

# **Skruvarmering som förstärkning i trä vid belastning vinkelrätt fiberriktningen**

**- en försöksstudie**

Karin Nilsson, V98



# **Skruvarmering som förstärkning i trä vid belastning vinkelrätt fiberriktningen** - en försöksstudie

Karin Nilsson, V98



## Sammanfattning

Detta arbete bygger på en studie av träs beteende vid belastning vinkelrätt fiberriktningen med och utan förstärkning i form av skruvar, SFS WT-T-8,2xL. Uppdragsgivaren var Arne Emilsson på Limträteknik i Falun som önskade förstärka träet vinkelrätt fiberriktningen i kritiska punkter där laster tas ned. Träets uppförande vid belastning med och utan förstärkning har studerats genom en försöksserie om totalt 70 prover, där last-deformationssamband kunde upprättas efter belastning i en MAN Universalprovningssmaskin. Tester utfördes på enbart trä, på trä med 1 skruv, på trä med skruvgrupper om 4, 6 och 8 skruvar samt på skruvar som belastats med en torx-hylsa. Proverna belastades dels med en stålplatta och dels med en träplatta för att simulera knutpunkter med både stål och trä i limträtakstolar.

Syftet med testerna var att skaffa underlag till en beräkningsmodell som kunde bestämma lastkapacitet vid en viss skruvtäthet. Beräkningsmodellen utgick från värden på  $F_{c,90}$ , enligt EN 1193 och skulle innehålla träets lastkapacitet och skruvarnas lastkapacitet när de belastades med en torx-hylsa samt antal skruvar. Ett k-värde som berodde på belastningsplattan togs fram. Utöver beräkningsmodellen togs även fram värden på förstärkningen, s k förstärknings-faktorer, med de olika skruvgrupper. Dessa utgick också ifrån värden på  $F_{c,90}$ , enligt EN 1193.

Resultaten visade att för belastning med stålplatta var 4 skruvar mest effektivt även om man kunde nå en högre kapacitet med 6 skruvar. De 2 extra skruvarna upp till 8 skruvar i en skruvgrupp gav litet bidrag. För fallet med belastning av träplatta så var 8 skruvar mest effektivt och detta gav även högst lastkapacitet. Det var också tydligt att en större förstärkningseffekt uppnåddes i fallet med belastning med stålplatta än i fallet med belastning med träplatta.

Det visade sig att nedsänkningen av skruvhuvudena hade betydelse för förstärkningseffekten. Effekten av skruvarna kom senare om de satt djupt i träet, men det var inte bra om satt precis i ytan. 2-3mm var den ideala nedsänkningen för att få bra effekt så tidigt som möjligt.

## Summary

This essay is a result of a study with 70 wooden specimens which are loaded transversely to the direction of the grain. The objective of the essay has been to study whether or not wood screws is a good way of reinforcing glulam timber in compression transversely to the direction of the grain.

The initiative has been taken by Arne Emilsson, working at Limträteknik, Falun, Sweden. The company produces wooden rafters. There was a need to reinforce the beams in critical points where the loads were concentrated, both in connection with wood and with steel.

Tests were performed on specimens of glulam timber with and without screws as reinforcement. The screws used were SFS WT-T-8,2xL. The study was limited to tests with 1, 4, 6 and 8 screws loaded with steel and wooden plates. Besides this screws were tested separately with a part from a box spanner with tommy bar.

The objective of the tests was to make a formula which could estimate the carrying capacity with a certain number of screws per square meter. The values used in this formula were values of  $F_{c,90}$  according to EN 1193. The formula was to take into account the carrying capacity of the wood itself, maximum carrying capacity of one screw and number of screws. There was also an unknown coefficient,  $k$ , that was estimated and depended on the material of the loading plate. Reinforcement factors were also estimated from values of  $F_{c,90}$  from the tests.

The results showed that 4 screws were most efficient when loaded with a steel plate. A higher carrying capacity could be obtained with 6 screws, but 2 extra screws up to 8 screws gave little contribution. 8 screws were most efficient when loaded with a wooden plate. This also gave the highest carrying capacity. A better reinforcement was obtained with the steel plate than with the wooden plate.

The immersion of the screw head into the wood turned out to be important for the carrying capacity. The effect of the screws came later if they were immersed deeply into the wood, but it did not work to have the screws right in the surface either. 2-3mm was the ideal distance to immerse the screws.

# Innehållsförteckning

<b>1. Inledning</b>	<b>1</b>
<b>2. Bakgrund</b>	<b>3</b>
2.1 Limträ	3
2.2 Tryck vinkelrätt fiberriktningen	3
2.3 Ändrade regler 1994	4
2.4 Var problemen uppstår	5
<b>3. Tidigare gjorda försök</b>	<b>6</b>
3.1 Hållfasthetstester på oförstärkt trä	6
3.1.1 Korttidsförsök	6
3.1.2 Långtidsförsök	13
3.2 Hållfasthetstester på förstärkt trä	15
3.2.1 Förstärkning med dymlingar i limträ	15
3.2.2 Förstärkning med skruvar	16
<b>4. Beskrivning av försöken</b>	<b>20</b>
4.1 Inledning	20
4.2 Försöksuppställningar	20
4.2.1 Försök med belastning av trä mot stål och trä mot trä	20
4.2.2 Försök med belastning av 220mm skruv mot stål och mot trä	22
4.2.3 Försök med belastning på skruven	22
4.2.4 Försök med flera skruvar	23
4.3 Försöken	24
4.3.1 Försök med belastning av trä mot stål och trä mot trä	24
4.3.2 Försök med belastning av 220mm skruv mot stål och trä	25
4.3.3 Försök med belastning på skruven	25
4.3.4 Försök med belastning av skruvgrupper	26
<b>5. Resultat</b>	<b>27</b>
5.1 Försök med belastning av en skruv och bara trä mot stål	27
5.2 Försök med belastning av en skruv och bara trä mot trä	28
5.3 Försök med belastning av skruven	28
5.4 Försök med belastning av skruvgrupper mot stål och trä	29
5.5 Förstärkningsfaktorer	30
<b>6. Beräkningsmodell</b>	<b>31</b>
<b>7. Slutsatser</b>	<b>33</b>
7.1 Försöken	33
7.2 Resultaten	33
7.3 Vidare studier	34
<b>8. Litteraturförteckning</b>	<b>35</b>

## Bilagor

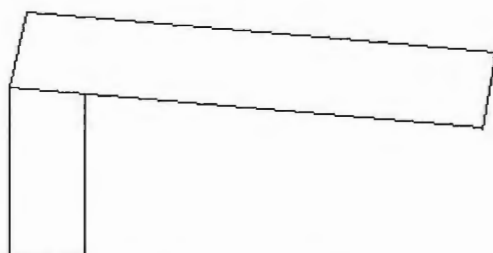
<b>Titel</b>	<b>Bilaga</b>
Översikt försök	1
Sammanfattning försök (givare)	2
Last-deformationssamband – skruvgrupper mot trä (givare)	3
Last-deformationssamband – skruvgrupper mot stål (givare)	4
Sammanfattning försök (lastcell)	5
Last-deformationssamband – 1 och 4 skruvar mot trä (lastcell)	6a
Last-deformationssamband – skruvgrupper mot trä (lastcell)	6b
Last-deformationssamband – 1 och 4 skruvar mot stål (lastcell)	7a
Last-deformationssamband – skruvgrupper mot stål (lastcell)	7b
Sammanfattning försök (Skruvar mot torx-hylsa, värden från givare)	8
Last-deformationssamband –220mm skruv mot torx-hylsa	9
Bestämning av $F_c,90$	10
Beräkning av skruvarea	11

# 1. Inledning

Arne Emilsson på Limträteknik i Falun, fick en idé om att förstärkning med träskruvar skulle kunna öka bärförmågan hos trä vid belastning vinkelrätt fiberriktningen. Detta skulle kunna utnyttjas i deras tillverkning av takstolar av limträ. Genom förstärkning skulle dimensionerna på limträbalkar kunna minskas eftersom de var förstärkta i knutpunkterna där laster koncentreras.

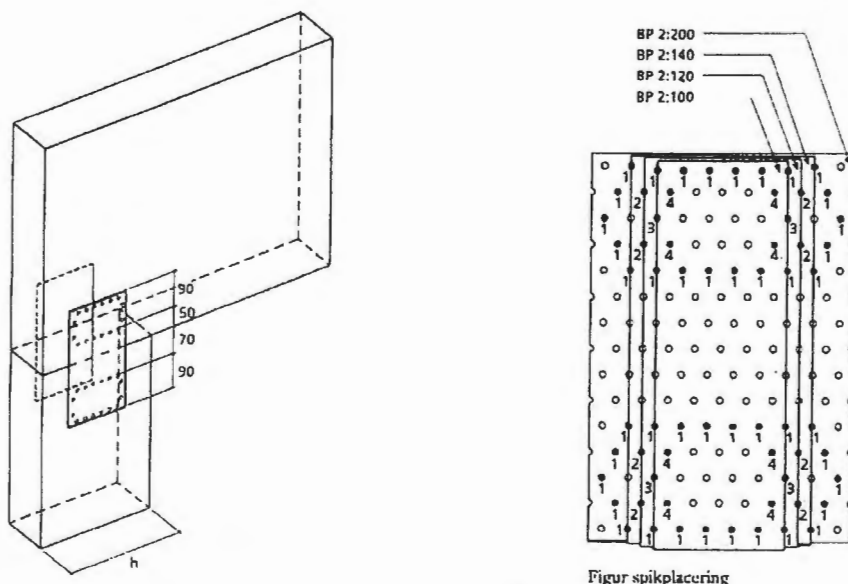
Mindre upplagslängder eftersträvades också för att minska excentriciteter som ger upphov till vridande moment. De krav som finns angivna i BKR99 vad gäller begränsningar av tryckspänningar vid belastning vinkelrätt fibrerna gör att tryckytan oftast måste ökas för att minska spänningsnivån. Den större belastningsytan leder till större excentriciteter i lastangreppspunkten som i sin tur ger upphov till vridande moment kring den bärande balken. Detta kan i sin tur leda till att den vrids runt sin egen axel.

Problem har även uppstått med konsolbalkar som när de vilar på en anslutande balk ger en intryckning i denna. Det har uppmätts värden på 10mm deformation vid ena sidan om upplaget och 20mm vid andra sidan där konsolbalken även ger ett moment, se figur 1.1.



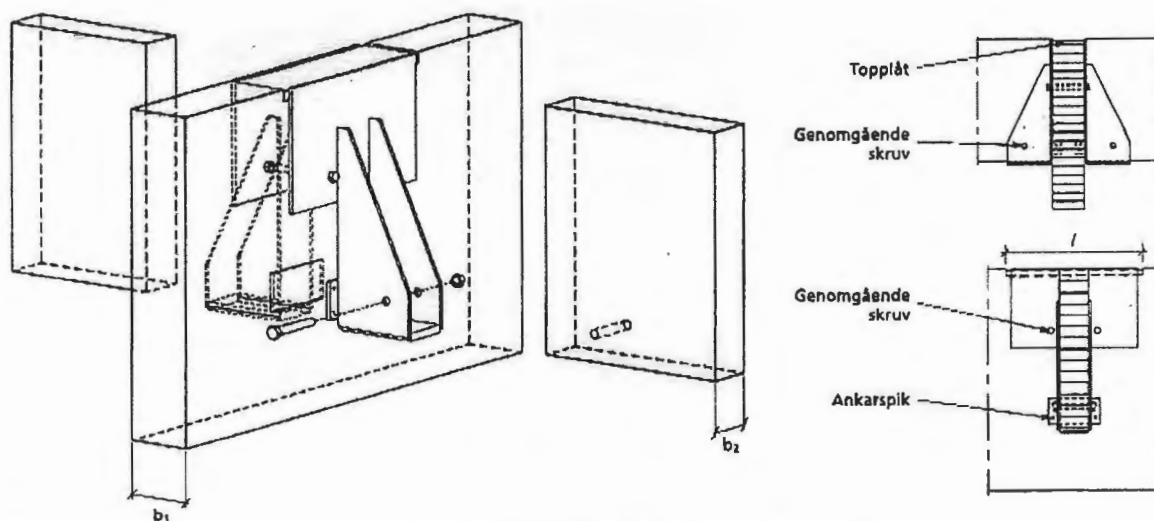
Figur 1.1 Konsolbalk. Överdriven deformation.

Två olika knutpunkter har studerats i denna rapport. Det ena fallet innebar att lastöverföringen skedde mellan trä belastat vinkelrätt fibrerna och trä belastat parallellt fibrerna, se figur 1.2. I det andra fallet överfördes krafterna via balkskor, dvs krafterna överfördes via stål till trä på sådant sätt att träet belastades vinkelrätt fibrerna, se figur 1.3.



Figur spikplacering

Figur 1.2 Balk-pelarslutning i takstol med spikningsplåtar. Fallet trä mot trä.



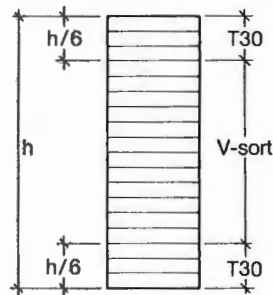
Figur 1.3 Balkanslutning i takstol med hängslad svetsad balksko. Fallet trä mot stål.



## 2. Bakgrund

### 2.1 Limträ

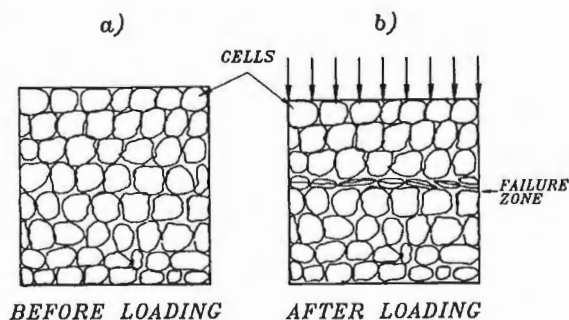
L-märkt limträ består av fyra eller fler hoplimmade lameller med fiberriktningen i elementens längsriktning. Lamellerna är 45 mm tjocka för raka och normalt överhöjda L-träelement. Limträ tillverkas normalt av granvirke. Limmet som håller ihop lamellerna har bättre hållfasthets- och beständighetsegenskaper än själva träet. Olika sorters lim används beroende på om limträelementen ska användas inomhus eller utomhus. Utomhus används vanligen resorcinollim som är ett syntetiskt tvåkomponentlim som ger rödbruna fogar. Inomhus används vanligen kaseinlim som ger ljusa limfogar. Limträelementen byggs upp så att virke med högre kvalitet placeras i de yttre sjättedelarna där påkänningarna normalt är högst. Inverkan av fuktkvot och lastvarighet på hållfastheten är densamma som för konstruktionsvirke. Spridningen i hållfasthetsegenskaper är dock mindre för limträ beroende på att lameller av varierande styrka blandas och de yttersta lamellerna är av högre hållfasthet. I konstruktionsvirke bestäms hållfastheten av det svagaste snittet, t ex vid en kvist. Limträ har också geomsnittligt högre hållfasthet och styvhet än motsvarande element av konstruktionsvirke och anses vara mer formstabil (Carling, 1992). Limträ tillverkas normalt i hållfasthetsklass L40, där talet 40 anger ett ungefärligt värde i MPa på den karakteristiska böjhållfastheten vid korttidsprovning.



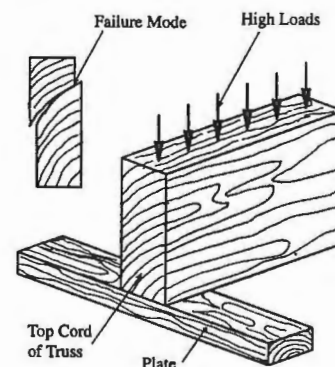
Figur 2.1 Uppbyggnaden av limträ (Carling, 1992)

### 2.2 Tryck vinkelrätt fiberriktningen

Tryck vinkelrätt fiberriktningen ger inget egentligt brott utan brotthållfasthet definieras som en viss storlek på deformationen eller när proportionalitetsgränsen har överskridits. Brott uppstår när en rad cellväggar i snittet kollapsar, se figur 2.2. Brott kan även uppstå som stansbrott när en lokal tryckkraft verkar på en liten yta av träet. En tredje brotttyp är när träet skjivas av vid årsringarna, se figur 2.3. Detta kan ske i takstolar där balkarna är sammanfogade med spikplåtar. Det sker främst i långsmala tvärsnitt där årsringarna löper från en sida till en annan i ca 45 graders vinkel (Madsen, 2000).

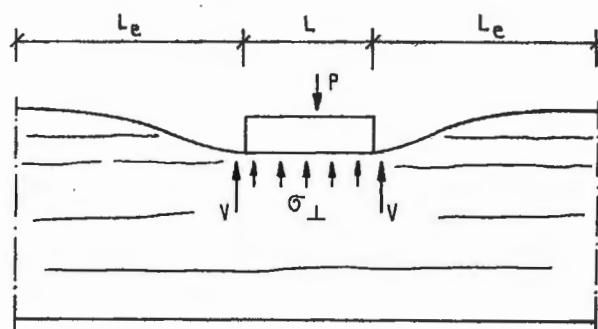


Figur 2.2 Tryckbrott (Madsen, 1992)



Figur 2.3 Skjuvbrott (Madsen, 2000)

Hållfastheten är störst vid tryck tangentiellt årsringarna och minst vid 45 graders vinkel mellan årsringarna och kraftriktningen. Hållfastheten hos trä vid tryck vinkelrätt fiberriktningen beror på en rad olika variabler. Hållfastheten är beroende på belastningslängden på delen som trycker på provkroppen. Hållfastheten blir större om belastningslängden är mindre pga att tvärkrafter bidrar till bärförmågan och dessa ger ett större bidrag ju kortare längden är. Man får alltså en mindre deformation för samma spänningsnivå (Enockson, Mårtensson, 1996).



Figur 2.4 Tvärkraftens bidrag till bärförmågan (Madsen 1992)

Hållfastheten beror även på fuktkvot. Inom intervallet 6-23% fuktkvot innebär en minskning av fuktkvoten att hållfastheten ökar. Växtfel har begränsad inverkan men kvistar kan ge ökad styvhet. Olika lastvarighet ger olika värden på hållfastheten. Hållfastheten minskar med belastningstiden. I de flesta länder har man räknat med att hållfastheten vid långtidslast är 60% av hållfastheten bestämd vid korttidsförsök (Carling, 1992). Det är vanligt för tester med trä i tryck vinkelrätt fiberriktningen att hållfastheten varierar med 40-60%. Detta kan delvis bero på att vissa provkroppar innehåller kvistar, vilket gör att hållfastheten ökar. Observera att motsatsen gäller för hållfasthetstester i t ex böjning och drag (Madsen, 2000).

Egenskap	Ändring av att fuktkvoten ändras med 1 %	Minskning av att fuktkvoten ökas från 15 % till fibermättnadspunkten
Böjhållfasthet	4	40
Draghållfasthet		
parallellt fiberriktningen	3	30
Tryckhållfasthet		
parallellt fiberriktningen	5	45
vinkelrätt fiberriktningen	5	50
Skjuvhållfasthet		
parallellt fiberriktningen	3	30

Tabell 2.1 Fuktkvotens inverkan på hållfastheten hos felfritt barrträ (procent) (Carling, 1992).

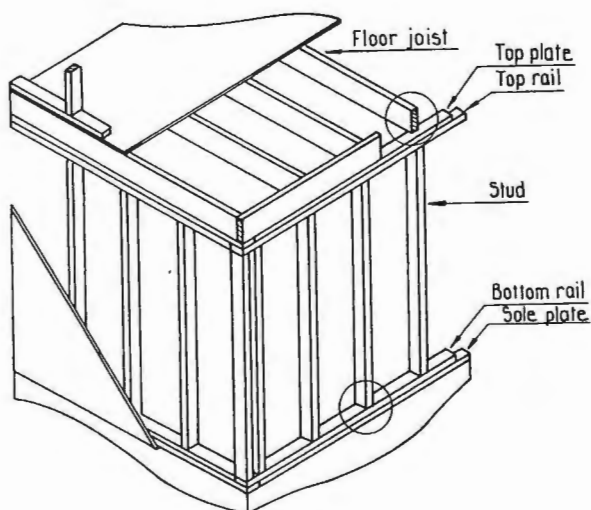
### 2.3 Ändrade regler 1994

I byggbranschen har man uppmärksammat problemet med deformationer i konstruktioner där trä belastas vinkelrätt fibrerna. Deformationer uppstår både i flervåningshus och i andra stommar av trä. Deformationer i flervåningshus av trä kan bli en upphov till sprickor i putsade fasader och sprickor i golv och väggar (Thorson, 1989). Det har blivit mer intressant att utreda den här typen av problem numera eftersom reglerna för att bygga flervåningshus i

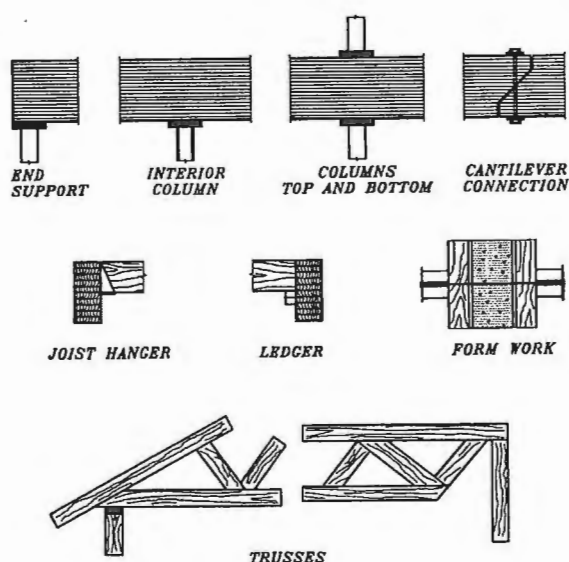
trä i Sverige ändrades 1994. Då beslutade Boverket att bedömningen av en konstruktion skulle vara materialberoende. Detta hade stor betydelse speciellt vad avser brandkraven eftersom tidigare krav omöjliggjorde byggnation av hus med trästomme högre än två våningar. Som följd av de ändrade reglerna så har det blivit möjligt att bygga mer än två våningar av trä och detta har gjort att materialet trä konkurrerar med t ex betong som stommaterial i flervåningshus.

## 2.4 Var problemen uppstår

Problemet med deformationer i trä vinkelrätt fibrerna uppstår i flervåningshus främst i syllen och i knutpunkter mellan bjälklagen. Deformationer i syllen gör att antalet regler måste ökas för att fördela krafterna. Deformationer mellan bjälklagen kan leda till sprickor mellan innertak och innervägg samt sprickor i innerväggar. Det kan även bli problem i takstolar, där deformationer kan ge intryckning i träet med snedställningar som följd. I inledningen (kap 1) beskrivs utförligare problem vid belastning vinkelrätt fibrerna i takstolar.



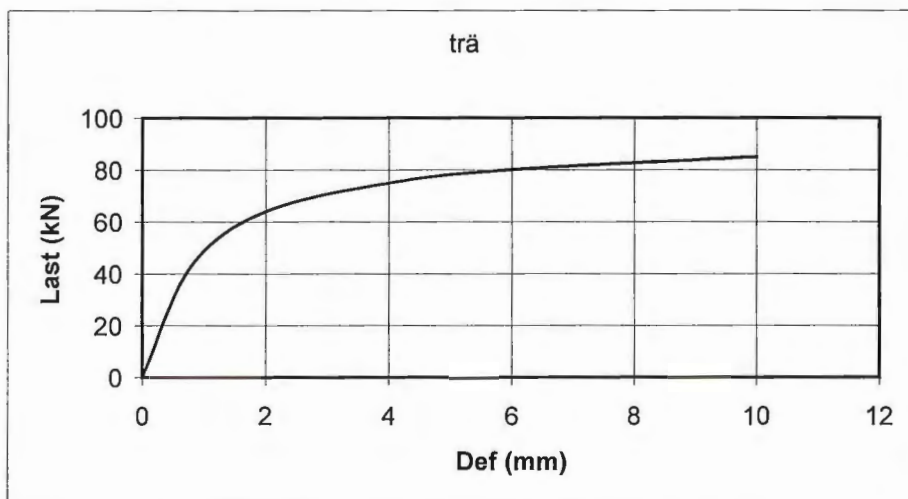
Figur 2.5 Punkter där deformationer uppstår (Burchell & Sunter, 1987)



Figur 2.6 Takstolar mm där deformationer uppstår (Madsen, 1992)

### 3. Tidigare gjorda försök

Nedan följer en kort beskrivning av tester utförda i korttids- respektive långtidsförsök. Tester som gjorts för att fastställa amerikansk och europeisk standard har även tagits med. Det är svårt, vid trycktester vinkelrätt fiberriktningen, att fastställa en proportionalitetsgräns, dvs en gräns för när den elastiska deformationen upphör.



Figur 3.1 Principkurva last-deformationssamband för trä

Hållfasthetsvärden för tryck vinkelrätt fiberriktningen, som anges i normen, är bestämda för att ge rimliga deformationer. En brottgränskontroll av spänningsnivån utförs för att begränsa deformationerna, som egentligen är ett bruksgränsproblem. Definitionen av hållfasthetsvärdena är omdiskuterad. Det finns flera olika testmetoder för att fastställa dessa och testmetoderna ger olika resultat. Definitionen av hållfasthetsvärdena kompliceras ytterligare av att de är fuktberoende. En betydande del av deformationen sker över en längre tid och det är viktigt att även väga in detta.

Gränsvärden vid försök har valts på olika sätt. Några har valt att definiera en gräns utifrån korsningspunkten mellan de två räta linjerna som kan beskriva last-deformationskurvan. Andra har valt att fastställa ett värde utifrån en viss deformation i mm eller i procent av total höjd. Linjen som beskriver den initiella, elastiska deformationen kan även parallellförflyttas ett visst avstånd varefter man väljer som gränsvärde det värde där den parallellförflyttade kurvan skär den verkliga. Det kan vara vanskligt att applicera värden från ett försöksfall på ett annat. Man har ännu inte riktigt utrett hur de olika parametrarna hänger ihop. Värden från blocktesterna t ex, där hela ytan är belastad har visat sig vara olämpliga att använda i fall där endast en del av en balk är belastad.

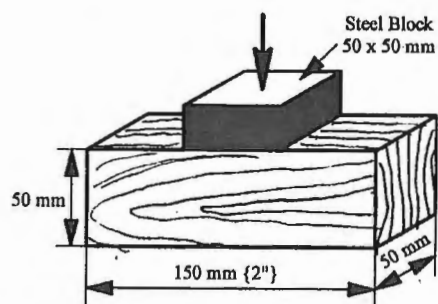
#### 3.1 Hållfasthetstester på oförstärkt trä

##### 3.1.1 Korttidsförsök

Korttidsförsök mäter enbart den initiella deformationen för att fastställa var proportionalitetsgränsen ligger samt gränser i närheten av denna.

### ASTM D 143 – amerikansk standard

Testmetod utarbetad av American Society for Testing and Materials och använd i Nordamerika sedan 1926. I denna testmetod används defektfria träblock med måtten 150x50x50 mm. Denna bit trycks sedan mot ett fast underlag med en stålbricka med arean 50x50 mm. Årsringarna på träblocket är parallella med kraftriktningen, vilket ger maximal hållfasthet. Träblocket trycks i en maskin så att deformationen blir 0,3 mm/min och ger en spännings-deformationskurva. Våta träblock testas för att få fram tillåten spänningsnivå.

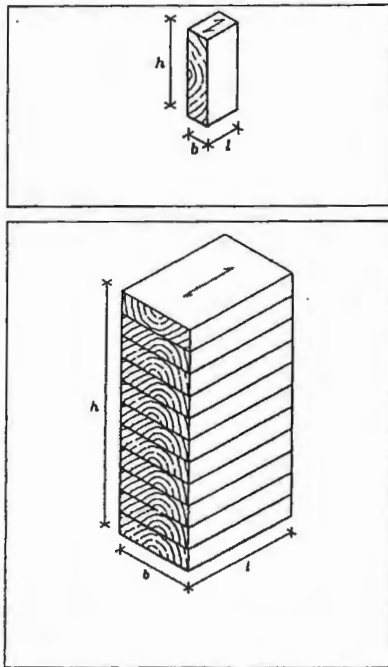


Figur 3.2 ASTM försöksupställning (Madsen, 2000)

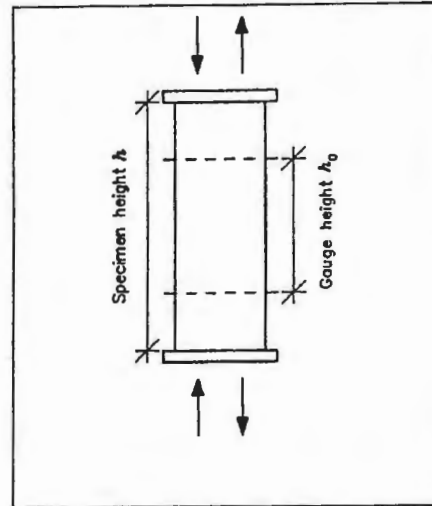
Proportionalitetsgränserna tas fram från spännings-deformationskurvorna och 5:e percentilen räknas ut. Denna divideras med 1,5 för att ta hänsyn till lastvarighet och säkerhetsfaktor och multipliceras med 1,0 och 1,5 för att ta hänsyn till torkning. Detta leder tillbaka till utgångspunkten och effekten blir att man dimensionerar torra trämaterial utifrån våta hållfasthetsvärden (Madsen, 2000). Man kan inte använda resultaten från testen generellt eftersom det blir extra motstånd mot deformation längs två av kanterna av stålplattan (Madsen, 1992). Se även kap 2.2 figur 2.4. I ett annat metodnummer, ASTM D 245-92 anges tillåten spänningsnivå som spänning vid 1 mm deformation. Denna spänning ligger långt över spänningen vid proportionalitetsgränsen och används numera i den kanadensiska koden, CSA-086.1 (Frater & Thelandersson, 1996).

### EN 1193 – europeisk standard

Europastandard som även är accepterad som svensk standard SS-EN 1193. Den innehåller testmetoder utarbetade för konstruktionsvirke och för limträ. Riktningen på årsringarna är inte bestämd i testmetoden. Deformationen mäts över längden 0,6h centralt i testbiten och får ej ligga närmare kanterna än  $b/3$ . Tryckhållfastheten bestäms som de värde som ger 1% plastisk deformation (Gehri, 1997). EN 338 är ett system av hållfasthetsklasser som ger karakteristiska värdet på tryckhållfastheten som en funktion av karakteristiska värdet på densiteten:  $0,015\rho_k$ . EN 1193 ger ungefär halva värdet på tryckhållfastheten jämfört med EN 338. Anledningen till detta är bl a att i EN 1193 belastas ett provblock och EN338 visar en mer realistisk belastningssituation. Detta gör att EN 338 är mer lämpat för praktisk dimensionering (Mårtensson, 1998).

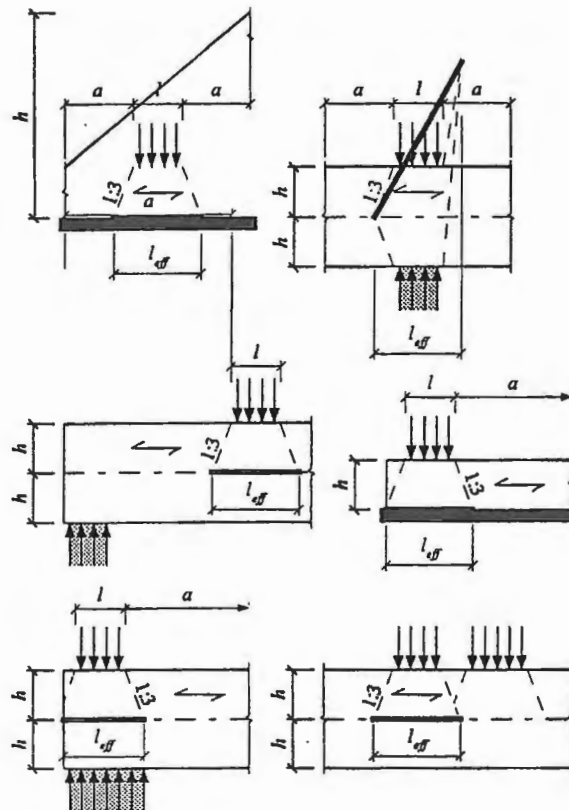


Figur 3.3 Testblock (EN 1193:1997)



Figur 3.4 Mätlängd (EN 1193:1997)

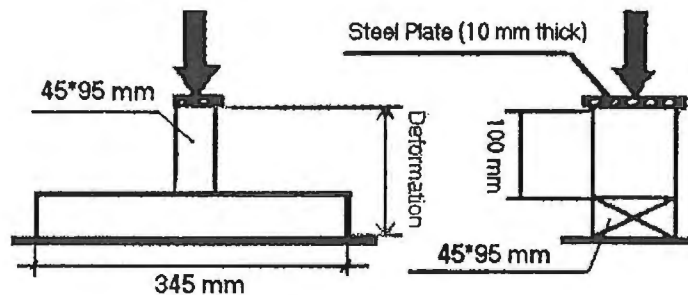
Eurocode 5 är en europeisk designkod som baseras på EN 338. Den anger bl a en metod för att beräkna spänningen i trä som belastas vinkelrätt fiberriktningen. Kraften som verkar på träet divideras med en effektiv area, som består av bredden och en effektiv längd, se figur 3.5.



Figur 3.5 Effektiv längd (Eurocode 5)

### Carole Petit

Carole Petit gjorde i sitt examensarbete 2001 korttidstidsförsök för att kunna bygga upp en datormodell av träets beteende vinkelrätt fiberriktningen. I försöken ville hon finna samband mellan fuktkvot, hållfasthet och deformation. Hon testade provbitar av norsk gran med måtten 45x95x345 mm som belastades över en längd på 45 mm.



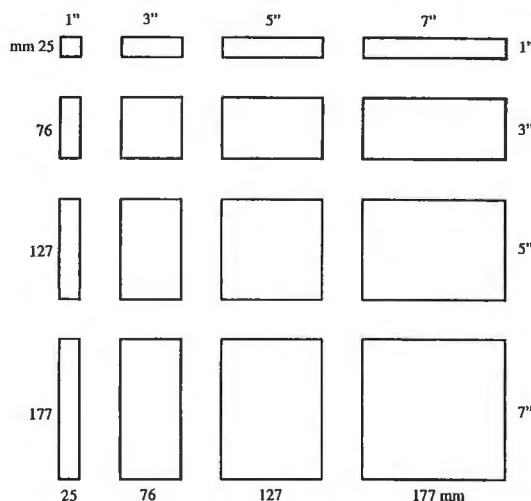
Figur 3.6 Försöksuppställning (Petit 2001)

Hennes försök visade att spänningen då träet plasticerar minskar med ökad fuktkvot. Bärförmågan minskar alltså med ökad fuktkvot.

### Madsen

Försök utförda av Borg Madsen på University of British Columbia 1996 och 1997. Testerna är utförda på 25 år gamla limträbalkar som använts till golvbalkar i universitets bokhandel. Testbitarna har måtten 178x400x1220 mm och är av Douglas gran. Tryckkrafter appliceras med stålplåtar av varierande area, totalt 16 olika. Plåtarna placerades mitt på testbiten så det var trä på alla sidor om dessa. Test utfördes först på torrt trä. I den andra testgruppen hade man tio balkar av Douglas gran och tio balkar av gran. Målet med testerna var att;

1. utreda bärförmågan med de 16 olika plattorna
2. se skillnaden på torrt respektive vått trä
3. se hur rundade hörn på plåtarna inverkar på hållfastheten
4. se om det fanns skillnad när man tryckte på sidan respektive på toppen av limträbalken
5. se sambandet mellan last och intryckning
6. se effekten av olika sorters trä

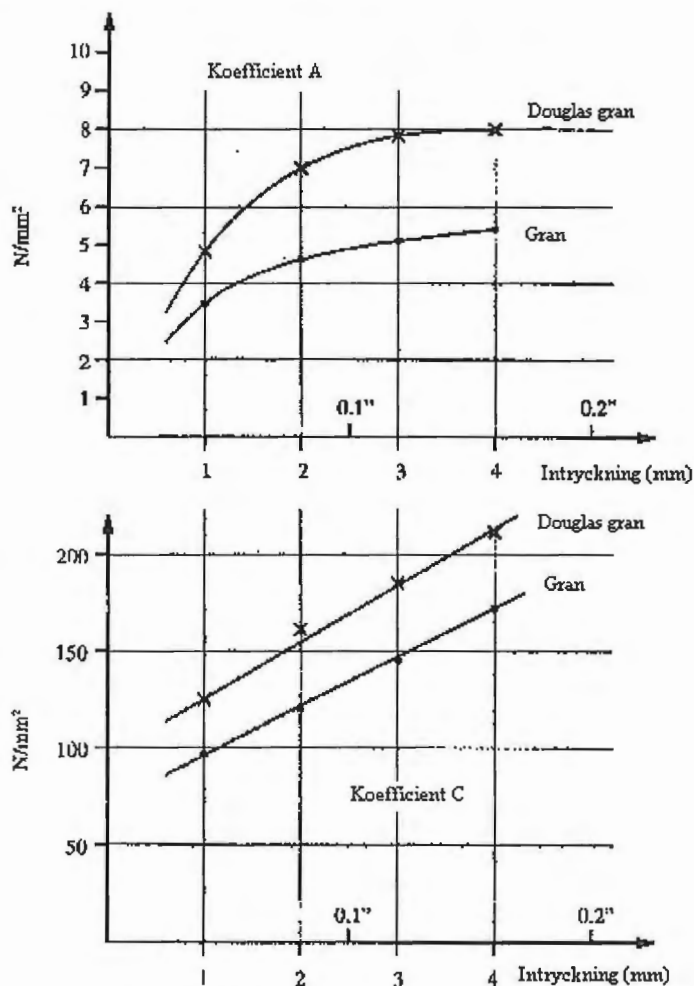


Figur 3.7 Stålplåtar för att applicera tryckkraften (Madsen, 2000).

Testerna visade att med en större platta så var man tvungen att applicera en högre last för att få samma intryckning. Om en kant på stålplåten låg utanför balken så blev bärförmågan mindre. Man försökte ta fram en beräkningsmodell för att kunna förutspå bärförmågan med de olika plattorna vid en vald deformation.

$$\text{Bärförmåga} = A \times \text{area} + B \times \text{para. kant} + C \times \text{vink. kant}$$

Bidraget från kanterna parallellt fiberriktningen visade sig vara så litet att B försumrades. A och C tog man däremot fram. Kanter som medverkade vinkelrätt fiberriktningen (koefficient C) gav högre bärförmåga och de ger större effekt ju längre de är.

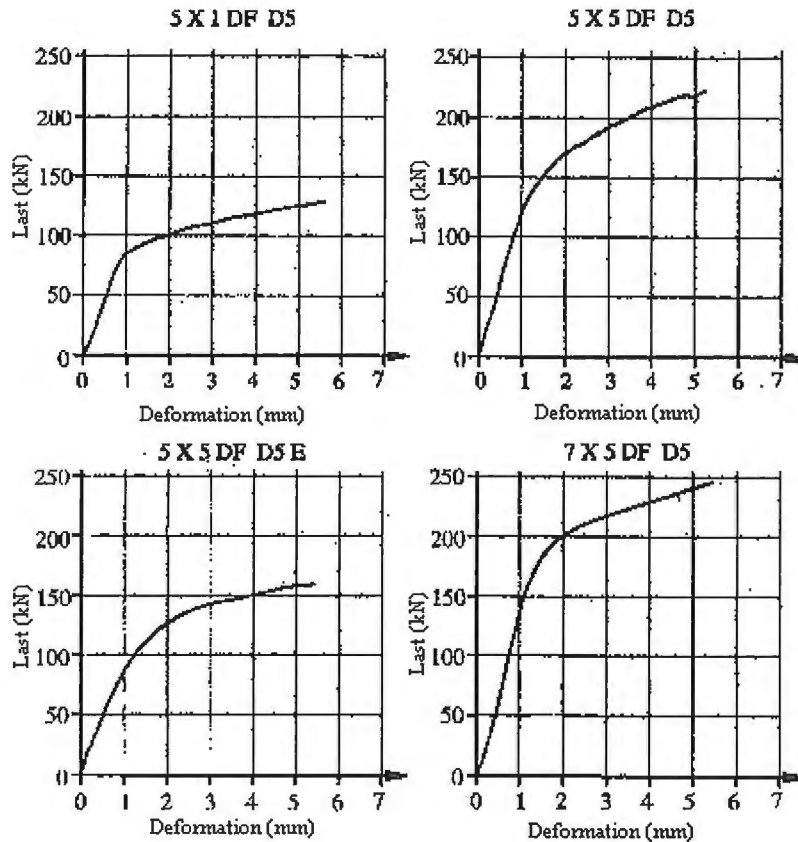


Figur 3.8 Kurvor för bestämning av koefficient A och C (Madsen, 2000)

Försöken visade att vått trä endast hade 60 % av hållfastheten hos torrt trä. Rundning av hörnen på testplattorna med 3 mm radie gav en minskad bärförmåga med 10 %. Det visade sig att det inte blev någon märkbar skillnad om man tryckte på sidan eller på ovankanten av limträbalken. Douglas gran visade sig ha större bärförmåga än gran.

Sambandet mellan last och intryckning visade att en viss gräns låg på 1-2 mm intryckning. Detta kunde man utläsa genom att anta att kurvorna bestod av två räta linjer som bands samman av en kurva och genom att förlänga de två räta linjerna till de möttes i en korsningspunkt. Madsen föreslår med anledning av detta att man använder bärförmågan vid 1,5 – 2,5 mm intryckning vid dimensionering i bruksgränstillstånd.

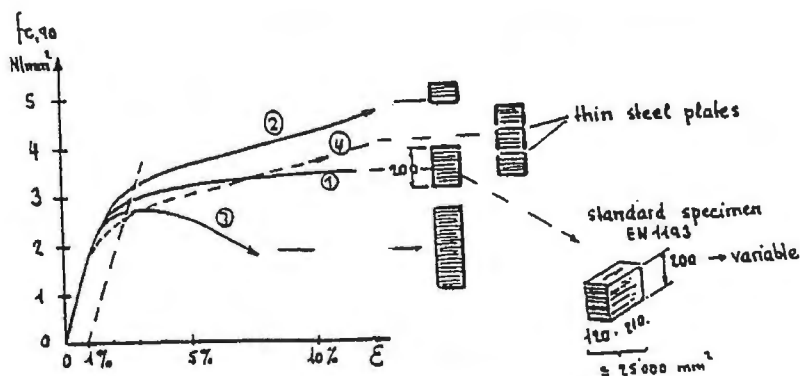




Figur 3.9 Spännings-deformationskurvor (Madsen, 2000)

### Blocktester

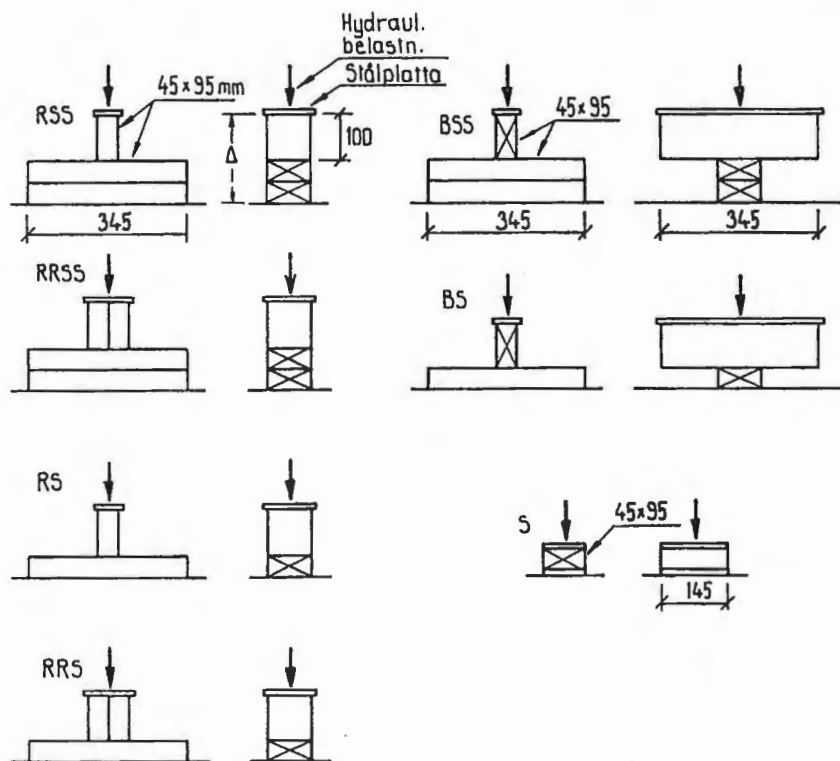
Tester på limträblock utförda vid ETH i Zürich 1997. Blocken var uppbyggda av lameller med 60 mm tjocklek. Bottenarean var 120x210 mm och höjden (antalet lameller) varierades. Man testade även block med stålplåtar införda med 100 mm skillnad i höjd. Man hade 4 fall där höjden varierades från 100 till 400 mm. Försöken visade att ökad höjd gav mindre bärförmåga förutom i fallet med insatta stålplåtar gav mindre bärförmåga vid liten deformation men högre bärförmåga vid större deformation. Resultaten har begränsad användning eftersom i verkligheten måste hänsyn tas till medverkande kanter då inte hela längden belastas (Gehri, 1997).



Figur 3.10 s Spännings-töjningskurva för 4 fall (Gehri, 1997)

### Frater och Thelandersson

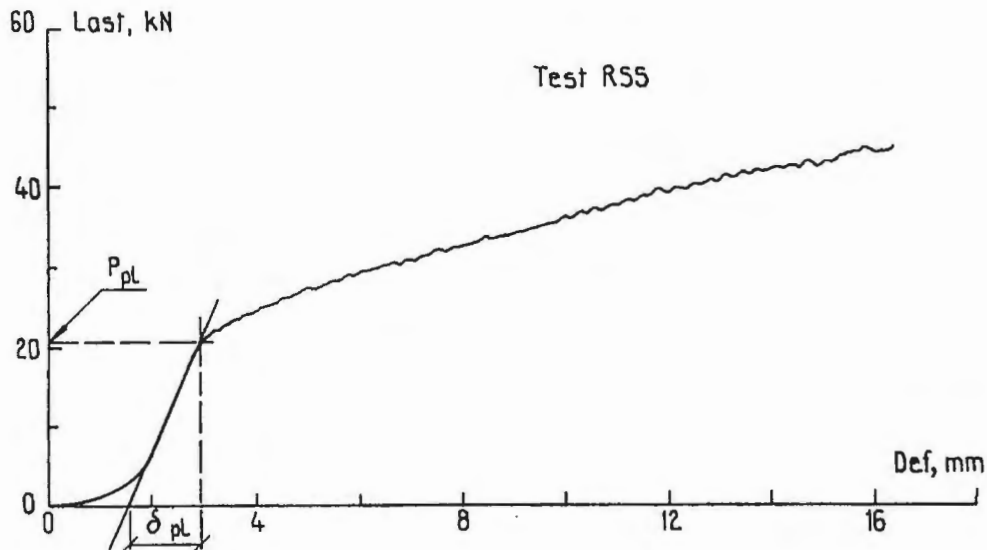
Försök utförda av George S. Frater och Sven Thelandersson vid Lunds Tekniska Högskola 1996. Syftet var att visa hur spännings-töjningssambandet ser ut för olika försöksuppställningar. Syllar, balkar och regler av gran, 45x95 mm, användes i sju olika uppställningar. Frater och Thelandersson kom fram till att en kortare belastningslängd gav en högre styvhet. Det visade sig också vara en tendens till att mindre belastningslängd skulle ge högre spänning vid proportionalitetsgränsen. Försöken visade att proportionalitetsgränsen låg på 2,5 – 5,1 MPa som ska jämföras med det karakteristiska värdet på bärförmågan för K-virke som anges i BKR 99 till 7 – 8 MPa för ungefär samma belastningslängd. De karakteristiska värdena skulle ge en deformation på 3 – 5 mm. Dessa värden är dock tänkta att användas i brottgränstillstånd men kan ge problem i bruksstadiet.



Figur 3.11 Försöksuppställningar vid korttidsförsök (Frater & Thelandersson, 1996).

#### Beteckningar:

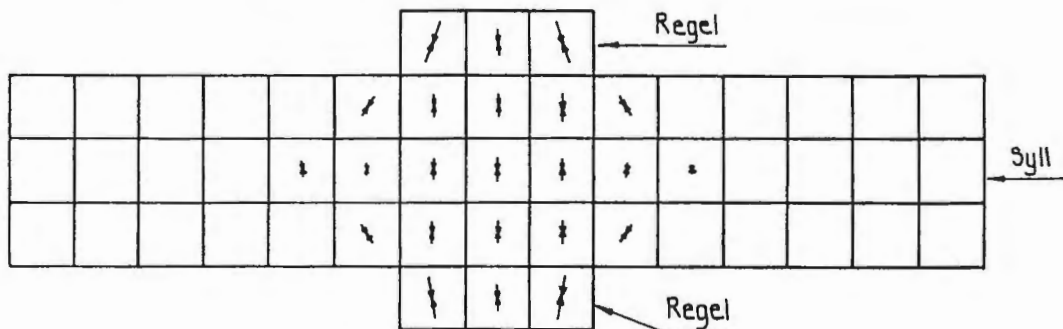
- RS - en regel på en syll
- RSS - en regel på två syllar
- RRS - två regler på en syll
- RRSS - två regler på två syllar
- BS - en balk på en syll
- BSS - en balk på två syllar
- S - en syll



Figur 3.12 Last-deformationskurva. Bestämning av proportionalitetsgräns (Frater & Thelandersson, 1996)

### Backsell

Backsell utförde 1966 ett stort antal försök på trä belastat vinkelrät fiberriktningen. Testerna utfördes med två olika höjder och med olika belastningslängd. Försöken visade att styvheten ökar med minskande belastningslängd. De visade även att om fuktkvoten ökar så minskar plasticeringsspänningen och styvheten samt att deformationen inte är proportionell mot höjden. Spänningarna fördelar sig nämligen i träet och högst spänning har man vid belastningsytan, se figur 3.13. Om höjden ökas så minskar spänningarna mitt i syllen, eftersom spänningarna fördelar sig över en större yta. Ju större  $d$  är i förhållande till belastningslängden, ju lägre blir spänningarna mitt i träet.



Figur 3.13 Tvärkraftens utbredning i trä (Enockson & Mårtensson, 1996)

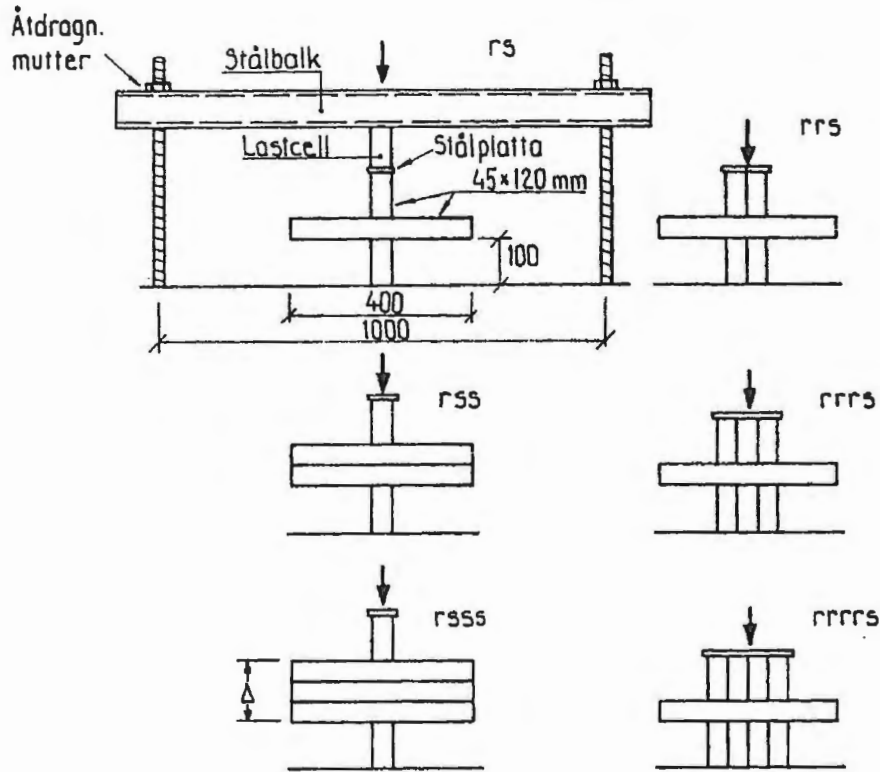
### 3.1.2 Långtidsförsök

Den totala deformationen kan beskrivas med olika komponenter. I det förra avsnittet fastställdes den elastiska deformationen vid korttidsförsök. I långtidsförsök kan man bestämma krympning, krypning och mekano-sorption. Krympning är deformationsändringar pga av uttorkning av materialet. Svällning uppkommer vid uppfuktning. Krypning är tilläggsdeformationen som blir pga långtidslast. Mekano-sorption är deformation som uppkommer när materialet belastas samtidigt som det utsätts för fuktkvotsändringar. Mårtensson och Enockson gav exempel på dimensionsberäkningar för en knutpunkt som principiellt överensstämde med utformningen som använts i ett femvåningshus på Wäludden.

Denna ungefärliga beräkning visade att tilläggsdeformationerna efter tio år var större, var och en för sig, än den initiella elastiska deformationen.

Jordow & Enockson

Jordow och Enockson utförde 1996 tester på regler och syllar av K-virke K12 med dimensioner 45x120 mm. Sex olika uppställningar användes för att fastställa samband mellan belastningslängd, deformation och provtjocklek samt inverkan av fukt och fuktändringar. Två exemplar av varje uppställning belastades under två veckor under vilka träet lätts torka ut från 18 % till 12 % fuktkvot.



Figur 3.14 Försöksuppställningar vid långtidstest (Frater & Thelandersson, 1996)

Beteckningar:

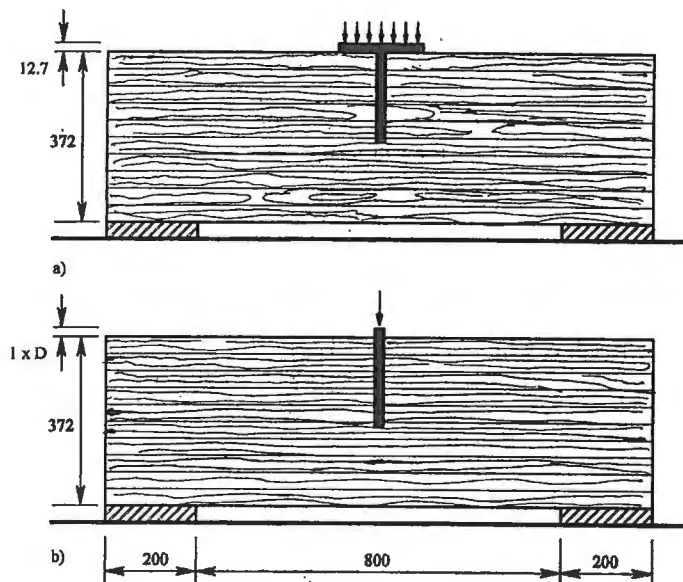
- rs - en regel på en syll
- rrs - två regler på en syll
- rrrs - tre regler på en syll
- rrrrs - fyra regler på en syll
- rss - en regel på två syllar
- rsss - en regel på tre syllar

Det visade sig att deformationen ökade icke-linjärt med ökande belastningslängd och att styvheten ökade med minskande längd. Deformationen fördubblades på två veckor jämfört med den initiella deformationen. Ungefär en tredjedel av tilläggsdeformationen bestod av krympning pga torkning.

### 3.2 Hållfasthetstester på förstärkt trä

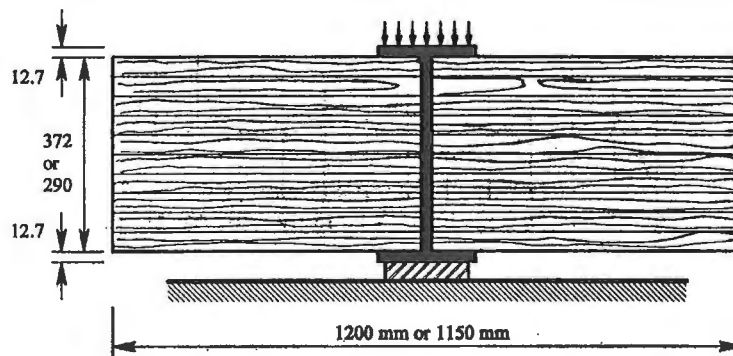
#### 3.2.1 Förstärkning med dymlingar i limträ

Borg Madsen testade år 2000 om limmade dymlingar i limträbalkar kunde öka bärförmågan. Balkarna hade måtten 178x372x1200 mm. Dymlingarna var 15 mm i diameter och längden varierades från 100 mm till 372 mm. En stålplatta, 76x102 respektive 102x150 mm, användes för att applicera tryckkrafterna. Hål förborrades och dymlingarna fästes med epoxylim.



Figur 3.15 Försöksuppställning, dymling i limträbalk (Madsen, 2000)

Resultatet av testerna visade att en dymling med längden 100 mm ökade bärförmågan vid 2 mm deformation med nästan 67 %. En 200 mm dymling ökade kapaciteten vid 2 mm deformation med 100%. Därefter blev ökningen av kapaciteten mindre och dymlingen med längden 372 mm ökade bärförmågan med 130%. Med en större stålplatta blev även här kapaciteten fördubblad men skillnaden mellan de olika längderna på dymlingarna blev betydligt mindre. Test utfördes med svetsning av stålplattan mot dymlingen och detta gav en högre bärförmåga i området 7 – 15 mm deformation. Madsen gjorde även försök på stålplattor förbundna med en dymling genom limträbalken. Den undre stålplattan vilade på ett stöd under balken. Frågan här var om dymlingen skulle knäcka ut, men försöken visade att så var inte fallet.



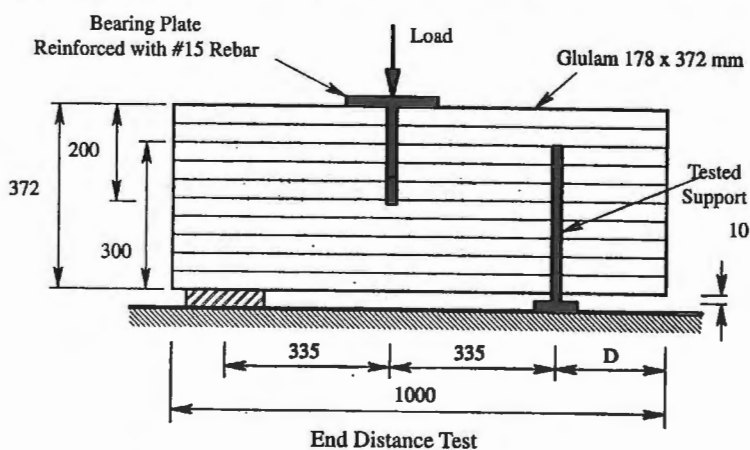
Figur 3.16 Försöksuppställning, genomgående dymling i limträbalk (Madsen, 2000)

Efter detta gjordes försök med flera dymlingar. Fyra försök utfördes med fyra olika storlekar på balkar. Tre dymlingar användes under en platta som var 152x204 mm och de var 200 mm

långa. Det fjärde fallet var annorlunda med fyra dymlingar med längd 300 mm och en platta med storlek 178x202 mm. Denna platta var dessutom hopsvetsad med dymlingarna, vilket ökade styvheten betydligt. Diametern på dymlingarna var 15 mm i alla fyra fallen. Man fann att ökningen i bärförmåga var proportionell mot ökningen i plattstorlek och total dymlingslängd.

Till sist utfördes försök med utstickande dymlingar, dvs man använde inte stålplattor utan all last lades direkt på dymlingen. Målet var att finna en minsta borrade längd som gav brott i dymlingen när den lastades i tryck. Tester utfördes först på block med storleken 178x372x250 mm och med endast en dymling. Dymlingen stack upp en diameters längd ur blocket. Diametern på dymlingarna var 10 mm och 15 mm. Den borrade längden varierades från 50 till 400 mm. Minsta borrade längd var 150 mm för 10 mm dymlingen och 250 mm för 15 mm dymlingen. Om man använde större borrade längder uppstod brott som knäckning i den utstickande delen av dymlingen.

Test utfördes också på att använda utstickande dymlingar som stöd för en balk istället för ett vanligt stöd. Det intressanta här var att ta reda på hur långt avståndet skulle vara mellan stöd och änden på balken, se D i figur 3.17. Test utfördes med en 15 mm dymling och avståndet varierades från 20 mm till 200 mm. Resultatet blev att 50 mm skulle vara minsta avståndet.



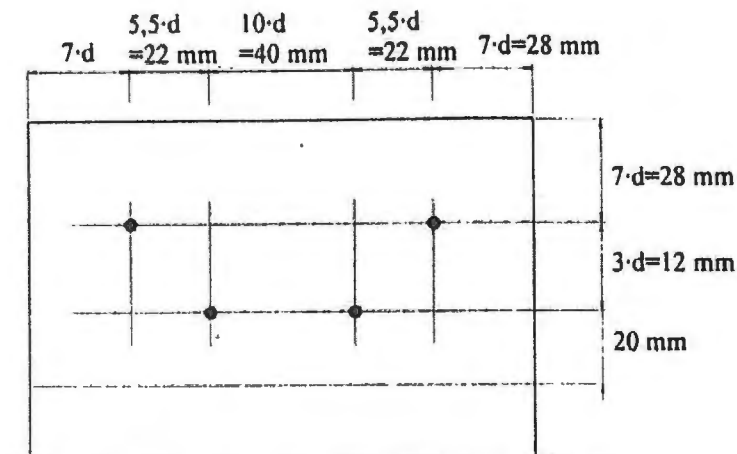
Figur 3.17 Försöksuppställning, dymling som stöd (Madsen, 2000)

Fördelarna med utstickande dymlingar i stället för en platta var att dessa låter en större del av limträbalken ta lasten. De ökar även skjuvningskapaciteten hos balken. Att använda utstickande dymlingar som stöd skapar bättre ventilation runt träet vid stödet och gör att träet slipper kontakten med fuktiga stöd. Vid höga laster kan det dock vara nödvändigt att använda både dymlingar och en platta.

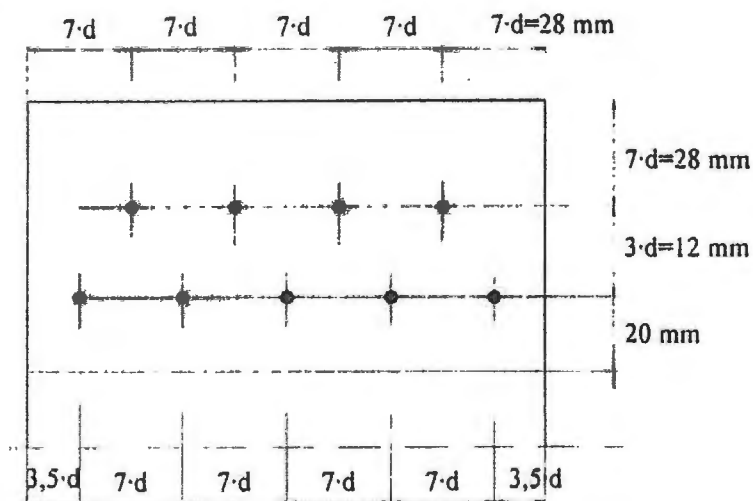
### 3.2.2 Förstärkning med skruvar

1999-2000 utfördes försök av professor Francois Colling från FH Augsburg på förstärkning av trä vinkelrätt fibrerna med träskruvar. 11 olika skruvar testades som förstärkning med dimensioner från 4x55mm till 8x100mm. Provkropparna var av limträ och konstruktionsvirke av gran och furu. Tester gjordes på bärförmågan utan skruvhuvud och med skruvhuvud. Inverkan av skruvdiameter, skruvlängd, skruvtäthet, indirekt och direkt belastning samt träkvalitet studerades. 4 och 9 skruvar testades i skruvgrupper, se figur 3.18 och 3.19. Trä med densitet 400kg/m<sup>3</sup> respektive 500kg/m<sup>3</sup> användes i försöken. Två försöksuppställningar utvärderades; syllförsök och upplagsförsök. Syllförsöken utfördes med konstruktionsvirke. Upplagsförsöken utfördes med limträ. Syllförsöken bestod i belastning av en regel med dimensioner 60x140 mm och upplagsförsöken bestod i belastning av en ände av en

limträbalk, 140x240mm med en platta av stål eller trä. I båda fallen vilade träet mot ett fast underlag.

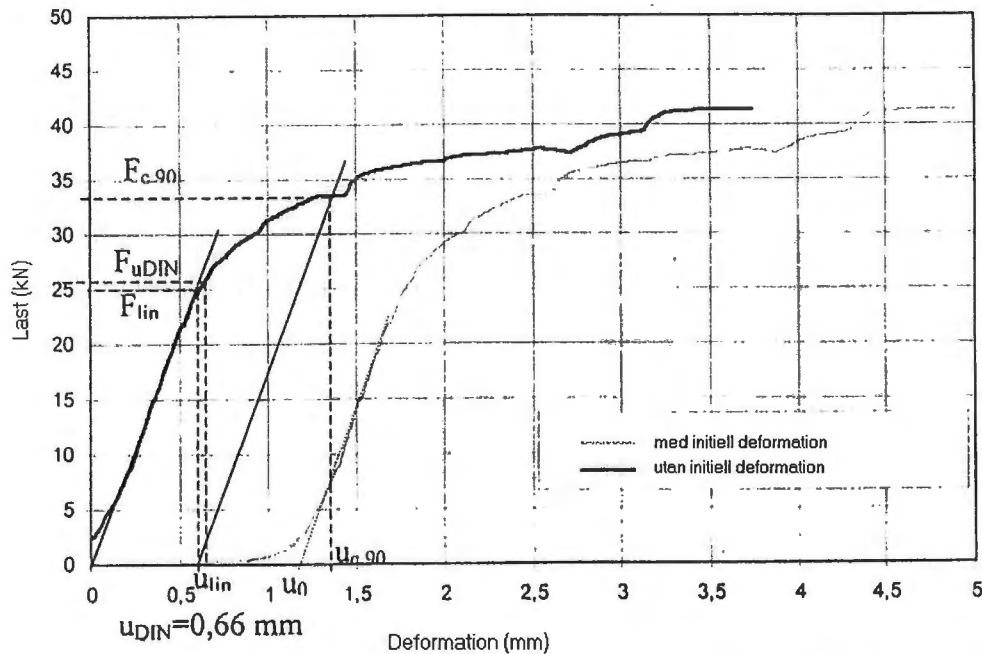


Figur 3.18 Skruvgrupp om 4 skruvar. (Colling, 2000)



Figur 3.19 Skruvgrupp om 9 skruvar. (Colling, 2000)

Resultaten visades med förstärkningsfaktorer där värden från oförstärkt och förstärkt trä jämfördes enligt standardförsök DIN 1052, EN 1193 samt enligt linjär analys. DIN innehåller försöksmetoder som utgår från defektfria provkroppar. För att ta fram värden på  $F_{c,90}$  enligt EN 1193 så parallellförflyttas linjen som visar det linjära sambandet fram till värdet på deformationen som motsvaras av proportionalitetsgränsen. Värden enligt DIN 1052 blev ologiska och dessa fick bortses ifrån.



Figur 3.20 Framtagning av värden enligt DIN, EN1193 och linjära värden. (Colling, 2000)

En beräkningsmodell togs fram för bärförmågan vinkelrätt fibrerna:

Total bärförmåga = bärförmåga trä + bärförmåga av effektiva skruvar

$$\begin{aligned}
 F_{c,90} &= F_{c,90,H} + k_A \cdot n_{ef} \cdot F_{D,S} \\
 &= f_{c,90} \cdot A + k_A \cdot n_{ef} \cdot F_{D,S}
 \end{aligned}$$

Figur 3.21 Beräkningsmodellen. (Colling, 2000)

$F_{c,90,H}$  = träets kapacitet vid gränsvärde enligt EN 1193 (kN)

$F_{D,S}$  = skruvens maximala bärförmåga utan skruvhuvud (kN)

$k_A$  = koefficient beroende på det belastande materialet,

$k_A = 1,0$  för hårda material, t ex stål och betong

$k_A = 0,75$  för mjuka material, t ex trä

$n_{ef}$  = antal effektiva skruvar (st), se nedan

$f_{c,90}$  = spänningen vid gränsvärde enligt EN 1193 (MPa)

$A$  = belastningsarea ( $m^2$ )



Antalet effektiva skruvar beräknades m h t minsta arean som behövs för att en skruv ska ha full förstärkningseffekt. Formeln nedan användes till detta.

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} 6 \\ \frac{b \cdot l_A}{450 \cdot d_S} \end{array} \right.$$

Figur 3.22 Antal skruvar. (Colling, 2000)

$b \cdot l_A$  = belastningsarea (m<sup>2</sup>)

$d_S$  = diameter skruv (m)

Värdet 450 är framtaget utifrån att 4 skruvar bär hela belastningsarean men om skruvarna blir fler så tillgodoräknas inte alla. Detta bygger på att lasten sprids ner i träet med hjälp av gängorna och om skruvarna står för tätt så bidrar de inte med hela sin kapacitet.

Förstoringsfaktorerna för syllförsöken visade att förstoringseffekten är lika stor för 4 och 9 skruvar. Förstoringsseffekten var mindre för trä med högre densitet eftersom det redan har hög styvhet utan förstärkning. Förstoringsfaktorn enligt linjära värden blev 1,6, dvs en förstärkning uppnåddes med 60%.

För upplagsförsöken blev förstoringfaktorn högre för fallet med 9 skruvar än med 4 skruvar. Med linjära värden blev förstoringfaktorn 1,47 resp 1,61 med densiteten 400kg/m<sup>3</sup>. Med värden enligt EN 1193 blev förstoringfaktorn 1,64 resp 1,87.

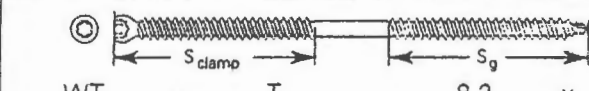
Försöken visade även att högre förstoringfaktorer nås för hårda upplag, t ex på en stålplåt jämfört med mjuka upplag, t ex en träpelare.

## 4. Beskrivning av försöken

### 4.1 Inledning

Undersökningen går ut på att ta reda på om man kan förstärka limträ vid tryck vinkelrätt fibrerna med träskruvar. Uppdragsgivaren, Arne Emilsson, Limträteknik, hade valt ut skruvar av typ SFS WT-T-8,2xL vilka vanligtvis används till att sammanfoga trästycken. Motivet till detta val var följande;

- De har litet vridmoment för idragning vilket gör att endast enkla verktyg krävs.
- De är lätta att skruva till rätt djup.
- De är standardprodukter.
- Skruvidragning går snabbt.
- De är relativt billiga.
- De spräcker ej virket (är självborrande).
- De är stiftformade (ej koniska) vilket gör dem justerbara i djupled.

SFS WT-T-8.2 x L fastener range								
Type	Material T = carbon steel	Diameter (mm)	Length (mm)	$S_{clamp}$ (mm)	$S_g$ (mm)			
								
WT	-	T	-	8,2	x	160	65	65
WT	-	T	-	8,2	x	190	80	80
WT	-	T	-	8,2	x	220	95	95
WT	-	T	-	8,2	x	245	107	107
WT	-	T	-	8,2	x	300	135	135

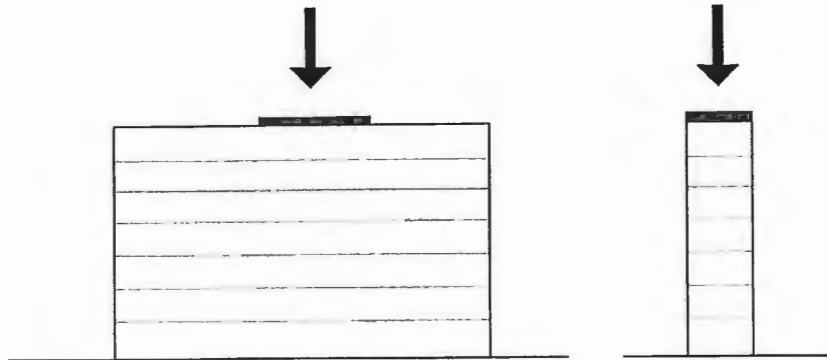
Figur 4.1 SFS WT-T-8,2xL

Tre olika skruvlängder valdes ut; 160, 220 och 300mm med förhoppningen att interpolation kan ske mellan dessa och att resultaten kan användas på de andra två längderna. Skruvarnas diameter var 8,2mm. Försöken utfördes på limträstycken L40 av dimension 90x315 mm, utvald pga det är en standarddimension som Limträteknik använder. Blocken som leverades var 0,5m långa. Limträlamellerna var limmade med melaminlim som är för utomhusbruk och kallas u-lim. Belastning påfördes dels med en stålplatta, dels med en träplatta där lastriktningen var parallell med fiberriktningen i belastningplattan. Detta skulle simulera olika knutpunkter i limträtakstolar.

### 4.2 Försöksuppställningar

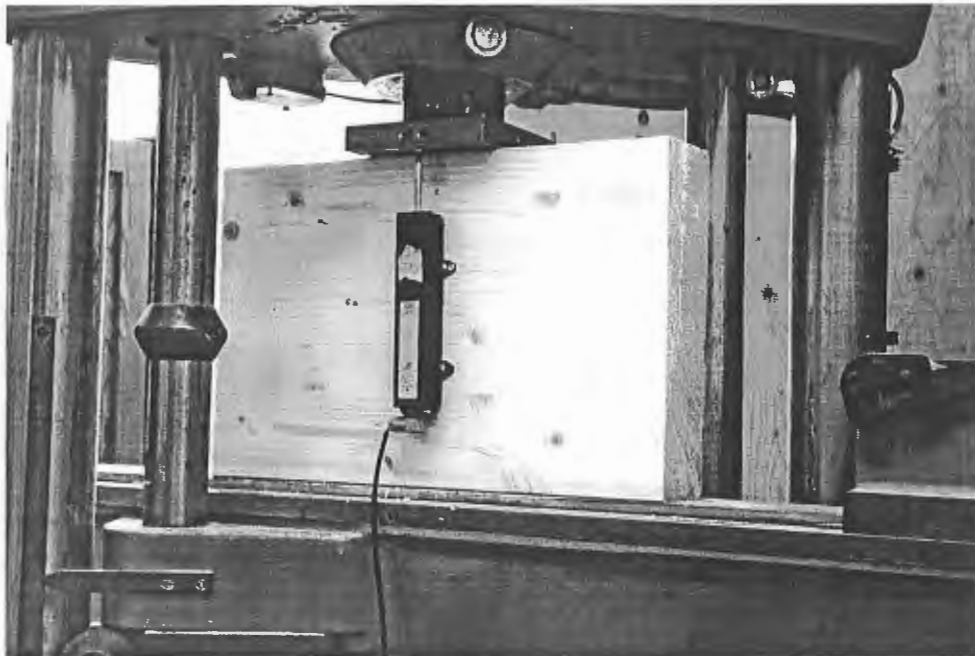
#### 4.2.1 Försök med belastning av trä mot stål och trä mot trä

För att ha värden att utgå ifrån och jämföra med värden från förstärkt trä så utfördes tre försök där trä belastades med en stålplatta, 90x150x10mm och tre försök där trä belastades med en träplatta, 90x150x16mm. Från början var det tänkt att använda plattor med måtten 90x315mm för att simulera en korsningspunkt med lika stora limträbalkar sammanfogade men det var viktigt för försöken att belastning utfördes på någorlunda kvistfria ytor så därför fick längden minskas.



Figur 4.2 Försöksuppställning med stålplatta.

Samma plattor användes i alla försöken. I försöken användes tre givare för att mäta deformationen, dels givaren i maskinen, dels två givare placerade på var sida om trästycket. De extra två givarna mätte deformationen över 107mm mätt uppifrån. De användes för att kontrollera vinkeländringen vid belastning så att plattan inte lutade alltför mycket. I senare försök placerades de yttre givarna så att de mätte över hela längden och ytterligare tvåförsök med träplatta och två försök med stålplatta utfördes.



Figur 4.3 Belastning av träbit i MAN Universalprovningmaskin



Figur 4.4 Vy från sidan.

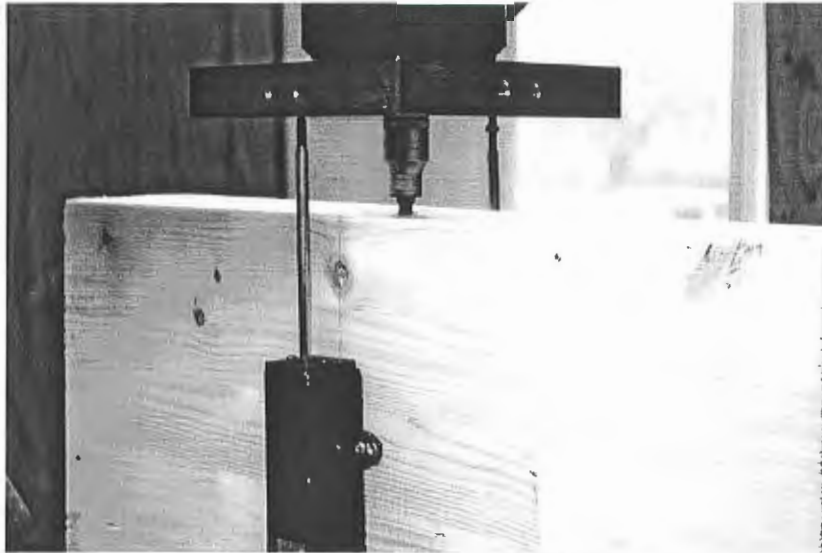
#### 4.2.2 Försök med belastning av 220mm skruv mot stål och mot trä

I de inledande försöken bestämdes hur stor inverkan en skruv hade, eller skruvens bidrag till bärförmågan i tryck vinkelrätt fibreerna.

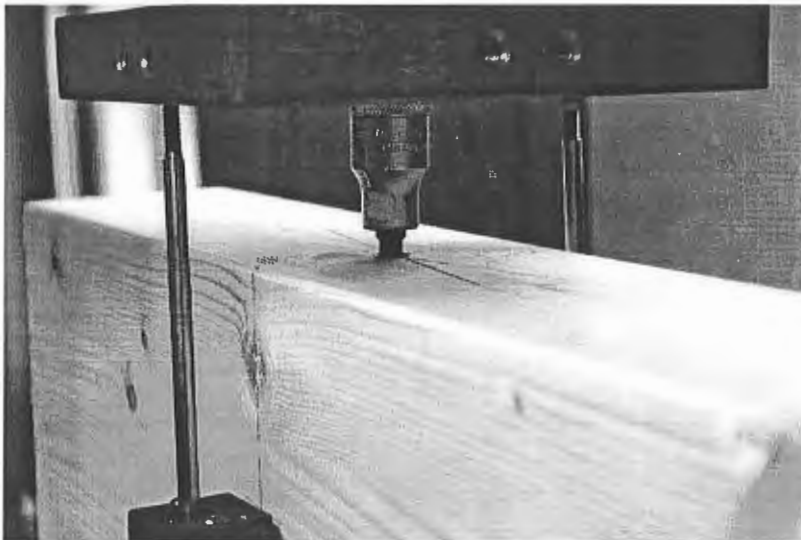
Skruvarna skruvades i träet med hjälp av en pelarborrmaskin. Test utfördes i en MAN universalprovningmaskin. Sex trästycken som hade en 220mm skruv provtrycktes. Trästycket belastades dels med stålplattan, dels med en träplatta (se figur 4.4).

#### 4.2.3 Försök med belastning på skruven

För att kunna bortse ifrån eventuella variationer i träets hållfasthet så gjordes försök där endast skruven belastades. 18 skruvar provtrycktes, sex av varje skruv. Last påfördes skruvhuvudet med en torx-hylsa, T40. En stålcyllinder provades först för att överföra lasten men den var inte stabil och deformerades vid belastning. Sedan användes en bit till en borrmaskin men den var för smal så det blev ingen stabilitet vid provning. Biten från hylsnyckelsatsen visade sig vara stabilast och gav ett tryck rakt på skruven. Skruvarna placerades tre och tre i varje trästycke med samma avstånd emellan.



Figur 4.5 Skruven belastas med en torx-hylsa i MAN Universalprovningmaskin.

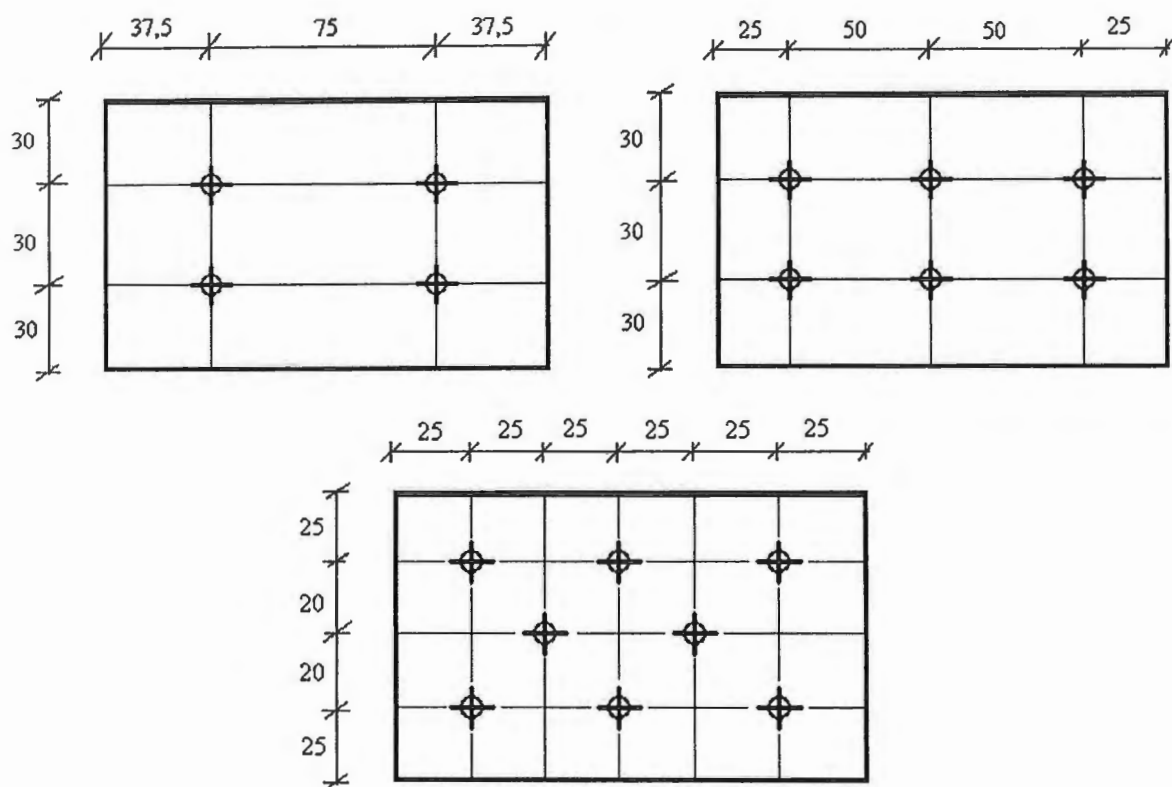


Figur 4.6 Närbild

#### 4.2.4 Försök med flera skruvar

För att finna ett samband mellan skruvtäthet och bärförmåga så utfördes försök på belastning av skruvgrupper om 4, 6 och 8 skruvar, se figur 4.7. I litteraturen finns endast fastställt cc-avstånd mellan skruvar för skruvar i dragning. Enligt Carling ska avståndet vara  $4d$  respektive  $7d$  mellan skruvarna. Minsta avstånd till fri kant är  $2d$ . Enligt en undersökning gjord av professor Colling, FH Augsburg 1999, så är ett lämpligt avstånd för skruvar i tryck  $7d$  i fiberriktningen och  $3d$  tvärs fibrerna. Minsta avstånd mellan skruvar har här valts till ca  $6d$  i fiberriktningen,  $3d$  tvärs fibrerna och minsta avstånd till fri kant  $2d$ . Med dessa förutsättningar kan snittet ta 8 skruvar. Endast en skruv testades, 220 mm, eftersom den visade sig mest effektiv (se kap 7.2). En nedsänkning av skruvarna på ca 2mm eftersträvades eftersom det hade gett bäst resultat tidigare. Det är dock mycket svårt att borra så exakt och nedsänkningen varierar därför från 2 till 4mm. Belastning påfördes dels med en stålplatta, dels med en träplatta. Deformationen mättes som tidigare dels med de yttre givarna som mätte över 107 mm från angreppspunkt och dels med en givare i lastcellen som mätte över hela höjden. Försöken inleddes med att 3 försök av varje skruvkombination testades på detta sätt. Sedan

gjordes ytterligare en försöksserie med 3 försök av varje, där deformationen mättes över hela längden, dels med ett par yttre givare placerade med magnetstativ utanpå provningsmaskinen, dels med givaren i lastcellen. På detta sätt kunde man kontrollera tillförlitligheten på givaren i lastcellen som använts i tidigare försök, eftersom de yttre givarna hade större noggrannhet.

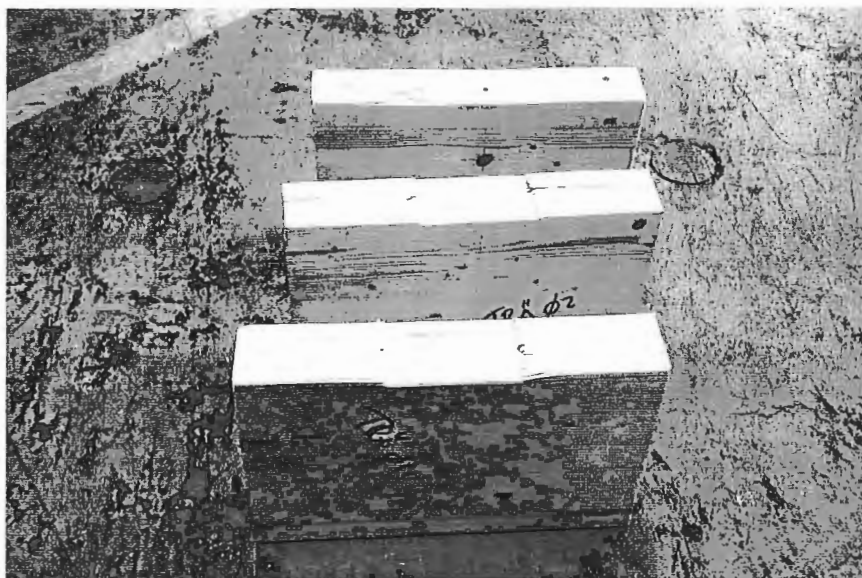


Figur 4.7 Skruvkompositioner

## 4.3 Försöken

### 4.3.1 Försök med belastning av trä mot stål och trä mot trä

Vid de första tre försöken på enbart trä mot en stålplatta blev det en nedsänkning i träet med brott som följde i kanterna när träflisor brast. Träet belastades tills deformationen blivit ca 10mm pga att vid denna deformation så har man kommit en bra bit förbi proportionalitetsgränsen som ligger vid ca 1mm deformation. Kvarstående deformation blev ca 5mm. Det första trästycket brast i ändarna på trästycket men detta belastades upp till 13mm deformation. Ingen synlig sprickbildning fanns i trästycke nummer två. Det tredje trästycket hade en lokal försvagning precis under plattan, en spricka där kåda ansamlats. Vid belastning av trästycken med en träplatta uppvisades samma beteende. Det första trästycket fick en spricka under lastarean vid belastning. Det andra trästycket sprack upp på sidorna. Det tredje trästycket var starkast, antagligen beroende på att det innehöll många kvistar. De senare fyra försöken med givare som mätte över hela längden uppvisade inga sprickor och belastningsarean valdes för att undvika kvistar som ökar hållfastheten.



Figur 4.8 Tre försöksbitar efter belastning.

#### 4.3.2 Försök med belastning av 220mm skruv mot stål och mot trä

Vid belastning av de tre styckena som hade en skruv med en stålplatta fanns ingen synlig sprickbildning eller försvagningar i träet. I dessa fall noterades nedsänkningen av skruvhuvudet som hade skett vid borrningen. Detta värde blev 4,5, 5,4 samt 6,5mm. Kvarstående nedsänkning av skruvhuvudet efter deformation noterades också. Detta blev 4, 3 respektive 4,4mm. Dessa försök på tre trästycken med en 220mm skruv mot en stålplatta upprepades pga nedsänkningen av skruvhuvudet i de första försöken. Nedsänkningen minimerades i tre nya försöken och låg på 0-2mm. Resultatet blev trots detta en kvarstående nedsänkning av skruvarna med ca 3mm. Vid belastning av skruven mot en träplatta blev det istället en upphöjning av skruven efter belastning. Skruven går upp i träplattan och gör avtryck i denna. Skillnaden mellan nedsänkning innan och upphöjning efter var ca 4mm på ca 9mm total deformation. Skruvarna var raka även efter belastning.

#### 4.3.3 Försök med belastning på skruven

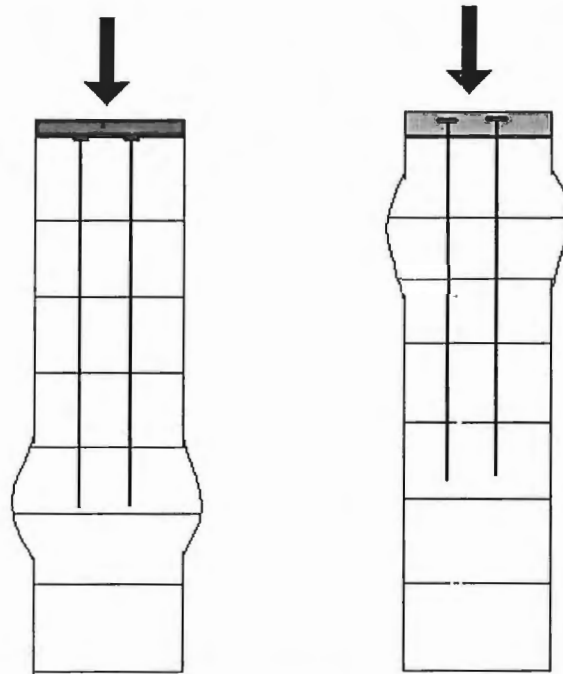
Skruvarna belastades upp till 8-10mm deformation. Under försöken förskjöts skruvhuvudet på de längre skruvarna (220mm och 300mm) i sidled. Endast den kortare skruven trycktes rakt ned i träet. Efter försöken togs två skruvar ut ur träet, en 220mm och en 300mm. En krökning kring en axel hade skett på skruvarna ca 2 cm under toppen av skruvhuvudet. Krökningen var lika stor och på ungefär samma plats på båda skruvarna. Skillnaden var att krökningen var lite vriden kring en andra axel på 300mm skruven, vilket kan bero på att dessa var synbart skeva innan försöken.



Figur 4.9 Skruvar 220mm och 300mm efter belastning.

#### 4.3.4 Försök med belastning av skruvgrupper

Vid belastning av skruvgrupper med en stålplatta konstaterades att den synliga deformationen skedde vid skruvspetsarna i träet. Där kunde man se en utbuktning av träet på båda sidor om limträbiten. Spänningskoncentrationerna låg alltså kring 220mm ner från belastningspunkten. En kvarstående nedsänkning av skruvhuvudena motsvarande den vid belastning av en skruv mot en stålplatta noterades också. Då skruvgrupperna belastades med en träplatta uppvisades även här samma beteende som vid belastning av en skruv, nämligen att skruvhuvudena gick upp i träplattan vid belastning. Dessutom var det tydligt att spänningskoncentrationerna låg ca 2-3cm under belastningspunkten eftersom här syntes en utbuktning av träet.



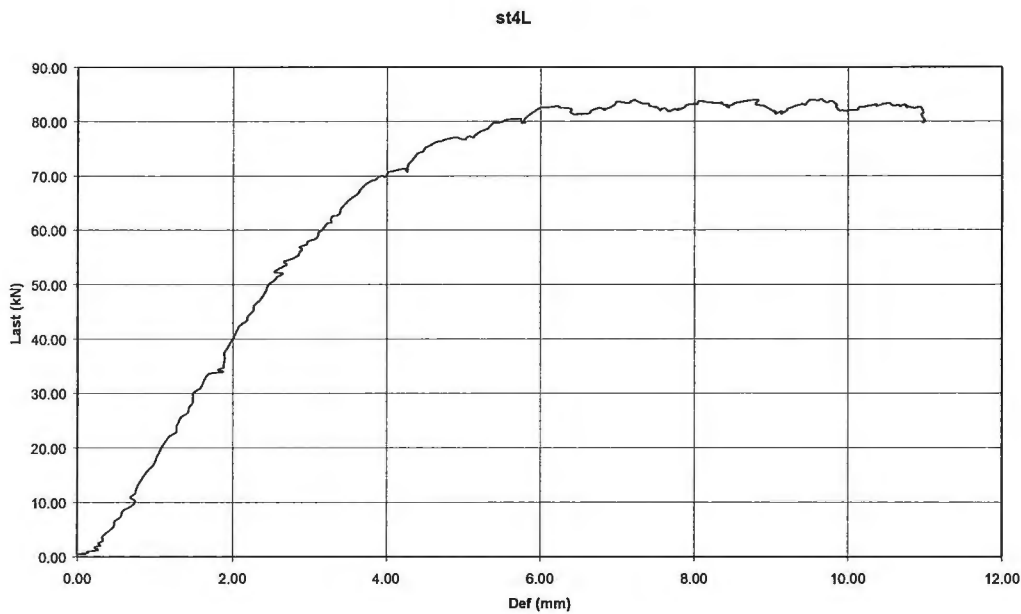
Figur 4.10 Synlig deformation vid belastning av skruvgrupper. Första fallet belastning med stålplatta, andra med träplatta.



## 5. Resultat

### 5.1 Försök med belastning av en skruv och bara trä mot stål

Data från försöksmaskinen togs upp i Excel och kurvor uppritades. Värden på deformationen kom från tre givare, en placerad i maskinen och två extra som endast mätte deformationen över 107mm i de första försöken och över hela längden i de senare.



Figur 5.1 Last-deformationssamband för limträ belastat med en stålplatta med värden från yttre givare som mätte över hela längden.

Kurvorna visar lasten som funktion av medelvärdet av de två extra givarna, se figur 5.1. I resultatfilen är skillnaden mellan maskinens givare och de två extra givarna liten, endast ca 2mm, vilket visar att huvuddelen av deformationen sker i den översta biten av träet. Detta gäller vid belastning av bara trä samt trä med en skruv mot stål- och träplatta. De extra givarna är mer noggranna pga ett antal felkällor i givaren i lastcellen.

När man använder flera skruvar som förstärkning blir dock lastspridningen större. Då kan man inte använda givarnas värden. Därför uppritades även kurvor med lasten som funktion av givaren i lastcellen för en korrekt jämförelse. I de senare försöken användes de yttre givarna eftersom de mätte över hela längden.

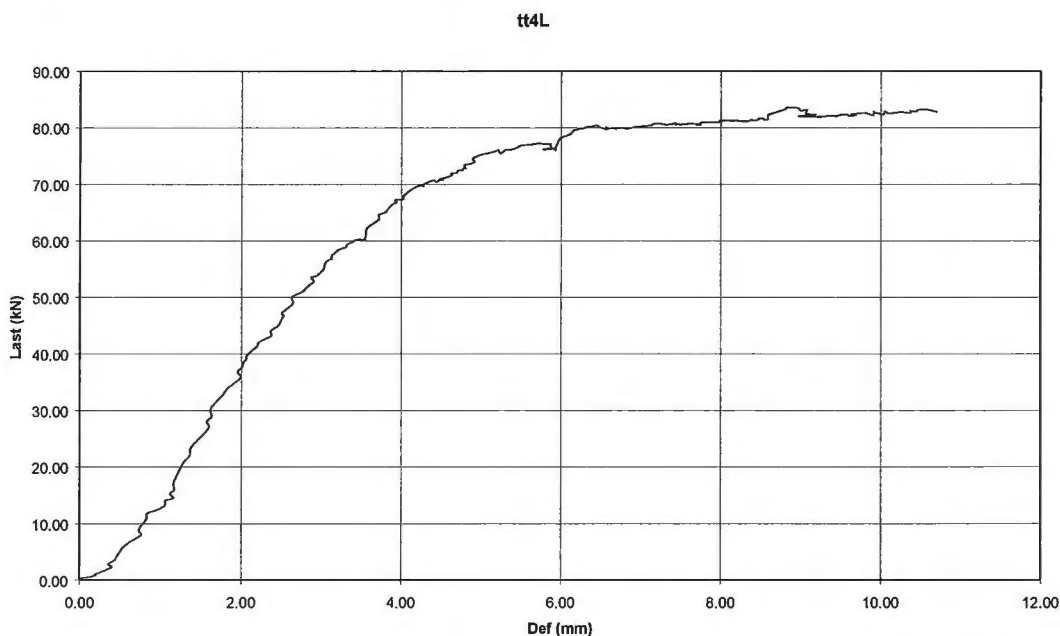
Skillnaden mellan de två extra givarna var också liten, mindre än 1mm. Vinkeländringen vid belastning är alltså liten.

Resultaten ställdes samman och återfinns i bilaga 2, 5, 6a och 7a. Proportionalitetsgränsen,  $P_g$ , som fastställts är som namnet antyder gränsen där proportionaliteten upphör, dvs värden där det linjära sambandet upphör. Den första delen av kurvan kan tolkas som en rät linje och där denna räta linje upphör sker avläsning på y-axeln (Last) och x-axeln (deformation), se figur 5.1 för exempel på kurva. Det är viktigt att den räta linjen går genom origo så om detta inte är fallet måste kurvan parallellförflyttas. Proportionalitetsgränsen,  $P_g$ , låg kring 45 kN för både fallet utan skruv och med skruv vid mätning med givarna i lastcellen. Inte heller vid 2mm deformation kan någon märkbar skillnad utläsas. Först vid 4-6 mm kommer en synbar

lastökning pga av skruven. Detta motsvarar nedsänkningen av skruven i träet. När effekten kom bidrog skruven med mellan 10 och 20 kN. Försök gjorda med skruven så nära ytan som möjligt, 0-2mm nedsänkning, gav lägre bärförmåga än träet självt. Dessa resultat används därför inte i kurvorna. Förklaring till detta fenomen saknas men man kan konstatera att effekten är beroende av skruvens nedsänkning i träet. En nedsänkning av ca 3mm verkade ge det bästa resultatet om man vill ha god effekt som möjligt.

### 5.2 Försök med belastning av en skruv och bara trä mot trä

Vid belastning av en skruv mot trä var nedsänkningen av skruvhuvudet 2-3mm. I detta fall kan man ej påvisa någon märkbar förstärkning med en 220mm skruv. Skillnaden är störst (ca 2kN) mellan kurvorna från 2 till 4mm, därefter sammanfaller kurvorna. Att skillnaden mellan trä och trä förstärkt med en skruv är så liten kan bero på skillnader i träets lastkapacitet pga av olika många kvistar eller sprickor i träet.



Figur 5.2 Last-deformations samband för limträ belastat med en träplatta från värden mätta med yttre givare som mätte över hela längden.

### 5.3 Försök med belastning av skruven

Kurvor uppritades med värden från mätning med yttre givare som mätte över 107mm. Proportionalitetsgränsen inträffade vid ca 0,6mm deformation för alla skruvarna. Maxlast inträffade vid ca 2mm deformation för alla skruvarna. Se bilaga 8 och 9.

160mm skruven visade sig vara effektivast. Den tog mest last per gängad areaenhet, ca 19.5MPa, vilket var nästan dubbelt så mycket som 300mm skruven. 220mm skruven låg mittemellan, se bilaga 8 samt bilaga 11 för beräkning av gängad area. Att 160mm skruven var mest effektiv kan bero på att den var den enda skruven där skruvhuvudet ej förskjöts i sidled. Detta berodde i sin tur antagligen på att den kortare längden inte erbjöd lika stort motstånd. En initiell skevhet hade inte lika stor betydelse.

220mm skruven kunde ta mest last, ca 27,5kN vid belastning med torx-hylsa, men vid försöken med skruv + trä bidrog skruven endast med ca 20 kN. Detta berodde på att skruven och träet ej samverkar perfekt. Brottet blir dessutom inte detsamma om man endast belastar

skruven som om man belastar både skruv och trä. I det senare fallet förblir skruven rak och brottet består enbart i att cellfibrerna krossas av skruvens gängor.

Att skruvarna deformerades på samma ställe oavsett längd visar på att längden inte har så stor betydelse. Det är viktigare att skruvarna är raka från början.

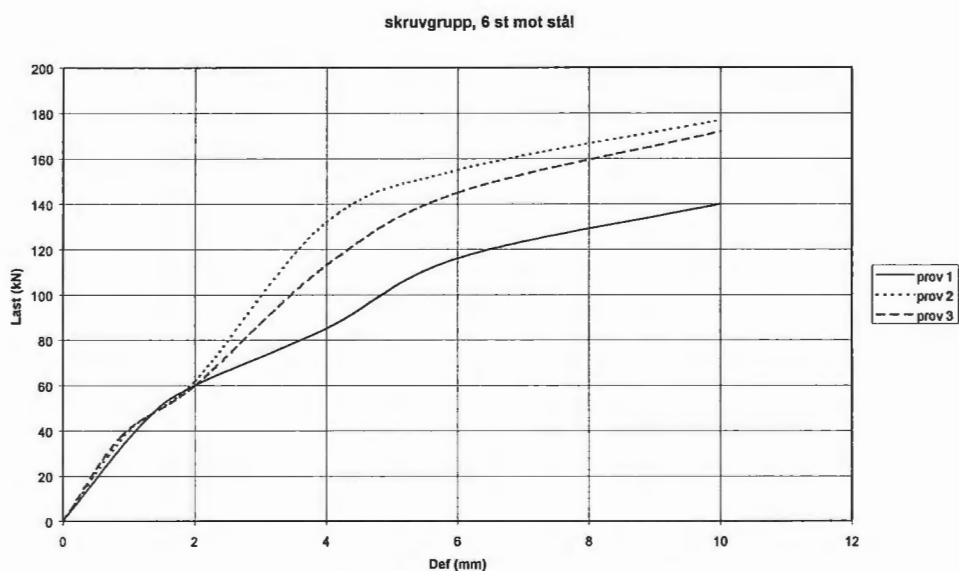
#### 5.4 Försök med belastning av skruvgrupper mot stål och trä

Vid belastning av skruvgrupper kunde man tydligt se vid försöken var spänningskoncentrationer infann sig (se figur 4.10, kap 4). Med skruvar som förstärkning sprider gängorna lasten ner genom träet och deformationen blir därmed spridd över ett större område. Den synliga deformationen är därför vilseledande eftersom man kan tro att i stort sett all deformation inträffar i detta område. Vid belastning av skruvgrupper var informationen från de yttre givarna ej längre användbar eftersom en stor del av deformationen inträffade utanför mätområdet pga lastspridningseffekten. Kurvor uppritades därför med hjälp av värden från givaren i lastcellen vid de första försöken och från yttre givare som mätte över hela längden i de senare.

I de inledande försöken gjordes tre tester på varje grupp, dels mot stål, dels mot trä. För att få en större säkerhet i resultaten utfördes ytterligare tre tester på varje grupp med yttre givare placerade så att de mätte över hela höjden. På detta sätt kunde jämförelse göras mellan givaren i lastcellen och de yttre givarna för att kontrollera att de stämde överens. Tyvärr var så inte fallet och eftersom de yttre givarna är mer tillförlitliga lades störst vikt vid dessa värden.

Skillnaden bestod främst i att lutningen på den linjära linjen i början av kurvan var mycket flackare för värdena från lastcellen. Detta ledde till att proportionalitetsgränsen inträffade senare för värdena från lastcellen än för värdena från de yttre givarna. Resultaten från lastcellen kan användas till att göra en inbördes jämförelse om förstärkningseffekten men inte till att plocka ut numeriska värden på t ex proportionalitetsgränsen.

Spridningen på värdena från försöken varierade och berodde på variationer i träet pga av kvistar och sprickor och på skillnader i nedsänkningen av skruvhuvudena samt på variationer i rakhet hos skruvarna, se figur 5.3.



Figur 5.3 Skruvgrupp om 6 skruvar mot stålplatta. Tre försök från mätning med yttre givare över hela längden.

## 5.5 Förstärkningsfaktorer

Vid framtagning av förstärkningsfaktorer användes värden på  $F_{c,90}$ . Dessa värden används i europeisk standard och man utgår här ifrån 1% av total plastisk deformation. Här används liksom i Collings rapport (Colling, 2000) ett värde som motsvarar 1% av hela höjden, dvs 3,15mm. Den linjära linjen i början av last-deformationskurvan parallellförflyttas fram till detta värde. Där den nya linjen skär den aktuella linjen läser man av lasten,  $F_{c,90}$  samt deformationen,  $u_{c,90}$ . Se bilaga 10.

Förstärkningsfaktorn fås genom att dividera värdet på  $F_{c,90}$  för den aktuella skruvkombinationen med värdet på  $F_{c,90}$  för trä utan förstärkning med samma belastningsplatta. Förstärkningseffekten för fallet med skruvgrupper mot stålplatta mätt från yttre givare blev ca 85% för 4 skruvar och ca 100% för 6 skruvar. Vid 8 skruvar blev förstärkningseffekten lika låg som för 4 skruvar. För fallet skruvgrupper mot träplatta mätt med yttre givare blev förstärkningseffekten ungefär samma för 4 och 6 skruvar (12% och 14%) men för 8 skruvar blev den det dubbla (26%), se motsvarande förstärkningsfaktorer i tabell 5.1.

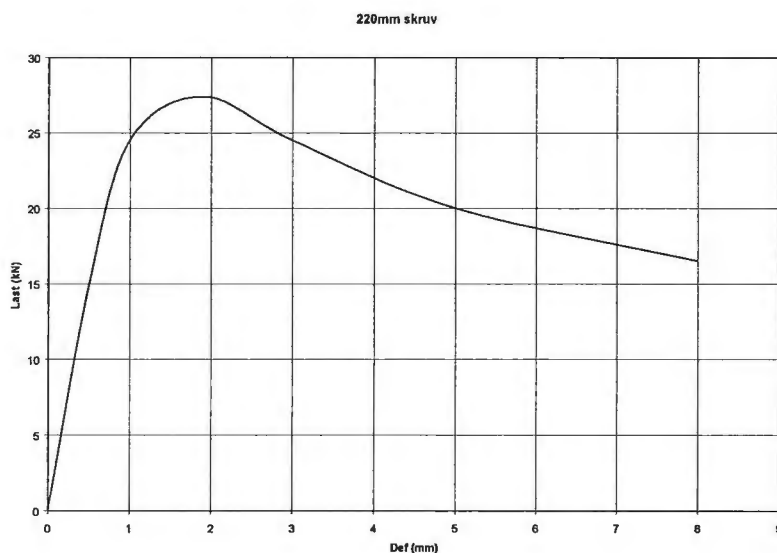
Med lastcellsvärdena blev motsvarande värden ungefär samma (9%, 17% och 25%) för 4, 6 och 8 skruvar. Mot stålplatta blev dessa värden 75%, 86% och 89%, alltså en större skillnad mellan 4 och 6 skruvar än mellan 6 och 8 skruvar, se motsvarande förstärkningsfaktorer i tabell 5.1. Eftersom lutningen på den linjära linjen är av stor betydelse för  $F_{c,90}$  så blir det skillnader mellan värden från de yttre givarna och värden från givaren i lastcellen.

	Givare		Lastcell	
	Trä mot stål	Trä mot trä	Trä mot stål	Trä mot trä
4 skruvar	1,86	1,12	1,75	1,09
6 skruvar	2,09	1,14	1,86	1,17
8 skruvar	1,84	1,26	1,89	1,25

Tabell 5.1 Förstärkningsfaktorer med olika skruvkombinationer och olika belastningsmaterial.

## 6. Beräkningsmodell

Resultaten av mätvärden från försöken användes för att ta fram en beräkningsmodell för att möjliggöra en uppskattning av antal skruvar som förstärkning för att uppnå en viss bärförmåga. Endast värden mätta med de yttre givarna användes för framtagandet av modellen, vilket innebär att endast tre mätvärden låg till grund för varje medelvärde i fallet med skruvgrupperna. För fallen där trä belastas utan förstärkning fanns 5 värden på varje medelvärde att tillgå. Beräkningsmodellen baserades på värden på  $F_{c,90}$  för träet och för skruvkombinationerna samt på maxvärden för skruvarna som belastats med torx-hylsa.



Figur 6.1 Maxvärde 220mm skruv, 27,5kN.

Collings (Colling, 2000) beräkningsmodell ligger till grund för denna modell, se kap 3.2.2. Colling använde också värden på  $F_{c,90}$  för skruvkombinationer samt maxvärden för skruvarna. Skillnaderna var att Collings maxvärden på skruvarna baserades på mätvärden från skruvar belastade utan skruvhuvud och att Collings modell införde begreppet antal effektiva skruvar som baserades på belastningsarean.

Aktuell modell:

$$F_{c,90} = F_{c,90,trä} + k \times n \times F_{D,S}$$

$F_{c,90}$  – Värdet på  $F_{c,90}$  för aktuell skruvkombination

$k$  – koefficient

$n$  – antal skruvar

$F_{D,S}$  – maxvärde på skruvar belastade med torx-hylsa

Givare				
Trä mot stål			Trä mot trä	
	$F_{c,90}$	$u_{c,90}$	$F_{c,90}$	$u_{c,90}$
trä	76	4,2	86	6,1
4 skruvar	141	7,2	96	6,0
6 skruvar	159	7,2	98	5,4
8 skruvar	140	6,4	108	5,3

Tabell 6.1 Värderna som ligger till grund för beräkningsmodellen

För att ta fram ett värde på den okända koefficienten,  $k$ , ställs modellen upp för de tre olika skruvkompositionerna. Ett medelvärde på  $k$  räknas sedan ut, dels för trä mot stål, dels för trä mot trä.

#### Trä mot stål

$$\begin{array}{l}
 F_{c,90} = 76 + k \times 4 \times 27,5 = 141 \\
 76 + k \times 6 \times 27,5 = 159 \\
 76 + k \times 8 \times 27,5 = 140
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 k = 0,59 \\
 0,50 \\
 0,29
 \end{array}
 \quad
 k_{med} = 0,46 \cong 0,5$$

#### Trä mot trä

$$\begin{array}{l}
 F_{c,90} = 86 + k \times 4 \times 27,5 = 96 \\
 86 + k \times 6 \times 27,5 = 98 \\
 86 + k \times 8 \times 27,5 = 108
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 k = 0,09 \\
 0,07 \\
 0,10
 \end{array}
 \quad
 k_{med} = 0,09 \cong 0,1$$

#### **Modellen:**

##### Trä mot stål

$$F_{c,90} = F_{c,90,trä} + 0,5 \times n \times F_{D,S}$$

##### Trä mot trä

$$F_{c,90} = F_{c,90,trä} + 0,1 \times n \times F_{D,S}$$

## 7. Slutsatser

### 7.1 Försöken

Svårigheterna med försöken har främst varit noggrannheten med vilket skruvarna skruvades i träet. Det var svårt att styra nedsänkningen av skruvhuvudena i träet och eftersom skruvarna var skeva från början blev de inte helt rakt iskruvade.

Nedsänkningen av skruvhuvudena visade sig vara viktigt för last-deformationssambandet då detta inverkade på när skruvarna skulle börja ge effekt. Att ha skruvhuvudena precis i ytan visade sig dock inte vara fördelaktigt varför en nedsänkning på 2-3mm eftersträvades.

Försöken visade att man är tvungen att placera givare så att de mäter över hela längden eftersom lastspridningseffekten gör att deformationerna sprids mer i träet och inte enbart sker i den övre delen som i fallet med belastning av enbart trä. Av detta skäl kunde inte alla värdena användas till beräkningsmodellen, vilket var tänkt från början.

Det är svårt vid den här typen av försök att få en entydig bild av förstärkningen eftersom faktorer spelar in som beror på olikheter i träet. Kvistar ökar hållfastheten betydligt vid belastning vinkelrätt fiberriktningen och sprickor med kåda kan minska hållfastheten. Limträ är dock bättre i detta avseende än konstruktionsvirke, där skillnaderna är större mellan olika provbitar. Man kan dra slutsatsen att det är bra med en så stor försöksserie som möjligt för att utjämna dessa fel. 6 prover av varje räckte för att kunna se avvikelser tydligt.

### 7.2 Resultaten

En tydlig förstärkningseffekt har uppnåtts med hjälp av skruven SFS WT-T-8,2xL. Målet med försöken var att finna en beräkningsmodell som bl a beaktade skruvlängd. Denna variabel togs bort och den bästa längden valdes ut eftersom det var tydligt att en längd var bättre än de andra. 160mm skruven var mest effektiv i försöken med torx-hylsa men det berodde i hög grad på att den var den enda skruven som ej kröktes vid belastning. Vid belastning med platta där både trä och skruv belastades förblev däremot alla skruvarna raka eftersom träet komprimeras och stagar upp skruvarna. I beaktande av detta så är 220mm skruven den mest effektiva.

Försök med skruvgrupper med denna skruv visade på en förstärkning på 75-109% för stålplattan som belastningsplatta och på 9-25% för träplattan med jämförelse av  $F_{c,90}$ -värden enligt EN 1193, se tabell 5.1. Både vid mätning med yttre givare och med lastcell kunde man utläsa att fyra skruvar var den mest fördelaktiga skruvgruppen vid belastning med stålplatta. I detta fall tog varje skruv 21,5 resp 18,8% av förstärkningen, se tabell 7.1. Detta värde minskar sedan med ökat antal skruvar. En bättre förstärkning uppnås med 6 skruvar även om varje skruv inte blir lika effektiv. Då kan man uppnå en förstärkning på 86-109% jämfört med en förstärkning på 75-86% med 4 skruvar, se tabell 5.1.

Vid mätning med yttre givare blev det en minskning i förstärkningseffekt från 6 till 8 skruvar. Detta kan förklaras med att det har varit skillnader i träets hållfasthet och skillnader i nedsänkning av skruvhuvuden. I fallet med belastning med träplatta fås något annorlunda resultat. Skruvarna är här ungefär lika effektiva oavsett antal skruvar i en skruvgrupp, se tabell 7.1. 8 skruvar är här mest fördelaktigt. Då kan en förstärkning på 25-26% uppnås, se tabell 5.1. Det kan konstateras att förstärkningseffekten blir större för belastning med stålplatta än för belastning med träplatta.

## Skruvarnas effektivitet (%)

	Givare		Lastcell	
	Trä mot stål	Trä mot trä	Trä mot stål	Trä mot trä
4 skruvar	21,5	3,0	18,8	2,3
6 skruvar	18,2	2,3	14,3	2,8
8 skruvar	10,5	3,3	11,3	3,1

Tabell 7.1 Skruvarnas effektivitet (%)

### 7.3 Vidare studier

För att bekräfta beräkningsmodellen skulle ytterligare försök kunna utföras på skruvgrupper med skruvlängder 160mm och 300mm. Försök med belastning av skruv utan skruvhuvud som Colling gjort i sina försök skulle kunna ligga till grund för en annan modell. Skruven i denna rapporten, SFS WT-T-8,2xL, var i modellen väl anpassad till den här typen av förstärkning eftersom den hade breda gängor i förhållande till diametern vilket ger ett bättre grepp och en bättre lastspridningseffekt. Dessutom var den kraftig och lång och gav därför bra effekt. Försök skulle kunna utföras på flera typer av skruvar i avsikten att ta fram en optimal skruv för ändamålet (förstärkning vid belastning vinkelrätt fibrerna). På skruven, SFS WT-T-8,2xL, fanns t ex en bit (ca 3cm) utan gängor som inte gav någon lastspridningseffekt.



## 8. Litteraturförteckning

Burchell, J. And Sunter, F. W, *Design and Build in Timber Frame*, Longman Scientific and Technical, 1987

Carling, Olle et al, *Dimensionering av träkonstruktioner*, AB Svensk Byggtjänst, Stockholm, 1992

Colling, Francois, *Erhöhung der Querdruckfestigkeit von Holz mittels selbstschneidenden Holzschrauben*, Rapport (G-99/19), FH Augsburg, 2000

Enockson, Per, Mårtensson, Annika, *Deformationer i hus med trästomme Inverkan av last, fukt och tid*, Rapport TVBK-7054, Avd för konstruktionsteknik, LTH, 1996

Eurocode 5, *Design of Timber Structures*, Document CEN/TC 250/SC 5:124, Trätek, Stockholm, 1995

European Standard, *Structural timber- Strength classes*, Draft prEN 338, CEN, Bryssel, 2000

Frater, George S, Thelandersson, Sven, *Bearing Performance of Dimensioned Lumber in a Platform Frame An Experimental Study*, Rapport TVBK-7053, Avd för konstruktionsteknik, LTH, 1996

Gehri, E, *Timber in compression perpendicular to the grain*, Rapport, Köpenhamn, 1997

Madsen, Borg *Behaviour of Timber Connections*, First Edition, Timber Engineering Ltd, 2000

Madsen, Borg *Structural Behaviour of Timber*, First Edition, Timber Engineering Ltd, 1992

Mårtensson, Annika, *Bearing Performance of Timber*, Avd för konstruktionsteknik, LTH, 1998

Petit, Carole, *Compression Perpendicular to the Grain*, Examensarbete, Avd för konstruktionsteknik, LTH, 2001

SIS Förlag AB, *Byggstandard*, CD ROM, 2000

Thorson, B. R, *Structural Design of Multi-storey Timber Buildings in Canada*, Proceedings, Pacific Timber Engineering Conference, pp. 105-108, New Zealand, 1989

## Översikt försök

<u>Typ av försök</u>	<u>Antal prover</u>
Trä mot stålplatta	5
Trä mot träplatta	5
Trä och 1 skruv mot stålplatta	6
Trä och 1 skruv mot träplatta	3
Trä och 4 skruvar mot stålplatta	6
Trä och 6 skruvar mot stålplatta	6
Trä och 8 skruvar mot stålplatta	6
Trä och 4 skruvar mot träplatta	6
Trä och 6 skruvar mot träplatta	6
Trä och 8 skruvar mot träplatta	6
160 mm skruv mot torx-hylsa	6
220 mm skruv mot torx-hylsa	6
300 mm skruv mot torx-hylsa	6

**Sammanfattning försök (givare)****Trä mot stålplatta**

Pg (kN)	Def (mm)	2mm def (kN)	4mm def (kN)	6mm def (kN)	10mm def (kN)
44	1,0	64	72	75,0	80
55	0,7	77	88	92,0	100
43	0,7	63	72	79,0	89
40	0,8	63	80	83,0	83
46	0,8	63	78	82,0	82

**Trä mot träplatta**

Pg (kN)	Def (mm)	2mm def (kN)	4mm def (kN)	6mm def (kN)	10mm def (kN)
33	0,6	66	75,0	78	85
30	1,0	41	48,0	53	58
50	0,8	87	102,0	105	105 kvistrik
36	1,5	45	73,0	80	85
47	1,6	53	85,0	100	110

**Trä+skruv 220mm nedsänkt ca 5mm mot stålplatta**

Pg (kN)	Def (mm)	2mm def (kN)	4mm def (kN)	6mm def (kN)	10mm def (kN)
45	0,6	70			110
44	0,6	70			105
43	0,6	70			110

**Trä+skruv 220mm nedsänkt 0-2mm mot stålplatta**

Pg (kN)	Def (mm)	2mm def (kN)	4mm def (kN)	6mm def (kN)	10mm def (kN)
34	0,7	67			96
26	0,6	57			75
27	0,6	67			75

**Trä+skruv 220mm nedsänkt 2-3mm mot träplatta**

Pg (kN)	Def (mm)	2mm def (kN)	4mm def (kN)	6mm def (kN)	10mm def (kN)
40	0,7	75			95
35	0,7	60			78
47	1,0	73			98

**Skruvgrupper, 4st mot träplatta**

Pg (kN)	Def (mm)	2mm def (kN)	4mm def (kN)	6mm def (kN)	10mm def (kN)
43	1,3	55	84,0	97,0	100
40	1,2	58	89,0	100,0	109
42	1,3	58	86,0	92,0	100

**Skruvgrupper, 6st mot träplatta**

Pg (kN)	Def (mm)	2mm def (kN)	4mm def (kN)	6mm def (kN)	10mm def (kN)
38	1,0	57	84,0	93,0	109
40	1,1	60	92,0	107,0	122
40	1,2	58	86,0	100,0	116

**Skruvgrupper, 8st mot träplatta**

Pg (kN)	Def (mm)	2mm def (kN)	4mm def (kN)	6mm def (kN)	10mm def (kN)
48	1,1	72	109,0	126,0	140
44	1,1	61	87,0	104,0	113
		61	88,0	103,0	120

**Skruvgrupper, 4st mot stålplatta**

Pg (kN)	Def (mm)	2mm def (kN)	4mm def (kN)	6mm def (kN)	10mm def (kN)
42	1,3	60	102,0	137,0	160
34	1,0	53	83,0	124,0	156
		50	110,0	138,0	158

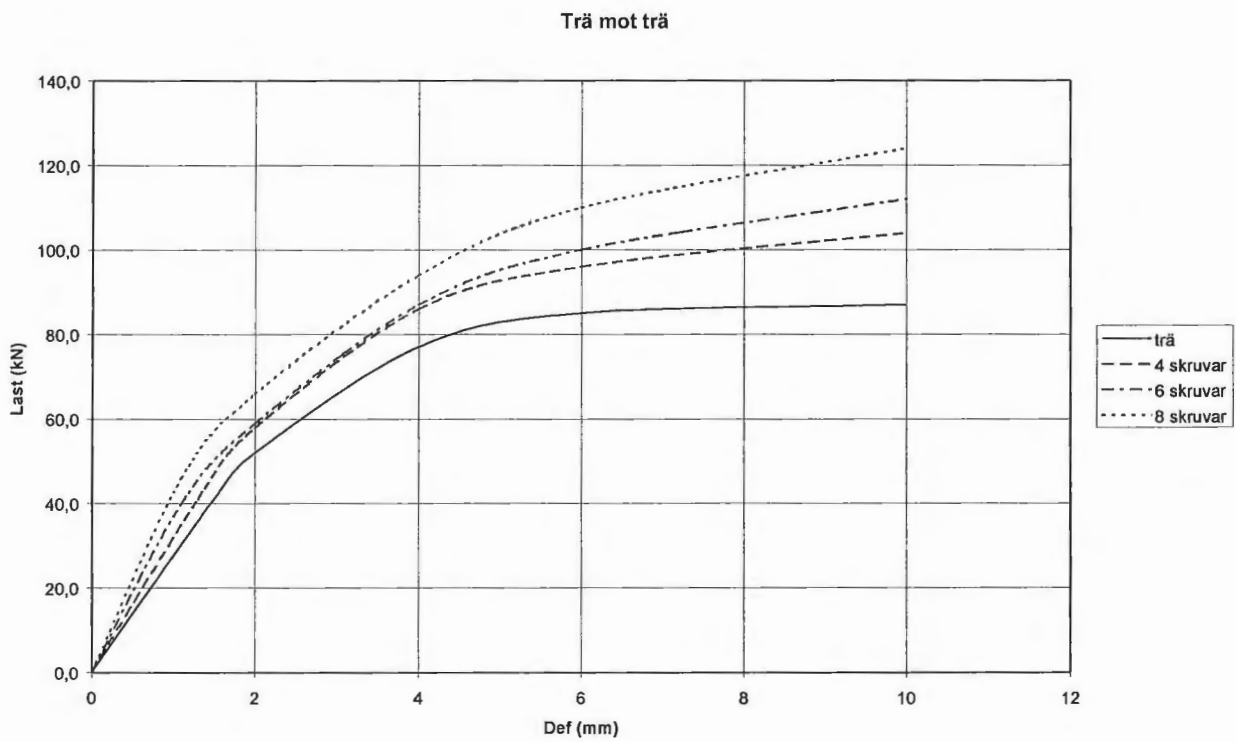
**Skruvgrupper, 6st mot stålplatta**

Pg (kN)	Def (mm)	2mm def (kN)	4mm def (kN)	6mm def (kN)	10mm def (kN)
43	1,2	60	85,0	116,0	140
40	1,0	62	132,0	155,0	177
38	0,9	60	113,0	145,0	172

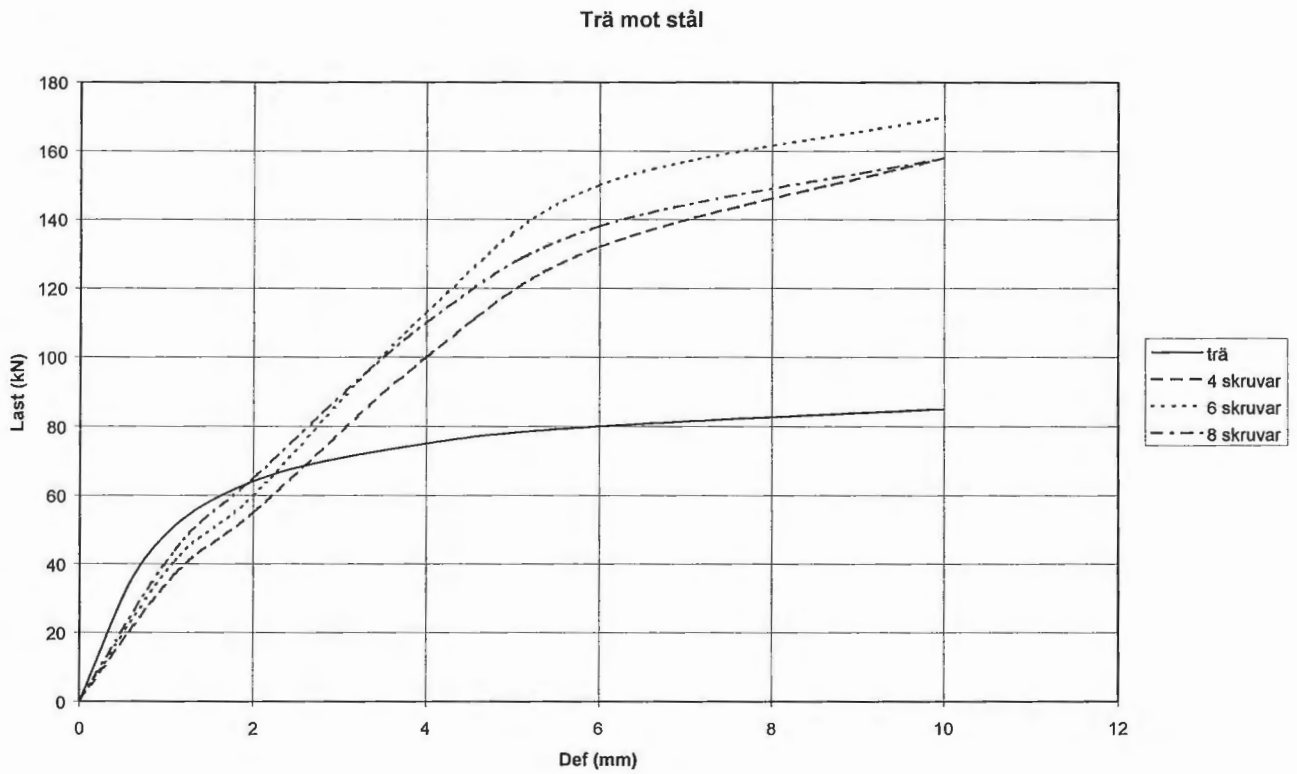
**Skruvgrupper, 8st mot stålplatta**

Pg (kN)	Def (mm)	2mm def (kN)	4mm def (kN)	6mm def (kN)	10mm def (kN)
40	1,0	67	106,0	132,0	148
48	1,1	70	112,0	138,0	152
		62	118,0	146,0	162

## Last-deformationssamband – skruvgrupper mot trä (givare)



## Last-deformationssamband – skruvgrupper mot stål (givare)



## Sammanfattning försök (lastcell)

### Trä mot stålplatta

Pg (kN)	Def (mm)	2mm def (kN)	4mm def (kN)	6mm def (kN)	10mm def (kN)
40	1,2	52	68	74	89
52	1,7	58	80	85	95
42	1,3	55	69	76	85
42	1,7	46	70	81	83
40	1,7	44	72	83	83

### Trä mot träplatta

Pg (kN)	Def (mm)	2mm def (kN)	4mm def (kN)	6mm def (kN)	10mm def (kN)
42	1,6	50	70	76	82
34	2,0	30	43	49	57
50	1,7	57	90	100	105
40	1,7	44	71	80	83
44	1,7	47	83	98	110

### Trä+skruv 220mm nedsänkt ca 5mm mot stålplatta

Pg (kN)	Def (mm)	2mm def (kN)	4mm def (kN)	6mm def (kN)	10mm def (kN)
46	1,3	59	76	85	110
46	1,4	55	75	77	107
48	1,6	55	74	83	110

### Trä+skruv 220mm nedsänkt 0-2mm mot stålplatta

Pg (kN)	Def (mm)	2mm def (kN)	4mm def (kN)	6mm def (kN)	10mm def (kN)
38	1,3	50	78	98,0	97
27	1,2	37	63	75,0	75
27	1,1	40	73	73,0	75

### Trä+skruv 220mm nedsänkt 2-3mm mot träplatta

Pg (kN)	Def (mm)	2mm def (kN)	4mm def (kN)	6mm def (kN)	10mm def (kN)
45	1,6	53	78	88,0	93
40	1,5	47	67	74,0	78
44	1,8	46	79	89,0	96

### Skruvgrupper, 4st mot stålplatta

Pg (kN)	Def (mm)	2mm def (kN)	4mm def (kN)	6mm def (kN)	10mm def (kN)
50	1,5	58	88	135,0	162
46	1,6	52	78	108,0	140
60	2,1	59	87	116,0	143
40	1,1	58	93	131,0	159
40	1,6	51	85	122,0	156
		40	100	137,0	158

**Skruvgrupper, 6st mot stålplatta**

Pg (kN)	Def (mm)	2mm def (kN)	4mm def (kN)	6mm def (kN)	10mm def (kN)
54	1,5	60	86	127,0	150
57	1,7	61	91	132,0	160
53	1,7	64	103	140,0	169
42	1,1	60	83	111,0	142
40	1,1	58	121	155,0	174
42	1,6	59	110	143,0	171

**Skruvgrupper, 8st mot stålplatta**

Pg (kN)	Def (mm)	2mm def (kN)	4mm def (kN)	6mm def (kN)	10mm def (kN)
52	1,7	64	118	160,0	183
55	1,5	62	107	140,0	162
50	1,4	63	109	142,0	162
44	1,1	62	103	135,0	148
57	1,5	62	103	138,0	151
40	1,4	54	108	142,0	161

**Skruvgrupper, 4st mot träplatta**

Pg (kN)	Def (mm)	2mm def (kN)	4mm def (kN)	6mm def (kN)	10mm def (kN)
50	1,6	56	84	94,0	100
49	1,6	55	79	90	95
50	1,5	59	99	105,0	110
45	1,6	51	84	96,0	100
42	1,3	54	88	98,0	107
46	1,6	53	82	92,0	100

**Skruvgrupper, 6st mot träplatta**

Pg (kN)	Def (mm)	2mm def (kN)	4mm def (kN)	6mm def (kN)	10mm def (kN)
48	1,2	60	88	100,0	110
50	1,4	62	90	100,0	115
40	1,1	60	90	108,0	115
47	1,6	52	80	94,0	108
55	1,7	57	89	106,0	123
50	1,6	56	87	100,0	117

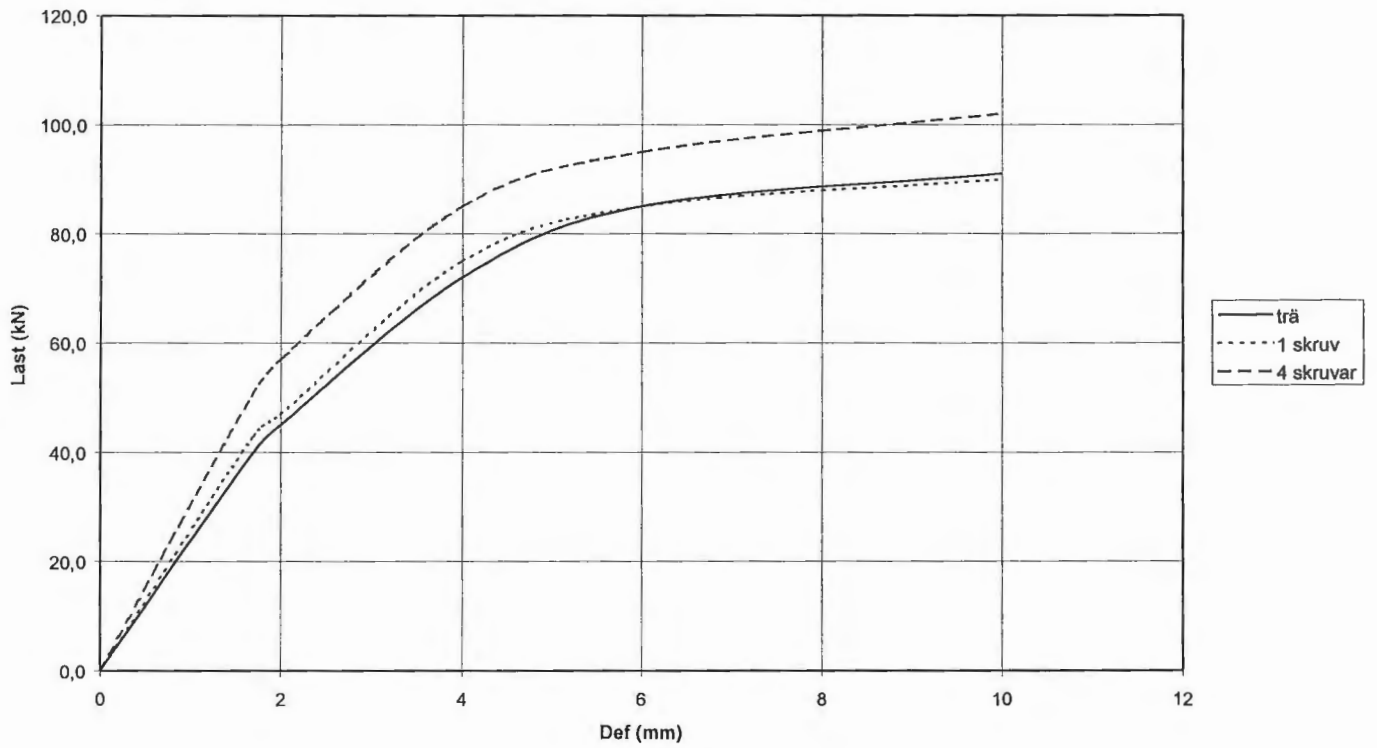
**Skruvgrupper, 8st mot träplatta**

Pg (kN)	Def (mm)	2mm def (kN)	4mm def (kN)	6mm def (kN)	10mm def (kN)
57	1,7	60	92	110,0	120
52	1,6	58	88	107,0	115
47	1,4	60	89	107,0	115
62	1,7	67,0	101	120,0	135
55	1,7	57,0	80	99,0	112
40	1,2	55,0	83	100,0	117



## Last-deformationssamband – 1 och 4 skruvar mot trä (lastcell)

Trä mot trä

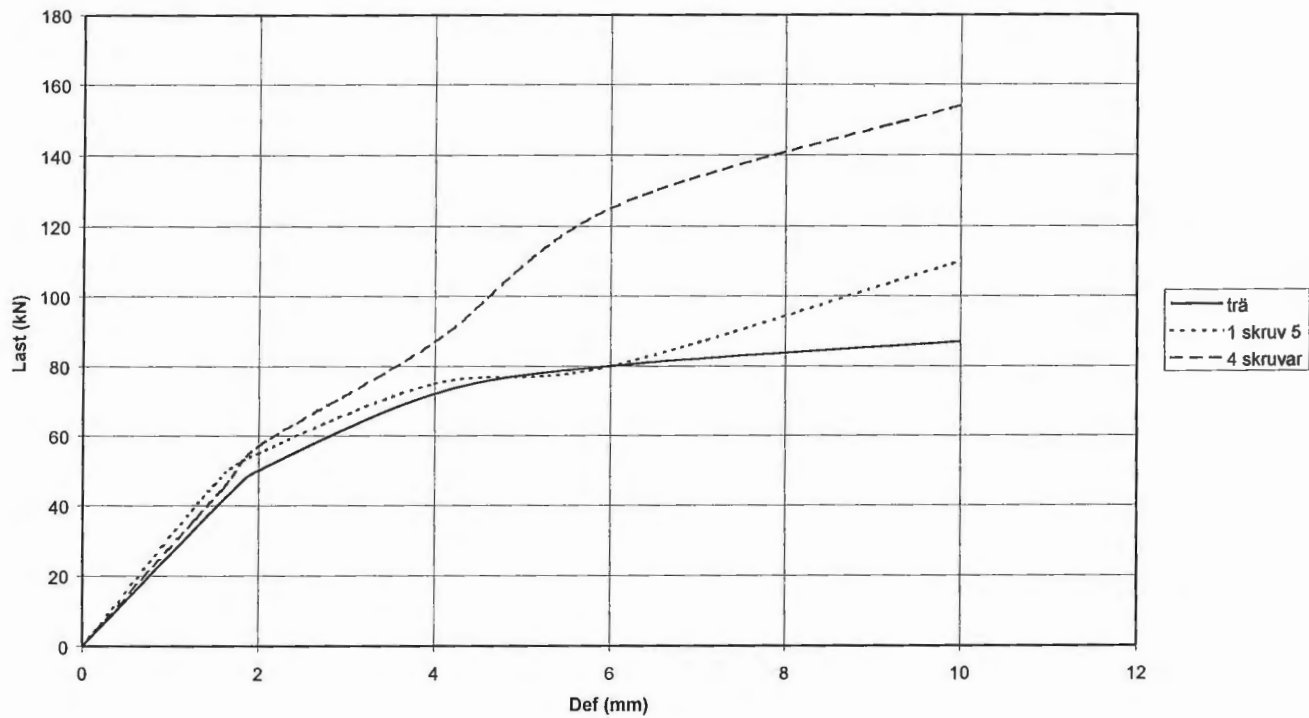


## Last-deformationssamband – skruvgrupper mot trä (lastcell)



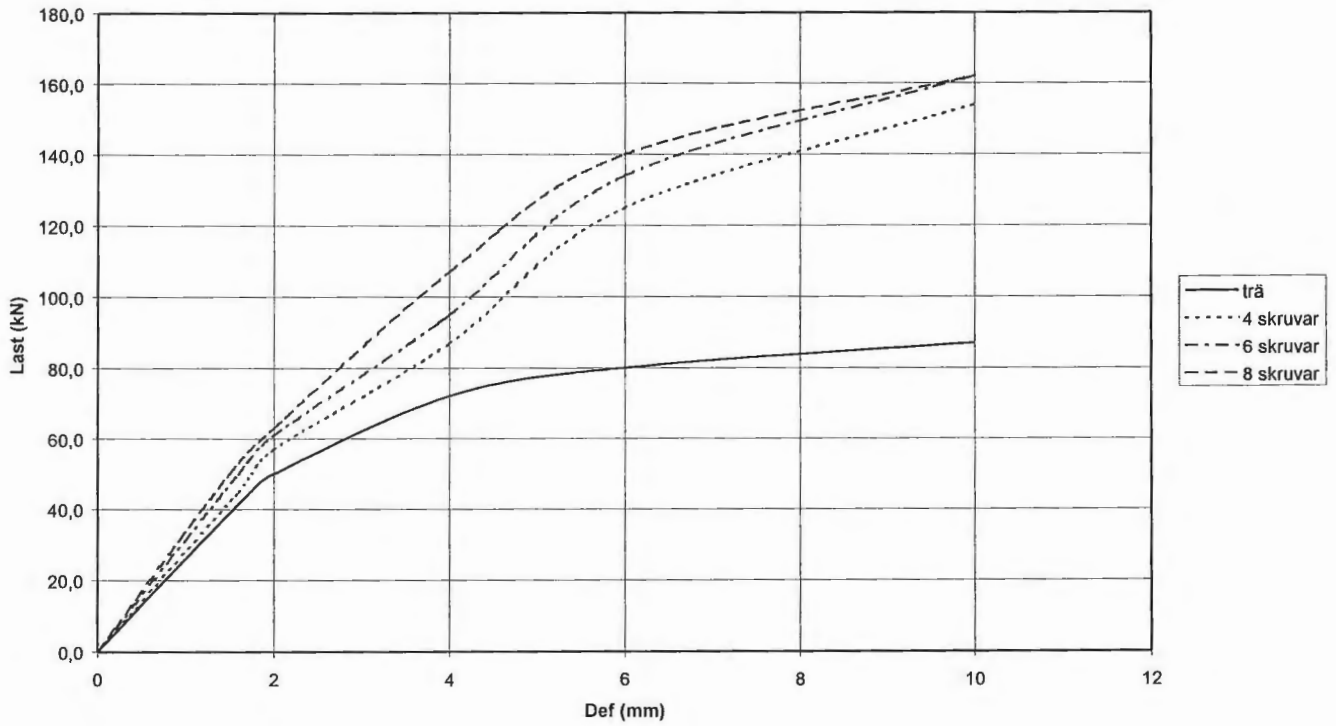
## Last-deformationssamband – 1 och 4 skruvar mot stål (lastcell)

Trä mot stål



## Last-deformationssamband – skruvgrupper mot stål (lastcell)

## Trä mot stål



## Sammanfattning försök (Skrubar mot torx-hylsa, värden från givare)

### Skrubar mot torx-hylsa

160mm

Pg (kN)	Pg (MPa)	Def (mm)	Max (kN)	Max (MPa)	Def (mm)	
17,5	14,2	0,6	24,0	19,5	2,3	
14,0	11,4	0,6	23,0	18,7	2,2	
15,0	12,2	0,6	25,0	20,3	2,0	
14,0	11,4	0,5	22,5	18,3	1,7	
14,0	11,4	0,7	24,0	19,5	2,0	
11,0	8,9	0,4	25,5	20,7	2,2	sned

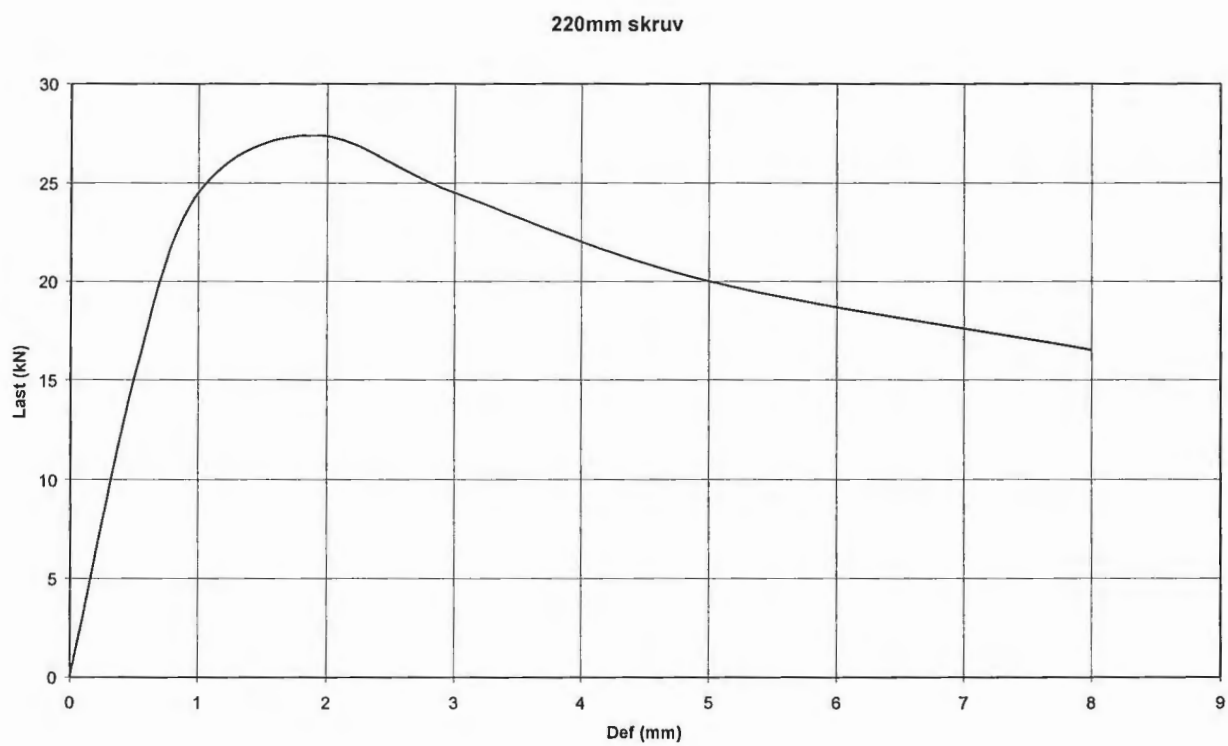
220mm

Pg (kN)	Pg (MPa)	Def (mm)	Max (kN)	Max (MPa)	Def (mm)	
15,0	8,2	0,7	27,0	14,8	1,9	sned
12,0	6,6	0,3	28,0	15,4	1,9	sned
15,0	8,2	0,6	27,0	14,8	1,7	sned
16,0	8,8	0,5	27,0	14,8	1,9	sned
16,5	9,1	0,5	27,0	14,8	1,7	sned
14,0	7,7	0,4	28,0	15,4	2,0	sned

300mm

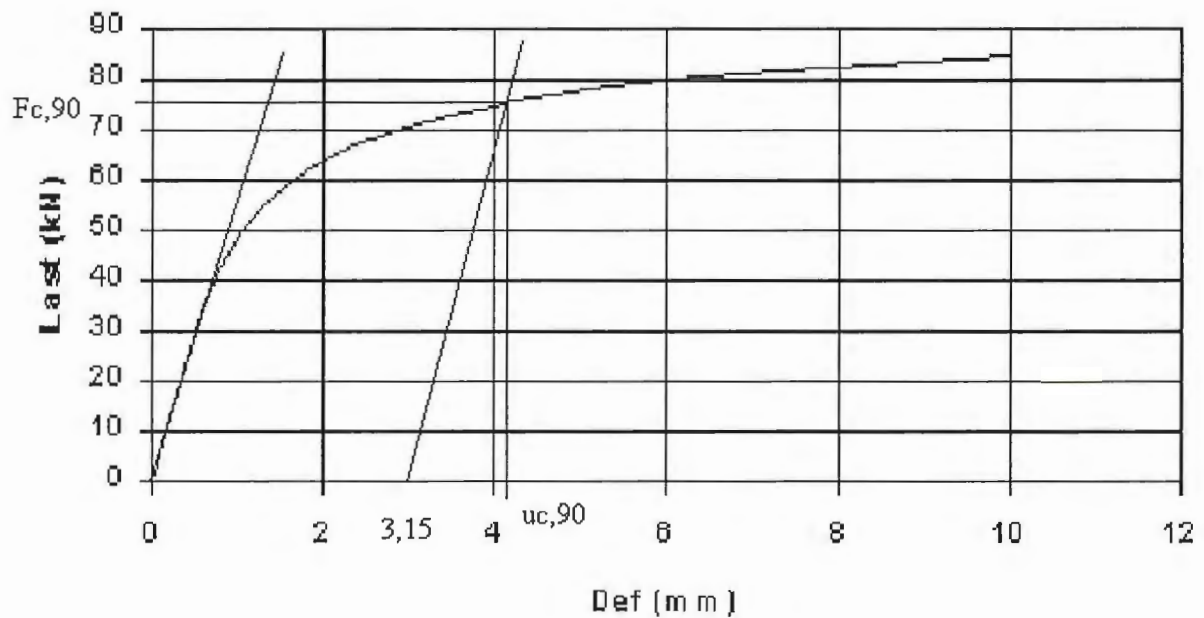
Pg (kN)	Pg (MPa)	Def (mm)	Max (kN)	Max (MPa)	Def (mm)	
15,0	5,7	0,8	26,0	9,9	2,0	sned
14,0	5,3	0,6	26,0	9,9	1,9	sned
15,5	5,9	1,0	24,5	9,4	2,1	sned
18,0	6,9	0,7	25,0	9,5	1,5	sned
15,5	5,9	0,5	27,0	10,3	1,8	sned
19,5	7,4	1,0	27,0	10,3	1,9	sned

## Last-deformations samband – 220mm skruv mot torx-hylsa



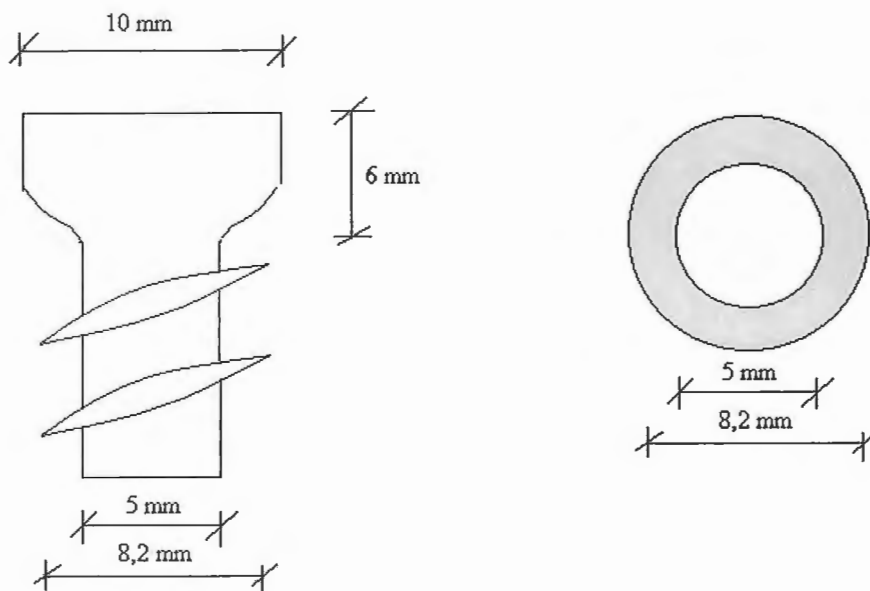
Bestämning av  $F_{c,90}$ 

## Trä mot stål



$F_{c,90}$  är ett gränsvärde som utgår ifrån 1% av total plastisk deformation. I praktiken kan man använda 1% av hela den belastade höjden. Provbitar med höjd 315mm ger gränsvärdet 3,15mm. Den rätta linjen som visar det linjära sambandet i början av kurvan parallell förflyttas fram till 3,15 och värden på  $F_{c,90}$  och  $u_{c,90}$  kan läsas av.

## Beräkning av skruvarea



3 gängor/cm, ca 3cm utan gängor

160mm 37 gängor

220mm 55 gängor

300mm 79 gängor

Area gänga

$$A = \pi \times 0,0082^2 / 4 - \pi \times 0,005^2 / 4 = 3,32 \times 10^{-5} \text{m}^2$$

Total area

160mm  $1,23 \times 10^{-3} \text{m}^2$

220mm  $1,82 \times 10^{-3} \text{m}^2$

300mm  $2,62 \times 10^{-3} \text{m}^2$