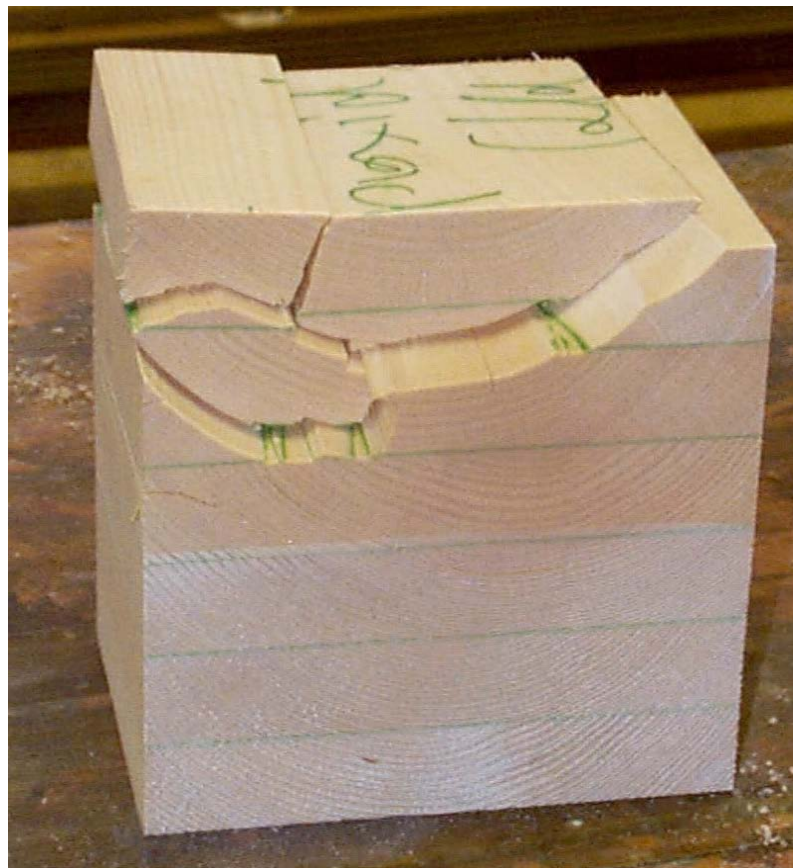
Figur 11. Et nedkjølt prøvestykke venter seg gradvis til romtemperatur.



Figur 12. Luftfuktigheten kondenserte og la seg som rim på kalde prøvestykker.



*Figur 13. Frostrøyk under testing av kalde prøvestykker.*



*Figur 14. Eksempel på bruddform, kaldt virke.*