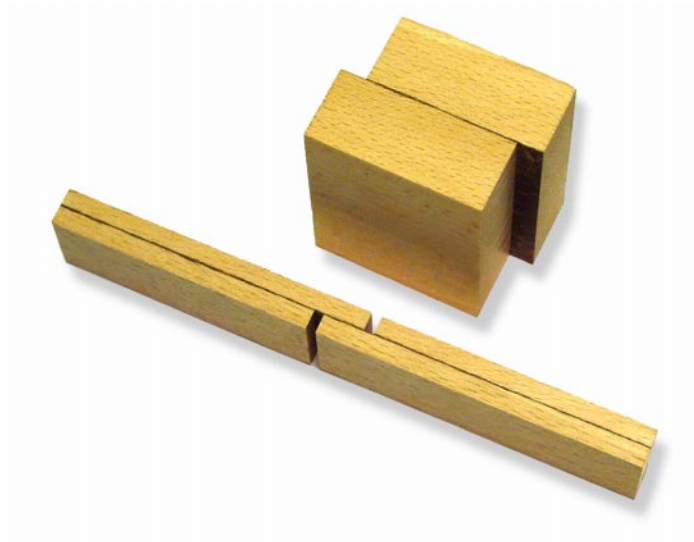




**LUND**  
UNIVERSITY



# EXPERIMENTELL UNDERSÖKNING AV PROVKROPPAR FÖR TRÄLIMFOGAR

STEFAN KARLSSON och MICHAEL WONG

Structural  
Mechanics

*Master's Dissertation*



# Structural Mechanics

ISRN LUTVDG/TVSM--04/5126--SE (1-67)

ISSN 0281-6679

## EXPERIMENTELL UNDERSÖKNING AV PROVNINGSMETODERNA EN302-1 OCH ASTM D905 FÖR TRÄLIMFOGAR

Examensarbete utfört av  
Stefan Karlsson och Michael Wong

Handledare

Erik Serrano och Per Johan Gustafsson, Avd. f. byggnadsmekanik  
Björn Källander, SP Bygg och Mekanik, Träteknik och träbyggande

Copyright © 2004 by Structural Mechanics, LTH, Sweden.  
Printed by KFS i Lund AB, Lund, Sweden, June 2004

For information, address:  
Division of Structural Mechanics, LTH, Lund University, Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden.  
Homepage: <http://www.byggmek.lth.se>



## **Förord**

Denna rapport är resultatet av examensarbetet EXPERIMENTELL UNDERSÖKNING AV PROVNINGSMETODERNA EN 302-1 OCH ASTM D905 FÖR TRÄLIMFOGAR, som har utförts vid Avdelningen för byggnadsmekanik vid Lunds tekniska högskola och Bygg och Mekanik vid Sveriges provnings- och forskningsinstitut under våren 2004. I arbetet undersöks två provningsmetoders känslighet för störningar vid tillverkning och provning.

Ett stort tack riktas till vår handledare Erik Serrano, som med sina goda kunskaper inom området har väglett oss genom hela arbetet, samt läst och kommenterat rapporten. Vi vill också tacka Björn Källander vid Sveriges provnings- och forskningsinstitut för all hjälp under vår vistelse i Borås.

Lund, juni 2004

Stefan Karlsson och Michael Wong



## **Abstract**

This thesis engages the topic of test methods for wood adhesives. Two test methods were evaluated, EN 302-1, a European standard, and ASTM D905, an American standard. The total amount of specimens manufactured and tested was more than 500. The adhesive bonds were tested in shear with an increasing load on the specimen until failure. The adhesives used were epoxy-resin, phenol-resorcinol-formaldehyde and a 2-K polyurethane.

The test programme included five different types of intentional errors per method, in order to investigate the sensitivity of the test methods. The different types of errors were double amount of adhesives applied, two types of errors in cutting of the specimens and two types of eccentric loading during testing.

The maximum shear stress of the adhesive was used in determining whether the test methods are stable or not. The main conclusion of this thesis is that both test methods are unstable for the tested errors.





## Sammanfattning

Vid byggprocessen är lim en viktig komponent för sammanfogning. Därför används standardiserade provningsmetoder för att undersöka hållfastheten hos olika lim. Två sådana standardmetoder är EN 302-1, en europeisk metod, och ASTM D905, en amerikansk metod, för bestämning av limmets skjuvhållfasthet. Examensarbetets huvudsyfte är att genom experiment utvärdera och göra en överskådlig jämförelse mellan provningsmetoderna. Arbetet har omfattat tillverkning och provning av mer än 500 stycken provkroppar. Limmet testas genom att provkroppen utsätts för en ökande last fram till brott. Tre limsorter används i utvärderingen, epoxi, resorcinol-fenol och polyuretan.

Undersökningarna som gjorts omfattar provningar med medvetet skapade fel. Om värdena för en provningsmetod skiljer sig kraftigt då ett pålagt fel testas, tyder det på att provningsmetoden är opålitlig eller instabil. Fem olika variationer av skapade fel per provmetod utvärderades. Varianterna är applicering av dubbelt så mycket lim i förhållande till rekommenderad mängd, två olika felaktigheter vid fräsning av provkroppar och två olika snedställningar vid provning. Resultat från mätningarna måste på något vis jämföras med varandra. För att göra jämförelsen används det statistiska begreppet hypotestest. Testet utförs med hjälp av programmet MATLAB. Med hjälp av en funktion utvärderas på vilken signifikansnivå medelvärden från två fördelningar, med olika varians, är olika.

Resultat från utvärderingen visade att de båda provningsmetoderna är instabila för utförda provningstyper. Dubbel limmängd ger generellt en bättre hållfasthet medan fel vid fräsning av provkroppar genererar stora variationer i resultat. För ASTM-provningarna med limmet PUR är spridningen mycket stor och räknas som ej tillförlitliga. Slutsatsen är att provningsmetoderna EN 302-1 och ASTM D905 är känsliga för störningar.



# Innehållsförteckning

<b>1 Inledning</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrund .....	1
1.2 Syfte och mål.....	1
1.3 Spänningsfördelning över limfog.....	1
1.4 Hypotestest .....	4
<b>2 Standarder och material</b>	<b>5</b>
2.1 Standard EN 302-1 och ASTM D905 .....	5
2.2 Limbeskrivning .....	6
2.2.1 Epoxi.....	7
2.2.2 Resorcinol-fenol .....	7
2.2.3 Polyuretan .....	7
2.3 Provningsutrustning.....	8
2.3.1 EN 302-1 .....	8
2.3.2 ASTM D905.....	10
2.4 Provnings typer .....	11
2.4.1 Referens.....	11
2.4.2 Dubbel limmängd .....	11
2.4.3 Felfräsning.....	12
2.4.4 Snedbelastning .....	13
<b>3 Experimentellt utförande</b>	<b>17</b>
3.1 Tillverkning av ASTM D905 och EN 302-1 provkroppar.....	17
3.2 Provning enligt EN 302-1.....	17
3.3 Provning enligt ASTM D905.....	18
3.4 Mätning av elasticitetsmodul och densitet.....	19
3.5 Matlab.....	19
<b>4 Resultat</b>	<b>21</b>
4.1 Provningar.....	21
4.2 Grafer.....	23
4.3 Hypotestest .....	25
<b>5 Diskussion</b>	<b>27</b>
5.1 Avvikelse i grafer .....	27
5.2 Hypotestest .....	27
5.3 Dubbel limmängd, EN 302-1 .....	28
5.4 För djupa och för grunda spår, EN 302-1 .....	28
5.5 Snedställning, EN 302-1 .....	28
5.6 ASTM D905.....	28
5.7 ASTM D905 utan adhesiva brott.....	29
5.7.1 Hypotestest utan adhesiva brott .....	29
5.8 Jämförelse mellan EN och ASTM .....	30
5.9 Sprödheten hos limmerna .....	30
5.10 Jämförelse mot gjorda FE-analyser .....	30
<b>6 Slutsatser och fortsättningsförslag</b>	<b>31</b>
6.1 EN 302-1 .....	31
6.2 ASTM D905.....	31
6.3 Jämförelse mellan EN 302-1 och ASTM D905 .....	31
6.4 Fortsättningsförslag .....	32

<b>7 Referenser</b>	<b>33</b>
<b>Bilaga A</b>	<b>35</b>
<b>Bilaga B</b>	<b>37</b>
<b>Bilaga C</b>	<b>53</b>

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Trä är ett gammalt byggmaterial som människan har använt sen tidernas begynnelse. Fördelarna med att använda trä är bland annat dess goda hållfasthet i förhållande till dess vikt, bärförmåga vid brand, låga pris och estetik.

Vid byggprocessen är lim en viktig komponent för sammanfogning. Därför måste vissa standardkontroller utföras för att säkerställa hållfastheten hos olika lim. Av samma anledning har också standardprovkroppar och provningsmetoder tagits fram. För provning av skjuvhållfastheten för olika lim finns många provningsmetoder, EN 302-1 en europeisk standard och ASTM D905 är en amerikansk standard vilka är vanligt förekommande.

Numeriskt baserade studier av dessa två provningsmetoder har gjorts [1]. Däremot har få experimentella studier gjorts inom området. Provningsmetoderna har inte heller jämförts med varandra. En litteraturstudie av bakgrundsmaterial om provningsmetoderna gav inte något resultat.

## 1.2 Syfte och mål

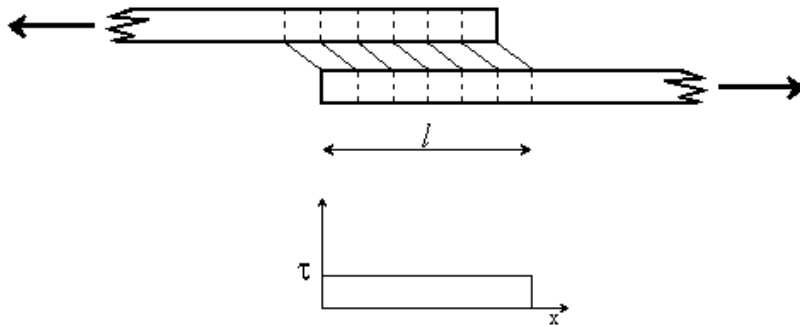
Examensarbetets syfte och mål är att genom experiment utvärdera och göra en överskådlig jämförelse mellan provningsmetoderna EN 302-1 och ASTM D905. Jämförelsen baseras på medvetet skapade fel. För att begränsa antalet provningar undersöks fem olika medvetet skapade fel per provmetod. Det totala antalet provkroppar som provas är mer än 500 stycken. Praktiska hinder vid tillverkning av provkroppar kommer att beaktas.

## 1.3 Spänningsfördelning över limfog

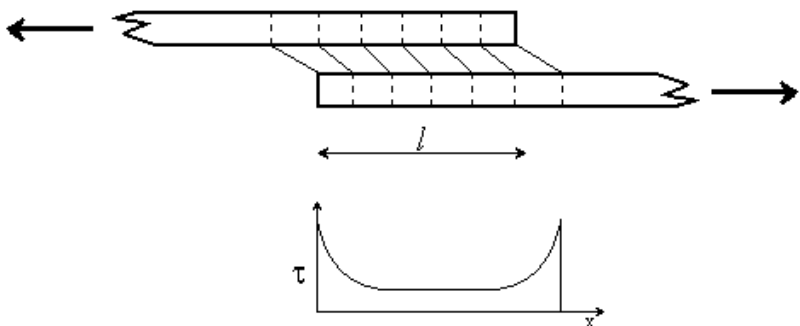
Det enklaste fallet av spänningsfördelning i limfogen är då limstyckena är helt stela och endast skjuvdeformationer uppkommer i limmet. Skjuvspänningen ( $\tau$ ) som uppkommer får då värdet av kvoten mellan kraften ( $F$ ) och den limmade ytan ( $A$ ) som kraften överförs i.

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Med helt stela limstycken uppstår en jämn spänningsfördelning över limfogen. Limstycken i trä kan inte betraktas som stela utan viss deformation i materialet uppstår över limfogen. Töjningen i limstyckena kommer att variera från sitt maxvärde vid limfogens början till noll vid dess slut. Med deformation i limstyckena blir spänningsfördelningen över limfogen inte jämn utan höga toppar uppstår vid kanterna. När spänningstopparna når limmets skjuvhållfasthet förskjuts spänningstopparna inåt mitten av limfogen. [2]

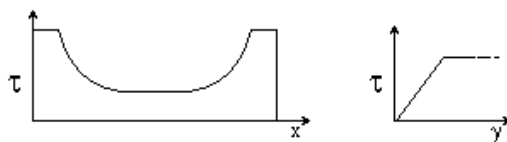


Figur 1. Schematisk bild över två sammanlimmade stela material med tillhörande spänningsfördelning.



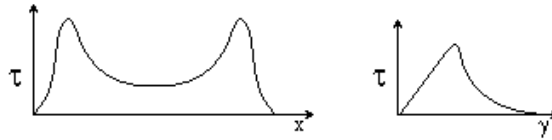
Figur 2. Schematisk bild över två sammanlimmade material med deformation i limstyckena samt tillhörande spänningsfördelning.

Med ett teoretiskt elastiskt-idealplastiskt lim bär limmet lika mycket skjuvspänning efter plasticering som limmet maximalt klarar.



Figur 3. Spänningsfördelning för ett elastiskt-idealplastiskt lim samt tillhörande lims spännings-förskjutningsdiagram.

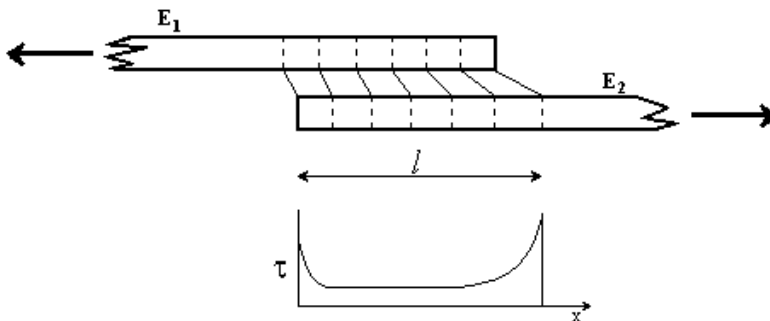
Limmer betar sig inte elastiskt-idealplastiskt. Förmågan att bära skjuvkrafter minskar då maximal spänning uppnås. Fenomenet kallas brottmjuknande [3]. Då brottmjuknande har uppkommit i limfogen förändras spänningsfördelningen.



Figur 4. Spänningsfördelning i en limfog med brottmjuknande samt limmets spännings-förskjutningsdiagram.

Sega lim uppträder mer likt elastiskt-idealplastiskt än spröda lim. För sega lim kan träet betraktas som förhållandevis stelt, vilket i sin tur medför att en jämnare spänningsfördelning uppkommer. Sprödheten för limfogar är proportionell mot kvadraten på skjuvhållfastheten och omvänt proportionell mot brottenergin i fogen [1]. Detta förutsätter att geometrin är lika och att elasticitetsmodulen för limstyckena är lika mellan olika provkroppar.

Ovanstående spänningsfördelningar förutsätter att limstyckena har samma styvhet. Spänningsfördelningen blir då symmetrisk. Stora skillnader i styvheten mellan limstyckena ger en högre spänningstopp vid en av limfogens ändar. Maximala skjuvspänningen kommer då att uppstå tidigare. Figur 5 visar en schematisk bild över två limstycken med tillhörande spänningsfördelning. Limstyckena har stor skillnad i elasticitetsmodulen där  $E_1$  är mycket styvare än  $E_2$ . [4]

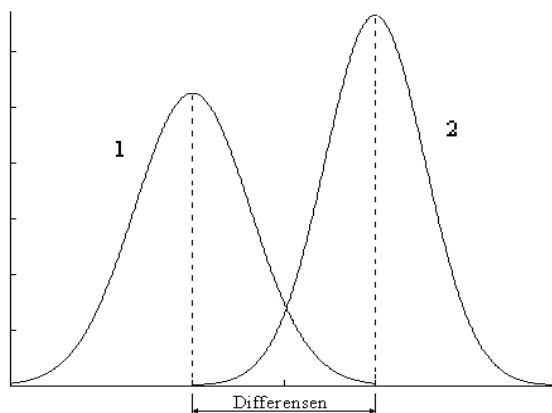


Figur 5. Schematisk bild över två sammanlimmade material med inbördes olika styvhet ( $E_1 >> E_2$ ) samt tillhörande spänningsfördelning.

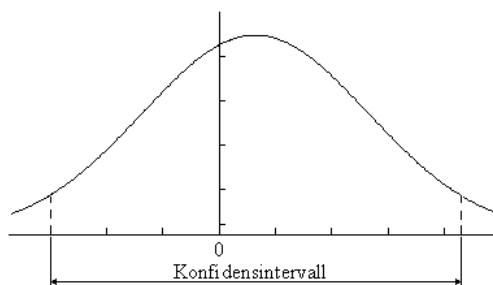
## 1.4 Hypotestest

De resultat som mätningarna ger måste på något vis jämföras med varandra. För att göra jämförelsen används det statistiska begreppet hypotestest. Kortfattat går ett hypotestest ut på att en hypotes ställs upp. Hypotesen testas om den kan förkastas eller om hypotesen skall stå kvar. Hypotestestet används här för att påvisa om respektive metod är känslig för det testade felet.

Hypotestest motsvarar en intervallskattning av två grupper av mätningar med olika medelvärde och standardavvikelse, se figur 6. För att jämföra grupperna görs ett konfidensintervall för differens mellan medelvärdena. Ett intervall som inkluderar nollan motsvarar att medelvärdena kan vara lika, se figur 7. Om gruppernas medelvärde är exakt lika bör differensen vara noll. Detta intervall räknas ut med hjälp av medelvärdet, standardavvikelsen, antalet mätningar för varje grupp och en konfidensgrad,  $1-\alpha$ . Beroende på vilken säkerhet skattningen skall ligga på väljs konfidensgraden. Ett annat sätt att uttrycka säkerheten på är signifikansnivån,  $\alpha$ . Signifikansnivån för testet avgör när hypotesen kan förkastas.



Figur 6. Fördelning 1 och 2 från två grupper med olika medelvärde och standardavvikelse.



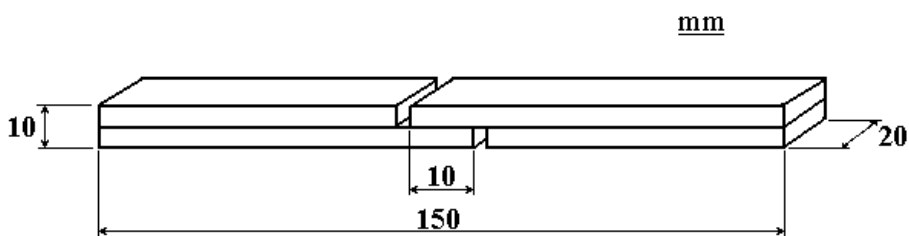
Figur 7. Konfidensintervall för differens mellan medelvärden.



## 2 Standarder och material

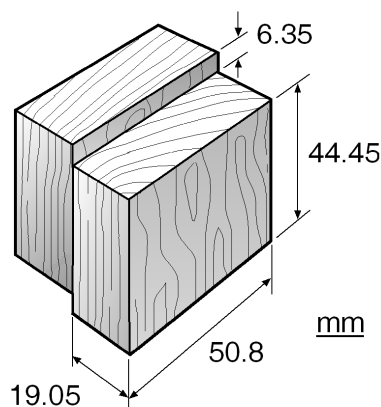
### 2.1 Standard EN 302-1 och ASTM D905

Den europeiska standardmetoden EN 302-1 (EN) är en metod för att bestämma hållfastheten i skjuvning för trälimfogar. Provkroppen består av två sammanlimmade rektangulära träbitar med måtten  $150 \times 20 \times 5$  mm. Fiberriktning ska ligga parallellt med lamellens längsta dimension. Den längsta dimensionen hamnar då parallellt med dragkraften under provning. För att isolera testområdet finns två spår, se bilden nedan. Provmetoden går ut på att utsätta provkroppen för dragkrafter, vilket medför att limfogen i huvudsak utsätts för skjuvspänningar. Den totala limytan som provas är  $10 \times 20 \text{ mm}^2$ . [6]



Figur 8. EN provkroppen med mått.

Den amerikanska standardmetoden ASTM D905 (ASTM) är också den en metod för provning av skjuvhållfastheten hos limfogar. Provkroppen har en enkel form. Den består av två rektangulära träbitar med måtten  $50,8 \times 44,45 \times 19,05$  mm. Träbitarna har en inbördes förskjutning på 6,35 mm vilket ger en limyta på  $38,1 \times 50,8 \text{ mm}^2$ . Fiberriktning ska ligga parallellt med lamellens längsta dimension, liksom vid användning av EN. Den längsta dimensionen hamnar parallellt med pålagd tryckkraft under provning. [7]



Figur 9. ASTM provkroppen med mått.

De båda standardmetoderna används för att testa limfogens skjuvhållfasthet. Dock är tillvägagångssättet vid testet olika för de båda metoderna. En skillnad är storleken på limytan som testas. ASTM har en ca 10 gånger större limyta än EN, vilket kräver högre krafter innan brott uppstår. En annan viktig skillnad är att EN testas med dragkrafter istället för tryckkrafter vilket är fallet för ASTM.

Enligt standard är utgångsmaterialet för tillverkning av ASTM lönn. Men för att få en bra jämförelse mellan de två provningsmetoderna används bok för båda metoderna. Bok är det traditionella träslaget vid provning, medan gran och furu är det vanligaste träslaget vid bärande konstruktioner av trä. Bok används som provningsmaterial då det är lättare att ta fram provbitar med specifika mått utan fiberstörning, kvistar och liknande. Dessutom har densiteten för bok förhållandevis låg variation.

## 2.2 Limbeskrivning

Följande beskrivning av limmerna har tagits från boken *trälimning* [8]. I dag finns det många olika typer av trälim på marknaden. De limmer som standardmetoderna ASTM och EN testar är limmer som är avsedda för tillverkning av bärande konstruktioner, även kallade konstruktionslimmer. Bland konstruktionslimmer finns ett stort utbud av olika varumärken och typer.

För att ge så allmängiltiga resultat som möjligt används lim med olika egenskaper. Med flera olika limmer sprids också riskerna för att felaktiga slutsatser dras på grund av ett extremt lim. De olika limmer som används vid jämförelsen av provningsmetoderna är:

- Epoxi (EP)
- Resorcinol-fenol (PRF)
- Polyuretan (PUR)

Dessa lim är tvåkomponentslimmer. Vid limmets framställning blandas två olika komponenter, lim och härdare. Tidigare erfarenhet har visat att av de testade limmen är PRF det mest spröda och PUR det mest sega av de tre limmen [1].

*Tabell 1. Fakta om limmen. [9]*

Typ	Epoxi	Resorcinol-fenol	2-K Polyuretan
Beteckning	EP 20 / VP 1	Cascosinol 1711	CR 421
Producent	Wevo-Chemie	Casco	Purbond
Härdare	B 20/1	2622	Komponent B
Brukstid (pot life) 20°C	80 min	75 min	10 min
Presstid	6 h	4 h	1 h
Spridning	200 g/m <sup>2</sup>	2×200 g/m <sup>2</sup>	200 g/m <sup>2</sup>

### 2.2.1 Epoxi

Epoxilim är ett kemiskt härdande konsthartslim som egentligen är utvecklat för limning av metaller och för gjutning i form. Idag är användningsområdet för epoxilimmer betydligt större, där lastbärande konstruktioner är ett av användningsområdena.

Med epoxilimmer finns det god möjlighet att skraddarsy bruksegenskaperna för olika ändamål. Viskositeten kan varieras mellan olika epoxilimmer och även härdningstiden går att justera. Det kan även framställas så att härdningen sker vid rumstemperatur eller att det krävs ett extra värmestillskott. Då limmet härdar sker endast en obetydlig krympning.

### 2.2.2 Resorcinol-fenol

Både resorcinol och fenol är lim var för sig men deras nära släktskap gör att de med fördel kan blandas och därmed skapas resorcinol-fenollim (Phenol-Resorcinol-Formaldehyde). Resorcinol är mer reaktivt men även dyrare än fenol. Vid framställning av resorcinol-fenollim kan fenoldelen uppgå till 50%. Brukstiden och presstiden för resorcinol-fenollim är längre än för rent resorcinollim. Det viktigaste användningsområdet för resorcinol-fenollim är bärande träkonstruktioner, exempelvis limträ.

### 2.2.3 Polyuretan

Polyuretanlim finns både som en- och tvåkomponentslim. För tvåkomponentslim är den ena polyol, komponent A, som utgör själva limmet. Den andra är isocyanat, komponent B, som utgör härdaren.

## 2.3 Provningsutrustning

### 2.3.1 EN 302-1

Vid provning med standarden EN används en därför avsedd provuppställning. I stora drag är provuppställningen en maskin med en dragande hydraulkolv vilken kan styras med en konstant hastighet. Till denna kolv kopplas en anordning för att spänna in provbitar. Denna inspänningsanordning innehåller två stycken mindre hydraulkolvar vilka klämmer fast provbitarna.

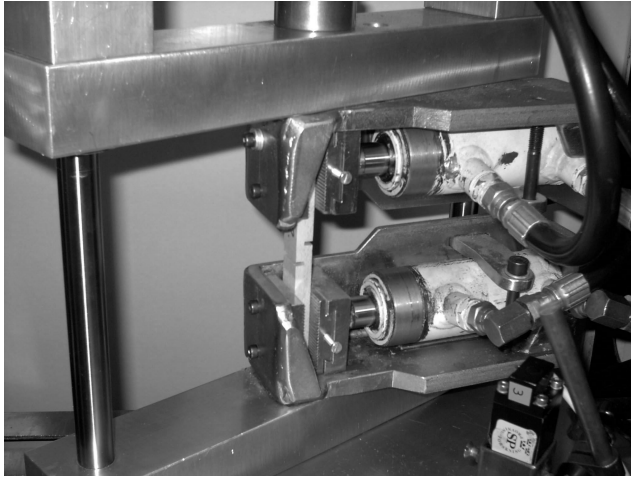


*Figur 10. Provuppställning för EN.*

Enligt standarden för EN skall provmaskinen klara att antingen konstant öka lasten på provkroppen med 2,0 kN/min med en tolerans på 0,5 kN/min, eller så skall maskinen kunna hålla en konstant hastighet på separationen mellan greppen som spänner in provkroppen. Hastigheten för separationen bestäms genom att den maximala kraften skall uppnås först efter 50 sekunder. I detta arbete används det senare alternativet eftersom provningsmaskinen klarar förfarandet samt att den metoden har använts i andra sammanhang då provkroppar av EN har provats.

För att provkropparna skall spännas in på samma ställe varje gång, har provuppställningen två stödskravar vilka provkroppen manuelltrycks mot vid inspänningen. Stödskravarna skruvas manuelltrycks till önskad position.

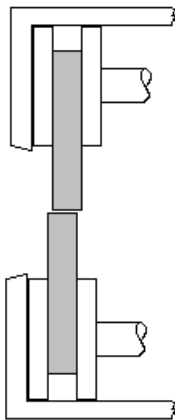
I standarden för EN föreskrivs att testtriggen skall ha grepp som är fastsatta med löst sittande pinnbultar som i sin tur sitter fast i kullekopplingar. Alternativt skall ett av greppen vara ordentligt fastsatt i maskinen medan det andra greppet skall vara upphängt med en kulle som tillåter tillräcklig rörelse för att greppet skall bli självinställande även under provningen.



*Figur 11. Testrigger för EN.*

Den maskin som används till arbetet uppfyller inte de formella krav som standarden föreskriver, eftersom ledande upphängningar förbisatts. Utrustningen är dock godkänd och har använts vid tidigare provningar.

Provuppställningens horisontella förskjutning kontrolleras. Kontrollen utförs genom att två fyrkantstavar med kvadratisk tvärsnitt, med sidor på 10 mm, spänns fast i var sitt grepp. Den inbördes förskjutningen mellan stavarna representerar den horisontella förskjutning som provningsmaskinen har. Naturligtvis kan inte fyrkantstavarna anses vara helt raka, vilket kompenseras genom att låta en av stavarna vara kvar i sitt grepp medan den andra staven roteras. Samma procedur upprepas med ombytta roller för stavarna. Förfarandet påvisar stavarnas skevhet, vilket sedan kan kompenseras då provuppställningen korrigeras.

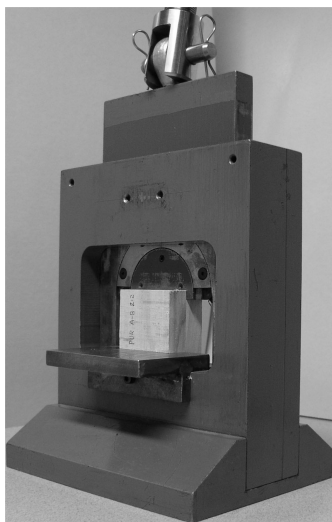


*Figur 12. Kontroll av EN uppställningen i horisontell led.*

Denna kontroll är inget som normalt utförs på provutrustningen. Resultatet blev dock att ett av greppen fick förskjutas 0,5 mm, med hjälp av passbitar, för att få en mer korrekt provuppställning.

### 2.3.2 ASTM D905

Standarden för provning med ASTM kräver en maskin med möjlighet att ställa in en konstant kolvhastighet. Provmaskinen som används för provning är samma som för EN. Provuppställningen innehåller en stödplatta samt ett skär. Skäret löper i ett vertikalt spår och ger provkroppen en tryckande belastning. Den del av skäret som ligger i kontakt med provkroppen sitter ledad infäst, vilket ger skäret en möjlighet till självinställning. Det ledade skäret är även fjäderbelastat och hjälper därmed provkroppen att hamna i rätt position.



Figur 13. Provningsutrustning för ASTM med en provbit.

Även för denna standard kontrolleras provutrustningen. En faktor som kan påverka resultatet är glappet mellan skäret och plattan som provkroppen stöder mot. Den del av skäret som kommer i kontakt med provbiten är fjäderbelastad vilket minimerar glappet mellan skäret och stödplattan. Mellan skäret och det spår som skäret löper i kan det uppstå friktion som påverkar resultatet. Med stor friktion överskattas provkroppens skjuvhållfasthet då en del av kraften från kolven går åt till att övervinna friktionen. Innan provning med utrustningen utfördes gjordes skäret och spåret rent och smordes för att minska friktionen.



Figur 14. Provningsutrustning för ASTM med en provbit.

## 2.4 Provningstyper

Undersökningarna omfattar provningar med medvetet skapade fel. Om värdena för en provningsmetod skiljer sig kraftigt då ett pålagt fel testas, tyder det på att provningsmetoden är opålitlig eller instabil. En pålitlig provningsmetod kännetecknas av att resultaten för provningen återupprepas vid olika provningar och tillfällen. Resultaten bör bli likvärdiga då marginella skillnader finns, medan resultatet blir markant avvikande då felaktiga provbitar eller uppställningar testas.

Till varje provningsmetod finns det ett otal förutsättningar som kan påverka resultatet. Exempel på några sådana är provbitarnas sammansättning, fuktighet i provbitarna, provbitarnas ytfinhet, damm på provbitarna vid limningen, limmets applicering, presstider för limningen, elasticitetsmodul och densitet på respektive lamell, den mänskliga faktorn med mera.

Alla de skapade felen som testas bör inte uppstå vid normal användning av utrustningen. Försöken är ändå intressanta eftersom de kan påvisa om testmetoden är känslig för det aktuella felet.

### 2.4.1 Referens

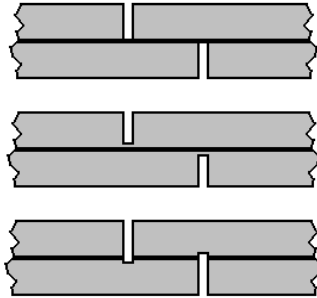
Det första som skall göras vid provningen är att skaffa referenser till de provningarna då uppställningen skall ändras. Referensgruppen skapas genom att genomföra provningarna enligt standarder och krav från limtillverkarna. Provningarna med pålagda fel kommer sedan att jämföras mot denna referensgrupp.

### 2.4.2 Dubbel limmängd

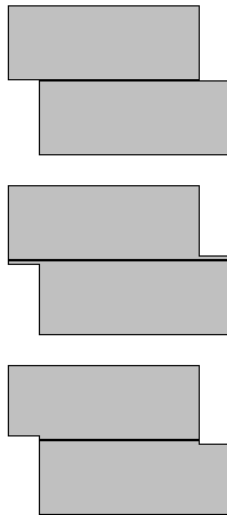
Vid testning med dubbel limmängd appliceras dubbelt så mycket lim som limtillverkaren föreskrivit. Provning med dessa provkroppar kan påvisa hur känslig provningsmetoderna är för att angiven mängd appliceras. Sprödheten hos limmerna kan inverka på resultatet.

### 2.4.3 Felräsning

Metoden för tillverkning av provkroppar skiljer sig från olika tillverkare och tillfällen. En stor variation som kan uppkomma är provbitens mått på spåren och avsatserna. För att testa känsligheten för djupen på spåren, EN, och avsatserna, ASTM, framställs provbitar med 0,5 mm för grunda och för djupa spår samt provbitar med 0,5 mm för grunt och för djupt skurna avsatser. Genom att införa dessa defekter kan spänningsfördelningen i provkroppen bli annorlunda och därmed leda till andra resultat.



*Figur 15. Felräsning EN. Normal, grund, djup.*



*Figur 16. Felräsning ASTM. Normal, grund, djup.*

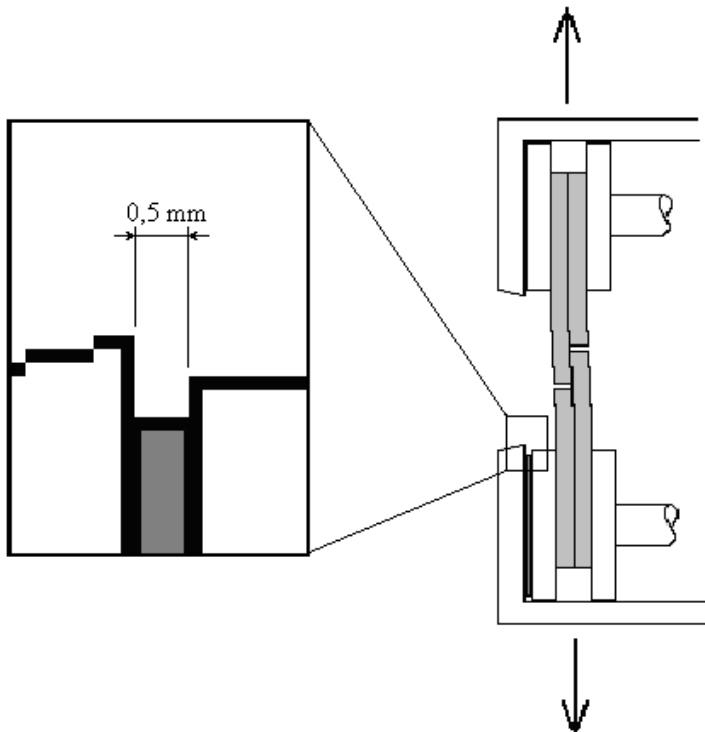


## 2.4.4 Snedbelastning

Vid snedbelastning är syftet att kontrollera hur känslig respektive metod är för felaktigheter eller handhavandet av utrustningen. En provningsmetod som visar sig känslig vid snedbelastningar kan betraktas som mindre bra då det alltid uppstår viss snedbelastning vid provning. Det sker dels på grund av att maskiner har vissa felmarginaler, maskinoperatören är inte felfri samt att provbitar i sig kan skapa snedbelastningar.

### Horisontell förskjutning av EN 302-1

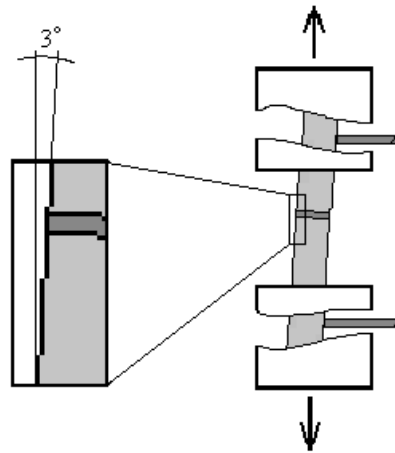
En av de medvetet skapade snedbelastningarna för provkropparna av typen EN är horisontellt förskjuta de grepp som spänner in provkroppen. Den horisontella förskjutningen skapades genom att passbitar placerades mellan provningsmaskinen och de grepp som ligger i kontakt med provkroppen. Förskjutningen som skapades var 0,5 mm. Tidigare har det beskrivits hur provuppställningen korrigeras i horisontell led med 0,5 mm.



Figur 17. Horisontell förskjutning av EN skapad med passbitar.

## Diagonalställning av EN 302-1

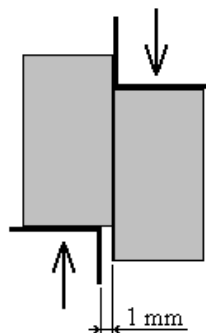
För EN skapas även en diagonalställning av provkroppen. Snedställningen skapas genom att en av de stödskrivar, som provkroppen pressas mot, skruvas så att en snedställning på ca tre grader uppstår. Snedställningen är möjlig att uppfatta vid visuell granskning. En snedställning på tre grader bör alltså inte uppstå vid normal användning av utrustningen.



Figur 18. Diagonalställning av EN skapad med hjälp av två stödskrivar.

## Horisontell förskjutning av ASTM D905, 1 mm

För ASTM skapas en horisontell förskjutning genom att passbitar med en tjocklek på 1 mm placeras så att stödbordet förflyttas i förhållande till skäret. Förskjutningen innebär att trycket på provbiten förflyttas från limfogen vilket medför att tryckfördelningen förändras. Snedställningen kan uppstå om provningsmaskinen har ett glapp mellan stödplattan och skäret. Den skeva tryckfördelningen kan också uppstå om framställningen av provbitarna sker med mindre raffinerade metoder. Vid kontroll av provningsutrustningen är det svårt att upptäcka förskjutningen.



Figur 19. Horisontell förskjutning av ASTM.

## Horisontell förskjutning av ASTM D905, 2 mm

Utrustningen till ASTM innehåller få faktorer där användaren kan göra fel. Provkroppen skall placeras rakt under skäret, i övrigt är utrustningen självinställande. Den andra snedbelastningen är också en horisontell förskjutning. Förskjutningen fördubblas till 2 mm. Denna horisontella förskjutning syns tydligt om en testad provkropp granskas.



## 3 Experimentellt utförande

### 3.1 Tillverkning av ASTM D905 och EN 302-1 provkroppar

Vid tillverkning av provkroppar är det första steget att välja lämpliga utgångsmaterial för de två provmetoderna. För ASTM används lameller med dimensionen 710 x 140 x 21 mm och för EN används lameller med dimensionen 710 x 150 x 10 mm som utgångsmaterial.

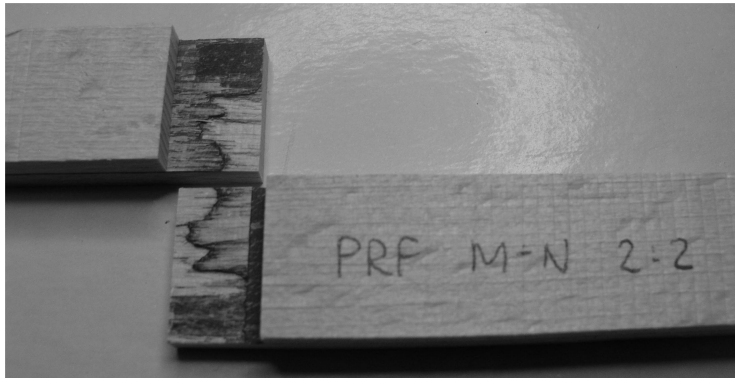
Ur varje lamell sågas en provstav som senare används för att bestämma densiteten och E-modulen. Lamellen grovhyvlas, oftast på båda sidorna, tills ca 0.5 mm återstår till den slutliga tjockleken. Innan de sista 0.5 mm finhyvlas ner förbereds pressen och limutrustning läggs fram. Lamellerna hyvlas till sin rätta tjocklek och limmet blandas. Rätt mängd lim mäts upp på lamellen. Limmet stryks ut med hjälp av en tandad skrapa. En annan lamell läggs på limmet och det hela tejpas för att förhindra glidning i sidled. Denna process genomförs för nästa limfog och sedan läggs alla de limmade lamellerna, oftast fyra limfogar per limtillfälle, i press. Presstrycket väljs till 0,7 MPa för de båda provmetoderna, vilket är inom gränserna för limtillverkarnas rekommendationer. När press tiden uppnås lastas lamellerna av och förvaras i konditioneringsrummet med standardatmosfär (20°C/65% luftfuktighet).

Efter 3-7 dagars härdning och aklimatisering i konditioneringsrummet förbereds lamellerna för fräsning av spår (EN) eller avsatser (ASTM). Grova kanter på de limmade lamellerna sågas bort och mindre bitar tillverkas inför fräsning. Fräsning sker i en numeriskt styrd maskin där de förberedda bitarna utformas med spår eller avsatser.

Efter fräsningen sågas bitarna till de slutliga måtten. För EN blir det 4 x 5 provkroppar per limfog och för ASTM blir det ungefär 12 x 2 provkroppar. Provnings sker efter att provkropparna har konditionerats i minst 7 dygn.

### 3.2 Provning enligt EN 302-1

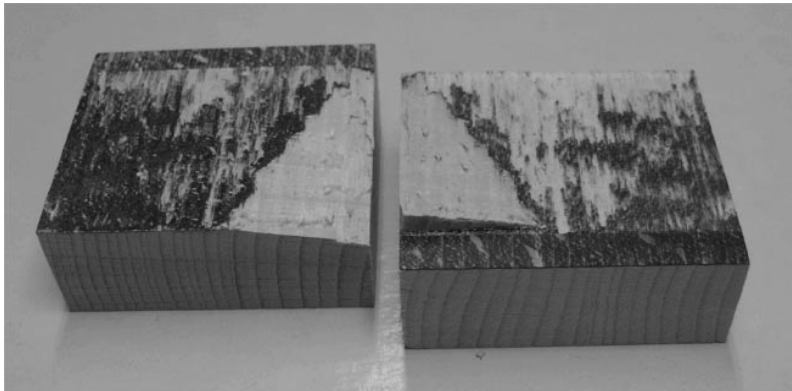
Utdata från provningen är kraft, deformation och tid som erhålls från mätutrustning och lagras i en datafil. Andra data som behövs är träbrottsandel, dvs. fördelningen mellan brott i trä och brott i lim, och arean av limfog som testas. Provkroppen placeras i provmaskinen med en liten marginal i vertikal led. Den fria längden, dvs. avståndet mellan greppen, uppgår till 53 mm. Efter kontroll av att provkroppen sitter rätt startas först mätutrustningen och sedan provningen för att säkerställa att all data kommer med. Enligt EN-standarden ska provbiten dras med konstant hastighet och brott skall inträffa tidigast efter 50 sekunder från start. Efter några tester ställs maskinens hastighet på 0.37 mm per minut. Detta ger en tid till brott på ca 60-120 sekunder. Efter provningen sker en manuell bedömning av träbrottsandelen.



*Figur 20. EN provkropp med limmet PRF, 70% träbrottsandel.*

### 3.3 Provning enligt ASTM D905

Utdata från provningen är kraft, deformation och tid. Provkroppen placeras i maskinen och det övre skäret positioneras precis över provbiten innan provningen startar. Enligt ASTM standarden sker provning med en konstant hastighet på 5 mm per minut. Även för ASTM sker en bedömning av träbrottsandelen.



*Figur 21. ASTM provkropp med limmet PRF, 40% träbrottsandel*

En granskning av ASTM-provkroppen efter ett skjuvprov med en horisontell förskjutning påvisar att trycket inte anbringas invid limfogen. Under provning med 2 mm mellanlägg kan även en snedställning av provkroppen uppfattas.

## 3.4 Mätning av elasticitetsmodul och densitet

Mätningar av lamellernas elasticitetsmodul och densitet görs för att senare användas i utvärderingen av provningarna. Från varje lamell tas provstavar. Stavarnas mått är 7 x 7 x 50 mm och 10 x 20 x 50 mm för EN respektive ASTM. Mätdata som inhämtas är kraft och deformation, den senare registreras med en extensiometer. Med tvärsnittsarean kan spänningen räknas fram och töjningen beräknas med ursprungslängden. Ett spännings- och töjningsdiagram ger en nästintill rak linje. Lutningen av linjen ger materialets E-modul. För att få ett än mer korrekt värde av materialets E-modul tas endast de sista värdena i mätdata med i beräkning av lutningen. På så vis kan initiella störningar undvikas.

Bestämning av densitet görs med hjälp av Archimedes princip. En bit av staven vägs i konditionerat tillstånd. Provbiten sänks sedan ner i ett vattenbad och vägs. Med dessa två värden och densiteten för vattnet kan densiteten på provbiten beräknas.

## 3.5 Matlab

Datafilerna från provningar måste bearbetas innan några överskådliga resultat kan presenteras. För detta syfte används programmet MATLAB. Till exempel sorteras mätdata som inte behövs i utvärderingen bort. För att få mer samlade grafer förflyttas vissa kurvor i sidled till origo. Det gäller kurvor från EN-provningar med initiella tryckkrafter i mätningen. Förflyttningen påverkar inte den maximala kraften. Kraftdata tillsammans med uppmätt area för enskild provbit omvandlas till spänning.

MATLAB används även för hypotestestning. Till programmet finns en funktion, *utttest*, som utvärderar på vilken signifikansnivå medelvärden från två fördelningar, med olika varians, är olika.





## 4 Resultat

### 4.1 Provningar

Provningarna med EN och ASTM sorteras i dess olika provningstyper. Ur varje provningstyp, med  $n$  antal provningar, beräknas ett medelvärde av den maximala skjuvspänningen,  $\tau$ , för respektive typ. Variationskoefficienten, COV, vilket är ett mått på spridningen, beräknas för grupperna. En hög variationskoefficient betyder att medelvärdet för gruppen är skapat av värden som ligger längre ifrån medelvärdet än grupper med ett lågt värde på variationskoefficienten. Utgångspunkten för antalet provningar per typ är minst 20 stycken för referenserna och 10 stycken för övriga provningstyper. Antalet skiftar med tillgången på provkroppar.

Där det finns möjlighet plockas provkroppar från olika sammanlimmade lameller. Referensen samt de två snedställningarna plockas ifrån tre olika lamellpar. Provkroppar med dubbel limmängd kommer ifrån ett lamellpar och provkroppar med antingen för grund eller för djup fräsning kommer ifrån ett och samma lamellpar.

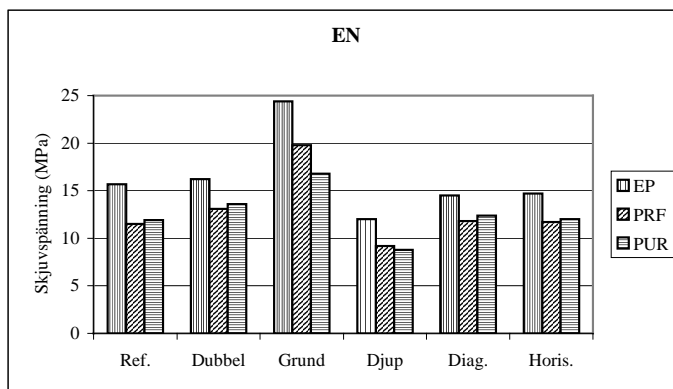
Tabell 2. Resultat från EN.

	EN								
	EP			PRF			PUR		
	n	$\tau$ (MPa)	COV (%)	n	$\tau$ (MPa)	COV (%)	n	$\tau$ (MPa)	COV (%)
Referens	24	15,7	7,4	24	11,5	13,3	24	11,9	9,1
Dubbel lim	12	16,2	2,9	12	13,1	10,8	12	13,6	11,9
Grunt spår	10	24,4	3,6	10	19,8	8,0	10	16,8	5,5
Djupt spår	5	12,0	12,9	10	9,2	6,0	10	8,8	8,4
Sned diag.	12	14,5	16,1	12	11,8	19,4	12	12,4	8,1
Sned horis.	12	14,7	9,8	12	11,7	10,9	12	12,0	9,9

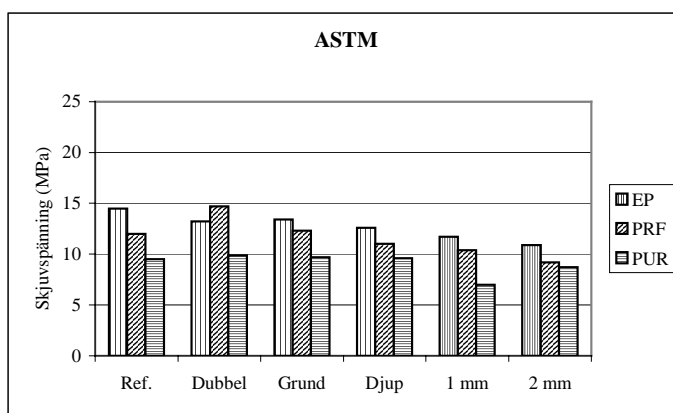
Tabell 3. Resultat från ASTM.

	ASTM								
	EP			PRF			PUR		
	n	$\tau$ (MPa)	COV (%)	n	$\tau$ (MPa)	COV (%)	n	$\tau$ (MPa)	COV (%)
Referens	24	14,5	8,2	28	12,0	8,2	24	9,5	24,7
Dubbel lim	12	13,2	1,8	12	14,7	3,1	12	9,9	17,4
Grund avsats	12	13,4	3,7	12	12,3	5,6	12	9,7	42,7
Djup avsats	12	12,6	4,6	12	11,0	4,7	12	9,6	32,0
1mm	18	11,7	11,4	18	10,4	10,3	18	7,0	55,1
2mm	18	10,9	6,1	18	9,2	8,0	18	8,7	17,3

Figur 22 och 23 visar samma resultat som i tabell 2 och 3 där varje stapel representerar medelvärdet för en grupp skjuvhållfasthet.



Figur 22. Stapeldiagram över EN.



Figur 23. Stapeldiagram över ASTM.

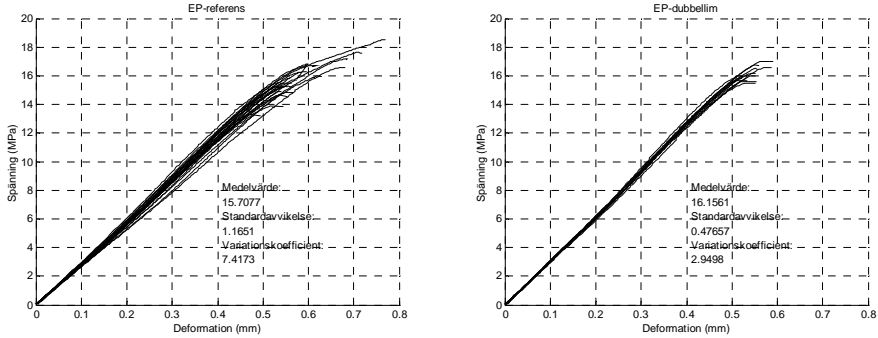
De maximala skjuvspänningarna varierar stort för provningar med ASTM och limmet PUR. För att minska spridningen tas alla prover för ASTM med rent adhesiva brott, 0% träbrottsandel, bort.

Tabell 4. Resultat från ASTM utan adhesiva brott.

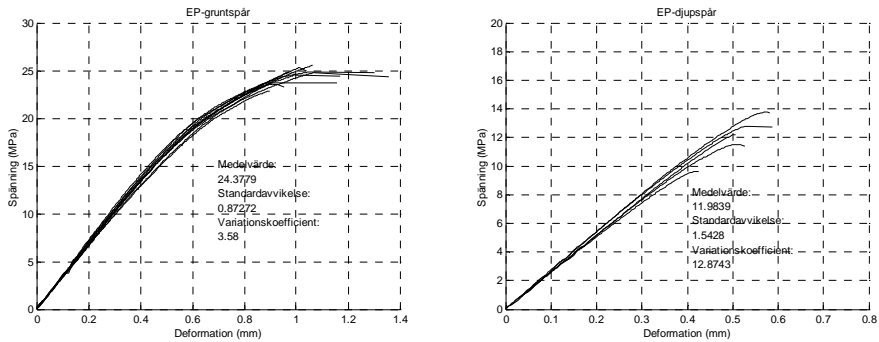
	ASTM utan adhesiva brott								
	EP			PRF			PUR		
	n	$\tau$ (MPa)	COV (%)	n	$\tau$ (MPa)	COV (%)	n	$\tau$ (MPa)	COV (%)
Referens	24	14,5	8,2	27	12,0	8,3	20	9,9	22,3
Dubbel lim	12	13,2	1,8	12	14,7	3,1	6	10,4	7,8
Grund avsats	12	13,4	3,7	12	12,3	5,6	7	12,8	14,3
Djup avsats	12	12,6	4,6	12	11,0	4,7	7	11,7	11,2
1mm	18	11,7	11,4	18	10,4	10,3	8	10,1	10,1
2mm	18	10,9	6,1	18	9,2	8,0	16	8,8	17,3

## 4.2 Grafer

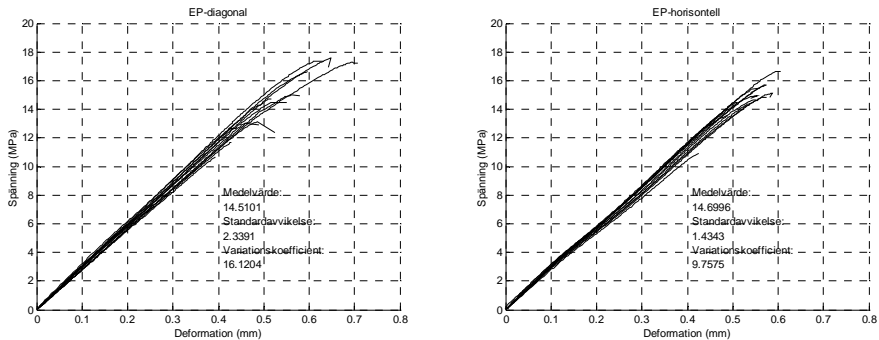
Provningarna med EN och ASTM kan presenteras i grafer. Graferna visar hur skjivspänning byggs upp under pågående deformation. Varje diagram visar en provningstyp där varje kurva representerar en provning. Nedan presenteras grafer för limmet EP. Observera att spänningsskalan i grafen EP-gruntspår skiljer sig från de övriga EN-graferna. Grafer över samtliga provningar presenteras i appendix.



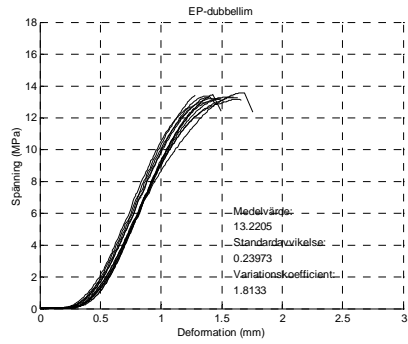
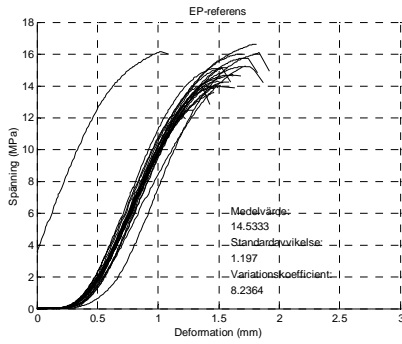
Figur 24. EN referens (tv) och dubbel limmängd (th) med EP.



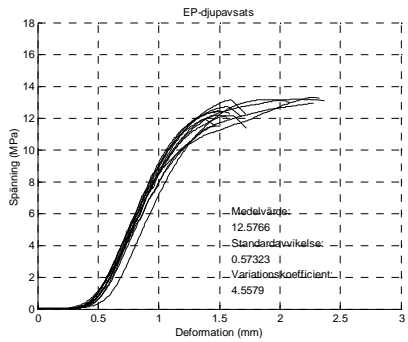
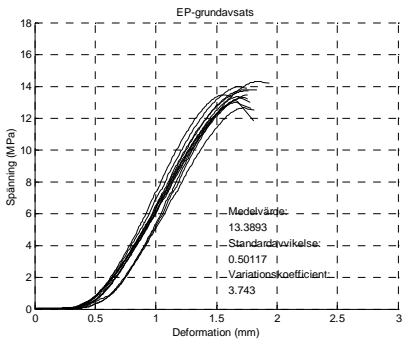
Figur 25. EN grunt spår (tv, med en annan skala) och djupt spår (th) med EP.



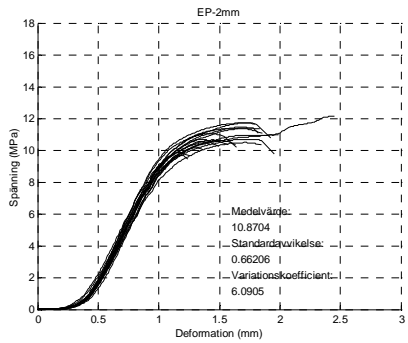
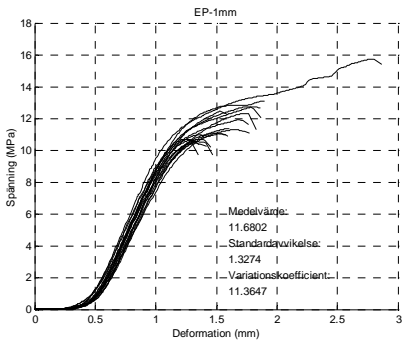
Figur 26. EN diagonal förskjutning (tv) och horisontell förskjutning (th) med EP.



Figur 27. ASTM referens (tv) och dubbel limmängd (th) med EP.



Figur 28. ASTM grund avsats (tv) och djup avsats (th) med EP.



Figur 29. ASTM horisontell förskjutning 1mm (tv) och 2 mm (th) med EP.

## 4.3 Hypotestest

Hypotestestet som används tillåter att grupperna som testas har olika varians. Testet kräver dock att provningsresultaten är normalfördelade, vilket antas. Den uppställda hypotesen som testas lyder: Medelvärdena är olika. *uttest* ger signifikansnivån för att hypotesen inte kan förkastas. Värdena i tabell 5-7 bygger på att de olika pålagda felen jämförs med respektive referens.

Värdena som står i tabellerna för hypotestesten visar på vilken nivå som hypotesen inte skall förkastas, dvs. signifikansnivån. Till exempel skall värdet 0,112, som dubbel limmängd mot EP-referens har, tolkas att det är med 88,8% säkerhet som hypotesen inte förkastas på felaktiga grunder. Lite enklare men inte helt statistiskt korrekt kan det också tolkas som att det är 88,8% säkerhet att medelvärdena är olika.

Tabell 5. Resultat av hypotestest för EN

	Dubbel lim	Grunt spår	Djupt spår	Diagonal	Horisontell
Ref EP	0,112	<0,001	0,004	0,117	0,049
Ref PRF	0,007	<0,001	<0,001	0,728	0,704
Ref PUR	0,005	<0,001	<0,001	0,242	0,916

Tabell 6. Resultat av hypotestest för ASTM

	Dubbel lim	Grund avsats	Djup avsats	1 mm	2 mm
Ref EP	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Ref PRF	<0,001	0,276	<0,001	<0,001	<0,001
Ref PUR	0,500	0,845	0,850	0,030	0,190

För ASTM görs ett hypotestest där alla prover med rent adhesiva brott tas bort.

Tabell 7. Resultat av hypotestest för ASTM utan provbitar med adhesiva brott.

	Dubbel lim	Grund avsats	Djup avsats	1 mm	2 mm
Ref EP	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Ref PRF	<0,001	0,249	<0,001	<0,001	<0,001
Ref PUR	0,429	0,005	0,022	0,781	0,087

Hypotestestet utförs även mellan de två provningsmetoderna. För att en jämförelse skall kunna ske måste provningarna ske på ett likvärdigt sätt för de två provmetoderna. De enda grupperna som kan jämföras är referenserna och då dubbel limmängd appliceras.

Tabell 8. Resultat av hypotestes för EN mot ASTM.

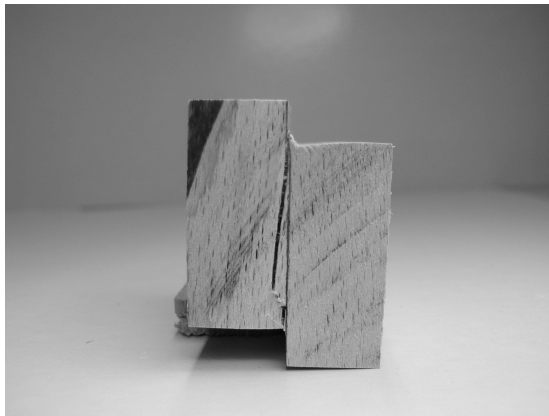
	EP	PRF	PUR
Referenser	0,001	0,181	<0,001
Dubbel lim	<0,001	0,002	<0,001



## 5 Diskussion

### 5.1 Avvikelse i grafer

I graferna över provmetoden ASTM finns det enstaka maxspänningar som står ut extra mycket. Speciellt är det två olika typer av abnormaliteter i graferna som ska förklaras. I grafen EP-referens startar en provmätning för sent och mätdata samlas inte förrän vid 4 MPa. Detta påverkar inte den uppmätta maxspänningen men kan se konstigt ut i grafen. Den andra avvikelsen i graferna kan hittas i EP-1mm/2mm och PRF-1mm. Provningar får en mycket stor deformation med liten spänningsökning. Fenomenet uppstår endast då mellanlägg införs i provmaskinen och provkroppen utsätts för ett annorlunda spänningsfall. Brott går då inte parallellt med limfogen utan går snett in i trämaterialiet. Vid enskilda fall som syns tydligt på resultaten i graferna går brottlinjen tillbaka in mot limfogen och skapar en avsats som möjliggör den stora deformationen utan kraftminskning, se figur nedan.



*Figur 30. ASTM-provkropp med onormalt brott.*

### 5.2 Hypotestest

Från tabellerna med resultat från hypotestesten kan vissa slutsatser dras. Hypotestesten bygger på antagandet om att provningarna för respektive grupp är normalfördelade. För att avgöra om detta är en rimlig approximation krävs många fler provningar. Antagandet om normalfördelning är därmed inte helt välgrundat men det ger en möjlighet att jämföra olika provningar.

En svårighet är att sätta gränsen för med vilken säkerhet som hypotesen kan förkastas. Vid användning av hypotestester är en vanlig nivå 95% säkerhet. Med en säkerhetsnivå på 95% skall alla värden som är större än 0,05 tolkas som att försöken inte kan särskiljas utan måste betraktas som att de kan vara lika. I denna utvärdering används säkerhetsnivån 95%.

### 5.3 Dubbel limmängd, EN 302-1

Hypotestestet påvisar att dubbel limmängd är ett allvarligt fel, där EP är det lim som påverkas minst. Tilläggas bör att vid provning med EN får samtliga lim en högre hållfasthet med dubbel limmängd. En anledning kan vara att en tjockare limfog ger styvare limstycken relativt limmet. Som tidigare nämns i rapporten leder detta till en jämnare spänningsfördelning, vilket i sin tur leder till högre hållfasthet för limfogen.

Vid pressning av lameller med dubbel limmängd flyter mer lim ut från limfogen än för lameller med normal mängd lim. En visuell granskning av provkroppen kan inte påvisa att limfogen blivit tjockare men resultatet visar att en förändring har skett. En annan anledning till att provkropparna blir starkare, med mer applicerat lim, kan vara att den ökade mängden lim ger en bättre belimning utan att limfogstjockleken ökar.

### 5.4 För djupa och för grunda spår, EN 302-1

Hypotestestet visar att det är skillnad mellan samtliga referenser och de provbitar som antingen har för djupa eller för grunda spår. Det visar att provningsmetoden är känslig för hur djupa spår är. Med för djup fräsning blir provkroppen svagare och klarar inte så hög spänning. Med en för grund fräsning blir provkroppen starkare.

För fallet med grunda spår antogs felet vara så stort att bara träets skjuvhållfasthet skulle testas. Resultatet av provningarna visar i tabell 2 att det är stor skillnad mellan maximal skjuvspänning för respektive lim. Om provningarna bara skulle testa träets skjuvhållfasthet skulle resultatet var oberoende av vilket lim som används, vilket inte är fallet.

### 5.5 Snedställning, EN 302-1

Både den diagonala och horisontella snedställningen påverkar EP, där resultat från horisontella förskjutningen är signifikant skild från referensen för EP på 95% nivån. Limmen PRF och PUR blir näst intill opåverkade av snedställningarna.

Resultat som bara påverkar ett lim är svåra att tolka. En anledning till EP-limmets högre känslighet för snedställningarna kan vara limmets höga hållfasthet relativt PRF och PUR. Vilka andra egenskaper ett lim, som blir påverkade av snedställningar, har går ej att säga utifrån studien.

### 5.6 ASTM D905

Hypotestestet för ASTM ger ett rätt entydigt resultat. Som tidigare nämns har PUR så stor variation att det är svårt att dra tillförlitliga slutsatser för limmet. I övrigt kan det konstateras att alla pålagda fel ger upphov till att resultatet inte kan användas som värde för limmets skjuvhållfasthet, med ett undantag. Undantaget är då en provkropp med PRF har en för grund fräst avsats.



I efterhand kan det konstateras att det vore mer intressant att testa ett mellanlägg på mindre än 1 mm i stället för ett större mellanlägg.

## 5.7 ASTM D905 utan adhesiva brott

Eftersom spridningen i maximal skjuvspänning varierar stort för provningar med ASTM och limmet PUR görs ett försök till att minska spridningen och därmed kunna använda PUR i jämförelser. Vid ASTM-provning för limmet PUR sker många rent adhesiva brott. Många av dessa provningar har mycket låga maximala skjuvspänningar. Genom att utesluta dessa värden var förhoppningen att minska spridningen och därmed kunna dra fler slutsatser från provningarna.

För EN finns inte samma behov av att gallra i resultatet från provningarna eftersom variationskoefficienten ligger på rimliga nivåer för samtliga grupper. Antal provningar som har rent adhesiva brott för EN är mycket begränsade.

Att ta bort alla prover med adhesiva brott är ett sätt att försöka minska innerbörden av provbitar med mycket låg hållfasthet. Varför PUR för ASTM ger ett så spritt resultat är svårt att finna rätt orsak till. Det finns många faktorer som påverkar. En orsak som kan bidra till spridning är att vid limningen där tejp används för att hålla ihop lamellerna. Anledningen för tejpningen är att underlätta hantering av lamellerna vid pressningen. Trots det tunna lagret tejp kan detta ge felaktiga tryckkrafter och varierande spänningsförhållande i lamellen. Samma metod används vid alla limtillfällen. För EP och PRF påverkar inte denna tejpning resultatet. Spridningen kan bero på att provningsmetoden ASTM inte passar för lim som PUR. En annan faktor till låg hållfasthet kan vara dålig vätning över vissa områden i limfogen.

Hypotestestet utan adhesiva brott gav andra värden än det med adhesiva brott. För samtliga pålagda fel, utom för 1 mm mellanlägg, sjunker signifikansnivån vilket gör att mer säkra påståenden om gruppernas skillnader kan sägas.

### 5.7.1 Hypotestestet utan adhesiva brott

Då provningar med adhesiva brott inte beaktas blir resultatet av hypotestestet ändå att få skillnader mellan olika provningar kan styrkas. En orsak till att så få skillnader kan påvisas är att referensgruppen trots utsorteringen har en hög varians. Efter utsorteringen är variationskoefficienten för referensgruppen 22,3%, vilket är en marginell minskning från de ursprungliga 24,7%.

Hypotesen, då provbitar med adhesiva brott ej beaktas, visar på att då provkroppen antingen har 0,5 mm för djup eller för grund avsats påverkas resultatet med en hög signifikansnivå, mer än 95% säkerhet. Även 2 mm mellanlägg påverkar resultatet, men dock på en lägre signifikansnivå. För övriga pålagda fel kan inget sägas.

Ur tabell 6 och 7 kan även utläsas att 1 mm mellanlägg övergår från att på en hög signifikansnivå vara skild från referensen, till att provningar kan tillhöra samma fördelning. Detta uppseendeväckande resultat kan förklaras genom att då ingen gallring sker är variationskoefficienten för provningarna mycket hög (55%). Hälften av brotten är rent adhesiva med mycket låga maximala skjuvspänningar, då dessa gallras ut sjunker variationskoefficienten till 10%. Även medelvärdet för de maximala skjuvspänningarna ändrar sig markant då gallring sker. Den stora skillnaden gör att provningar med och utan de rent adhesiva brotten kan betraktas som två helt separata provningar. Antagandet om att proverna är normalfördelade är ett rent felaktigt antagande för gruppen med 1 mm mellanlägg då ingen gallring sker.

## 5.8 Jämförelse mellan EN och ASTM

Tabell 8 är en jämförelse mellan EN och ASTM som påvisar att referenserna med EP och PUR får en markant skillnad då olika metoder används. För referenserna till PRF är signifikansnivån för hög för att påståande om olikhet mellan provningsmetoderna skall kunna konstateras.

Medelvärdena för de maximala skjuvspänningarna betar sig olika för limmen. EP och PUR har högre medelvärde medan PRF har ett lägre värde för provning med EN gentemot ASTM. Eftersom hypotestestet mellan provningsmetoderna ger olika resultat för olika lim kan ingen direkt slutsats dras.

Då hypotestestet utförs för dubbel limmängd blir resultatet att sannolikheten för att provningarna ger olika resultat är mycket stor. Medelvärdena av de maximala skjuvspänningarna betar sig som referensgruppen, EP och PUR har ett högre värde medan PRF har ett lägre värde för provningar med EN i förhållande till ASTM.

Återigen är resultatet från referensgruppen för PUR av mindre intresse då provningarna med ASTM ger ett spritt resultat.

## 5.9 Sprödheten hos limmerna

Ett sprödare lim borde vara mer känsligt för de testade snedställningarna. Från våra resultat verkar EP sprödst eftersom signifikanta skillnader för snedställningar oftast uppkommer för EP. Varför EP uppträder mer sprött än PRF kan studien inte förklara.

## 5.10 Jämförelse mot gjorda FE-analyser

För provkropparna EN och ASTM finns det finita element analyser på bland annat hur spänningsfördelningen ser ut i provkropparna. Studien visar att spänningsfördelningen är jämnare för EN. Med en jämnare fördelning borde högre skjuvspänningar kunna uppmätas. Den teoretiska studien kan alltså inte styrkas av dessa experimentella provningar. [1]

## 6 Slutsatser och fortsättningsförslag

Syftet med arbetet var att utvärdera och skapa en överskådlig jämförelse mellan provningsmetoderna. Med hjälp av resultat, diskussion och nedanstående slutsatser i punktform ges ett försök till en överskådlig jämförelse och utvärdering av provningsmetoderna.

### 6.1 EN 302-1

- EN är mycket känslig för djup eller för grund fräsning.
- EN-provkroppar klarar en högre skjuvspänning då dubbel limmängd appliceras.
- Diagonal snedställning är det enda pålagda felet som resultatet blir opåverkad av för samtliga lim.
- Det finns risk att materialet slår sig vid tillverkning av EN-provkroppar. I skeva eller sneda provkroppar uppkommer krafter när provkroppen spänns in. Om provkroppen redan har spänningar då provningen börjar, minskar den maximala skjuvspänningen som uppmäts.

### 6.2 ASTM D905

- Provningsarna med limmet PUR är ej tillförlitliga.
- ASTM blir markant påverkad av nästan alla pålagda fel.
- Med ASTM klarar EP en mindre skjuvspänning medan PRF klarar en högre skjuvspänning då dubbel limmängd appliceras.

### 6.3 Jämförelse mellan EN 302-1 och ASTM D905

- Vid jämförelse mellan referenserna för respektive provningsmetod blir det skillnad i resultatet för EP men inte för PRF.
- När dubbel limmängd appliceras är resultatet olika mellan provningsmetoderna.
- Olika lim påverkas olika av de pålagda felen. Provningsmetoderna kan därmed anses vara instabila.
- Utan tillgång till numeriskt styrda maskiner vid tillverkning är risken stor att känsliga delar av provkroppen, avsatser för ASTM och spår för EN, tillverkas med felaktiga mått. Resultat från experiment visar att  $-0,5/+0,5$  mm felfräsning i EN-provkroppen ger större avvikelse än  $-0,5/+0,5$  mm felfräsning i ASTM-provkroppen från respektive referens. Dock är båda metoderna känsliga för felfräsning.
- Hanteringen av råmaterialet som används för respektive metod innebär ingen större skillnad. Även tillverkningen av provkropparna är likvärdig i svårighetsgrad.

## 6.4 Fortsättningsförslag

Området trälimfogar är omfattande, där många studier kan göras. Förslag till andra provningstyper och undersökningar som kan vara av intresse:

- Provning med gran som material.
- Provning med andra snedställningar. Till exempel mindre mellanlägg vid snedbelastning.
- Provning med andra värden på felräkning.
- Inverkan av inspänningskrafter i EN-provkroppen.
- Inverkan av klimat i resultat.
- Verifiera om stora skillnader i E-modulen eller densiteten ger stor spridning i resultat.

## 7 Referenser

- [1] Serrano, E. (2002) *On the Mechanical Behaviour of Test Specimens for Wood-Adhesive Bonds. Report TVSM-3063*. Div. of Structural Mechanics, Lund University, Lund, Sweden.
- [2] Adams, D. R. and Wake, C. W. (1984) *Structural Adhesive Joints in Engineering*. Elsevier Applied Science Publishers Ltd, Ripple Road, Barking, Essex, England.
- [3] Serrano, E. *Trämekanikdagarna 2000. Rapport TVBK-3043 Lund 2000*. Institutionen för bygg- och miljöteknologi, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet.
- [4] Serrano, E. Personlig kommunikation, maj 2004. Avd. för byggnadsmekanik, Lunds tekniska högskola, Lund, Sverige.
- [5] Blom, G. (1984) *Statistikteori med tillämpningar, andra upplagan*. Studentlitteratur.
- [6] EN 302-1 : 1992 E. *Adhesives for load-bearing timber structures – Test methods – Part 1: Determination of bond strength in longitudinal tensile shear*. European Committee for Standardization.
- [7] ASTM D 905 – 98. *Standard Test Method for Strength Properties of Adhesive Bonds in Shear by Compression Loading*. ASTM International.
- [8] Raknes, E. (1986) *trälimning*. Träteck, Stockholm, Sverige.
- [9] Wewo-Spezialharz EP 20 / VP1. Wewo-Chemie GMBH.  
Casosinol 1711. Casco Products AB.  
Purbond CR 421. Purbond AG.



# Bilaga A

## Provbitarnas placering

EN 302 provbitarna ligger fyra i längden och fem i bredden. Totalt 20 stycken som är namngivna efter följande:

1-1.	1-2.	1-3.	1-4.
2-1.	2-2.	2-3.	2-4.
3-1.	3-2.	3-3.	3-4.
4-1.	4-2.	4-3.	4-4.
5-1.	5-2.	5-3.	5-4.

ASTM D905 provbitarna ligger 12 i längden och två i bredden. Totalt 24 stycken som är namngivna efter följande:

1-1.	1-2.	1-3.	1-4.	1-5.	1-6.	1-7.	1-8.	1-9.	1-10.	1-11.	1-12.
2-1.	2-2.	2-3.	2-4.	2-5.	2-6.	2-7.	2-8.	2-9.	2-10.	2-11.	2-12.





## Bilaga B

Varje provkropp har ett unikt namn. Först i namnet beskrivs vilket lim som används. De två bokstäverna innan numrering beskriver vilka lameller som används vid limningen. Siffrorna i namnet beskriver placeringen, se Bilaga A.

Sammanställning av resultat från EN 302-1 provningar.

EN		Brott i trä (%)	Max Tau (MPa)	Densitet 1 (kg/m <sup>3</sup> )	Densitet 2 (kg/m <sup>3</sup> )	E-mod 1 (Gpa)	E-mod 2 (Gpa)
Referens	epab1-4	20	15,20	786,1	807,9	14,43	12,55
	epab2-1	60	17,15	786,1	807,9	14,43	12,55
	epab2-2	60	15,32	786,1	807,9	14,43	12,55
	epab3-1	90	16,61	786,1	807,9	14,43	12,55
	epab3-2	60	16,70	786,1	807,9	14,43	12,55
	epab3-3	50	18,50	786,1	807,9	14,43	12,55
	epab3-4	80	17,62	786,1	807,9	14,43	12,55
	epab5-3	90	15,98	786,1	807,9	14,43	12,55
	epcd1-1	30	15,28	766,8	804,9	16,91	11,66
	epcd1-2	0	16,24	766,8	804,9	16,91	11,66
	epcd2-2	60	15,25	766,8	804,9	16,91	11,66
	epcd2-3	80	15,87	766,8	804,9	16,91	11,66
	epcd2-4	80	15,49	766,8	804,9	16,91	11,66
	epcd3-1	30	16,83	766,8	804,9	16,91	11,66
	epcd3-3	60	16,26	766,8	804,9	16,91	11,66
epcd4-4	30	15,73	766,8	804,9	16,91	11,66	
epef	epef1-1	80	15,54	705,3	720	12,94	15,32
	epef1-2	80	15,18	705,3	720	12,94	15,32
	epef1-3	100	13,29	705,3	720	12,94	15,32
	epef2-2	90	14,64	705,3	720	12,94	15,32
	epef2-3	100	14,84	705,3	720	12,94	15,32
	epef2-4	100	14,72	705,3	720	12,94	15,32
	epef3-4	90	13,87	705,3	720	12,94	15,32
	epef4-1	90	14,89	705,3	720	12,94	15,32
	Diagonal	epab1-1	80	17,26	786,1	807,9	14,43
epab1-3		30	17,32	786,1	807,9	14,43	12,55
epab4-4		80	17,59	786,1	807,9	14,43	12,55
epab5-2		60	14,98	786,1	807,9	14,43	12,55

	epcd1-4	50	16,64	766,8	804,9	16,91	11,66
	epcd2-1	60	13,03	766,8	804,9	16,91	11,66
	epcd3-2	70	14,73	766,8	804,9	16,91	11,66
	epcd5-3	70	12,66	766,8	804,9	16,91	11,66
	epef3-1	100	14,46	705,3	720	12,94	15,32
	epef4-3	100	13,11	705,3	720	12,94	15,32
	epef5-2	100	11,68	705,3	720	12,94	15,32
	epef5-4	100	10,66	705,3	720	12,94	15,32
Horisontell	epab1-2	20	13,53	786,1	807,9	14,43	12,55
	epab2-4	70	15,69	786,1	807,9	14,43	12,55
	epab4-1	90	15,48	786,1	807,9	14,43	12,55
	epab4-3	40	14,94	786,1	807,9	14,43	12,55
	epcd3-4	40	15,72	766,8	804,9	16,91	11,66
	epcd4-2	10	14,47	766,8	804,9	16,91	11,66
	epcd4-3	30	16,65	766,8	804,9	16,91	11,66
	epcd5-1	40	14,66	766,8	804,9	16,91	11,66
	epef2-1	90	14,43	705,3	720	12,94	15,32
	epef3-2	100	14,83	705,3	720	12,94	15,32
	epef3-3	90	15,10	705,3	720	12,94	15,32
	epef4-4	90	10,90	705,3	720	12,94	15,32
Dubbel lim	epgh2-1	70	15,49	833,3	696,1	13,94	16,64
	epgh2-2	90	16,02	833,3	696,1	13,94	16,64
	epgh2-3	60	16,50	833,3	696,1	13,94	16,64
	epgh2-4	50	15,61	833,3	696,1	13,94	16,64
	epgh3-1	80	17,02	833,3	696,1	13,94	16,64
	epgh3-2	100	15,97	833,3	696,1	13,94	16,64
	epgh3-3	50	16,19	833,3	696,1	13,94	16,64
	epgh3-4	80	16,58	833,3	696,1	13,94	16,64
	epgh4-1	90	15,65	833,3	696,1	13,94	16,64
	epgh4-2	90	16,00	833,3	696,1	13,94	16,64
	epgh4-3	80	16,77	833,3	696,1	13,94	16,64
	epgh4-4	90	16,07	833,3	696,1	13,94	16,64
Grunt spår	epst1-1	100	24,74	713,1	758,3	15,29	9,27
	epst1-3	100	22,84	713,1	758,3	15,29	9,27
	epst2-1	100	23,74	713,1	758,3	15,29	9,27
	epst2-3	100	25,29	713,1	758,3	15,29	9,27
	epst3-1	100	24,56	713,1	758,3	15,29	9,27
	epst3-3	100	25,58	713,1	758,3	15,29	9,27
	epst4-1	100	23,55	713,1	758,3	15,29	9,27

	epst4-3	100	24,89	713,1	758,3	15,29	9,27
	epst5-1	100	24,86	713,1	758,3	15,29	9,27
	epst5-3	100	23,71	713,1	758,3	15,29	9,27
Djupt spår	epst1-4	100	9,65	713,1	758,3	15,29	9,27
	epst2-4	100	11,52	713,1	758,3	15,29	9,27
	epst3-4	90	13,75	713,1	758,3	15,29	9,27
	epst4-4	100	12,80	713,1	758,3	15,29	9,27
	epst5-4	100	12,20	713,1	758,3	15,29	9,27
Referens	prfij1-2	20	13,93	780,8	774,1	16,14	16,40
	prfij2-4	90	11,44	780,8	774,1	16,14	16,40
	prfij3-1	60	14,80	780,8	774,1	16,14	16,40
	prfij3-2	50	13,25	780,8	774,1	16,14	16,40
	prfij3-3	70	14,06	780,8	774,1	16,14	16,40
	prfij4-1	90	11,35	780,8	774,1	16,14	16,40
	prfij4-4	90	12,61	780,8	774,1	16,14	16,40
	prfij5-3	90	12,80	780,8	774,1	16,14	16,40
	prfkl1-4	100	12,00	674,1	720	14,00	14,99
	prfkl2-3	90	9,71	674,1	720	14,00	14,99
	prfkl2-4	90	11,37	674,1	720	14,00	14,99
	prfkl3-1	100	10,18	674,1	720	14,00	14,99
	prfkl3-2	90	10,20	674,1	720	14,00	14,99
	prfkl4-1	90	11,20	674,1	720	14,00	14,99
	prfkl4-3	100	9,38	674,1	720	14,00	14,99
	prfkl5-2	90	11,00	674,1	720	14,00	14,99
	prfmn2-1	90	8,63	696	736,2	17,20	18,72
	prfmn2-3	80	11,49	696	736,2	17,20	18,72
	prfmn2-4	70	13,04	696	736,2	17,20	18,72
	prfmn3-2	80	10,64	696	736,2	17,20	18,72
	prfmn3-4	90	10,39	696	736,2	17,20	18,72
	prfmn4-1	60	11,57	696	736,2	17,20	18,72
	prfmn5-2	90	10,55	696	736,2	17,20	18,72
	prfmn5-3	80	11,48	696	736,2	17,20	18,72
Diagonal	prfij2-1	0	11,35	780,8	774,1	16,14	16,40
	prfij2-3	20	14,70	780,8	774,1	16,14	16,40
	prfij3-4	70	12,96	780,8	774,1	16,14	16,40
	prfij4-2	20	14,79	780,8	774,1	16,14	16,40

	prfkl1-1	90	10,14	674,1	720	14,00	14,99
	prfkl2-2	90	9,47	674,1	720	14,00	14,99
	prfkl3-3	90	9,56	674,1	720	14,00	14,99
	prfkl4-4	30	11,90	674,1	720	14,00	14,99
	prfmn1-1	100	7,57	696	736,2	17,20	18,72
	prfmn1-4	20	14,45	696	736,2	17,20	18,72
	prfmn2-2	70	12,63	696	736,2	17,20	18,72
	prfmn3-3	70	12,13	696	736,2	17,20	18,72
Horisontell	prfij1-1	0	11,40	780,8	774,1	16,14	16,40
	prfij1-4	80	12,53	780,8	774,1	16,14	16,40
	prfij2-2	90	13,11	780,8	774,1	16,14	16,40
	prfij4-3	70	13,10	780,8	774,1	16,14	16,40
	prfkl1-3	90	12,92	674,1	720	14,00	14,99
	prfkl3-4	100	11,24	674,1	720	14,00	14,99
	prfkl4-2	90	11,32	674,1	720	14,00	14,99
	prfkl5-1	90	13,34	674,1	720	14,00	14,99
	prfmn1-3	90	11,45	696	736,2	17,20	18,72
	prfmn4-2	90	9,72	696	736,2	17,20	18,72
	prfmn4-4	90	9,65	696	736,2	17,20	18,72
	prfmn5-1	90	10,98	696	736,2	17,20	18,72
Dubbel lim	prfop2-1	100	15,47	686,7	681	12,78	13,12
	prfop2-2	100	15,01	686,7	681	12,78	13,12
	prfop2-3	70	13,22	686,7	681	12,78	13,12
	prfop2-4	90	11,89	686,7	681	12,78	13,12
	prfop3-1	100	13,41	686,7	681	12,78	13,12
	prfop3-2	100	12,39	686,7	681	12,78	13,12
	prfop3-3	60	12,01	686,7	681	12,78	13,12
	prfop3-4	90	11,81	686,7	681	12,78	13,12
	prfop4-1	100	12,21	686,7	681	12,78	13,12
	prfop4-2	90	15,25	686,7	681	12,78	13,12
	prfop4-3	90	12,04	686,7	681	12,78	13,12
	prfop4-4	100	12,00	686,7	681	12,78	13,12
Grunt spår	prfst1-1	100	16,94	697,1	737,3	14,01	11,51
	prfst1-3	100	17,88	697,1	737,3	14,01	11,51
	prfst2-1	100	20,18	697,1	737,3	14,01	11,51
	prfst2-3	100	18,70	697,1	737,3	14,01	11,51
	prfst3-1	100	20,27	697,1	737,3	14,01	11,51
	prfst3-3	100	21,23	697,1	737,3	14,01	11,51
	prfst4-1	100	21,31	697,1	737,3	14,01	11,51

	prfst4-3	100	19,88	697,1	737,3	14,01	11,51
	prfst5-1	100	22,00	697,1	737,3	14,01	11,51
	prfst5-3	100	19,44	697,1	737,3	14,01	11,51
Djupt spår	prfst1-2	100	8,93	697,1	737,3	14,01	11,51
	prfst1-4	100	8,06	697,1	737,3	14,01	11,51
	prfst2-2	100	9,01	697,1	737,3	14,01	11,51
	prfst2-4	100	9,18	697,1	737,3	14,01	11,51
	prfst3-2	100	9,20	697,1	737,3	14,01	11,51
	prfst3-4	100	9,73	697,1	737,3	14,01	11,51
	prfst4-2	100	9,92	697,1	737,3	14,01	11,51
	prfst4-4	100	9,56	697,1	737,3	14,01	11,51
	prfst5-2	100	9,85	697,1	737,3	14,01	11,51
	prfst5-4	100	9,03	697,1	737,3	14,01	11,51
Referens	purab1-1	80	11,61	698,2	682,9	12,75	12,98
	purab1-2	0	11,57	698,2	682,9	12,75	12,98
	purab1-3	90	11,67	698,2	682,9	12,75	12,98
	purab1-4	0	10,58	698,2	682,9	12,75	12,98
	purab2-2	40	12,41	698,2	682,9	12,75	12,98
	purab2-4	0	11,44	698,2	682,9	12,75	12,98
	purab3-3	70	12,12	698,2	682,9	12,75	12,98
	purab4-1	30	12,55	698,2	682,9	12,75	12,98
	purcd1-4	10	9,37	687,9	678,4	13,11	15,08
	purcd2-1	90	12,43	687,9	678,4	13,11	15,08
	purcd2-4	80	11,58	687,9	678,4	13,11	15,08
	purcd3-2	100	13,38	687,9	678,4	13,11	15,08
	purcd3-3	100	13,42	687,9	678,4	13,11	15,08
	purcd5-1	30	11,99	687,9	678,4	13,11	15,08
	purcd5-2	50	12,84	687,9	678,4	13,11	15,08
	purcd5-3	70	13,66	687,9	678,4	13,11	15,08
	puref1-2	0	11,22	689,7	623,3	12,78	10,33
	puref2-4	0	12,94	689,7	623,3	12,78	10,33
	puref3-3	90	13,82	689,7	623,3	12,78	10,33
	puref4-1	0	11,27	689,7	623,3	12,78	10,33
	puref4-2	0	10,24	689,7	623,3	12,78	10,33
	puref5-1	0	11,51	689,7	623,3	12,78	10,33
	puref5-3	100	11,74	689,7	623,3	12,78	10,33
	puref5-4	0	11,16	689,7	623,3	12,78	10,33

Diagonal	purab3-1	50	11,23	698,2	682,9	12,75	12,98
	purab4-2	70	12,51	698,2	682,9	12,75	12,98
	purab4-3	80	12,26	698,2	682,9	12,75	12,98
	purab4-4	70	11,96	698,2	682,9	12,75	12,98
	purcd2-3	100	12,02	687,9	678,4	13,11	15,08
	purcd3-1	80	12,92	687,9	678,4	13,11	15,08
	purcd3-4	80	11,33	687,9	678,4	13,11	15,08
	purcd4-2	90	13,86	687,9	678,4	13,11	15,08
	puref2-3	90	13,78	689,7	623,3	12,78	10,33
	puref3-1	10	12,36	689,7	623,3	12,78	10,33
	puref3-4	20	13,48	689,7	623,3	12,78	10,33
	puref5-2	10	10,80	689,7	623,3	12,78	10,33
Horisontell	purab2-1	40	12,05	698,2	682,9	12,75	12,98
	purab2-3	70	12,38	698,2	682,9	12,75	12,98
	purab3-2	90	13,09	698,2	682,9	12,75	12,98
	purab3-4	0	10,03	698,2	682,9	12,75	12,98
	purcd1-2	60	13,14	687,9	678,4	13,11	15,08
	purcd1-3	100	11,91	687,9	678,4	13,11	15,08
	purcd4-1	30	13,22	687,9	678,4	13,11	15,08
	purcd4-4	20	11,19	687,9	678,4	13,11	15,08
	puref1-3	20	13,89	689,7	623,3	12,78	10,33
	puref1-4	0	10,97	689,7	623,3	12,78	10,33
	puref2-1	0	10,69	689,7	623,3	12,78	10,33
	puref3-2	0	11,23	689,7	623,3	12,78	10,33
Dubbel lim	purgh2-1	0	15,29	738,7	698,6	14,21	14,05
	purgh2-2	70	15,01	738,7	698,6	14,21	14,05
	purgh2-3	70	14,36	738,7	698,6	14,21	14,05
	purgh2-4	10	11,72	738,7	698,6	14,21	14,05
	purgh3-1	90	14,33	738,7	698,6	14,21	14,05
	purgh3-2	40	15,22	738,7	698,6	14,21	14,05
	purgh3-3	50	11,76	738,7	698,6	14,21	14,05
	purgh3-4	20	11,93	738,7	698,6	14,21	14,05
	purgh4-1	90	13,92	738,7	698,6	14,21	14,05
	purgh4-2	70	15,78	738,7	698,6	14,21	14,05
	purgh4-3	100	11,71	738,7	698,6	14,21	14,05
	purgh4-4	50	12,19	738,7	698,6	14,21	14,05
Grunt spår	purst1-1	100	16,67	580,9	692,9	8,79	14,78
	purst2-1	100	16,77	580,9	692,9	8,79	14,78

	purst3-1	100	15,86	580,9	692,9	8,79	14,78
	purst4-1	100	16,40	580,9	692,9	8,79	14,78
	purst5-1	100	16,69	580,9	692,9	8,79	14,78
	purst1-3	100	18,83	580,9	692,9	8,79	14,78
	purst2-3	100	18,12	580,9	692,9	8,79	14,78
	purst3-3	100	16,48	580,9	692,9	8,79	14,78
	purst4-3	100	16,31	580,9	692,9	8,79	14,78
	purst5-3	100	16,08	580,9	692,9	8,79	14,78
Djupt spår	purst1-2	50	8,99	580,9	692,9	8,79	14,78
	purst2-2	100	9,02	580,9	692,9	8,79	14,78
	purst3-2	100	8,35	580,9	692,9	8,79	14,78
	purst4-2	100	8,74	580,9	692,9	8,79	14,78
	purst5-2	70	7,25	580,9	692,9	8,79	14,78
	purst1-4	100	9,40	580,9	692,9	8,79	14,78
	purst2-4	100	8,41	580,9	692,9	8,79	14,78
	purst3-4	100	8,81	580,9	692,9	8,79	14,78
	purst4-4	100	8,85	580,9	692,9	8,79	14,78
	purst5-4	100	10,08	580,9	692,9	8,79	14,78





Sammanställning av resultat från ASTM provningar.

**ASTM**

		Brott i trä (%)	Max Tau (MPa)	Densitet 1 (kg/m <sup>3</sup> )	Densitet 2 (kg/m <sup>3</sup> )	E-mod 1 (Gpa)	E-mod 2 (Gpa)	
Referens	epab1-4	70	12.18	762.66	765.04	19.09	16.76	
	epab2-4	80	15.08	762.66	765.04	19.09	16.76	
	epab1-6	90	15.14	762.66	765.04	19.09	16.76	
	epab2-6	90	14.02	762.66	765.04	19.09	16.76	
	epab1-10	50	14.36	762.66	765.04	19.09	16.76	
	epab2-10	80	12.45	762.66	765.04	19.09	16.76	
	epab1-12	50	14.27	762.66	765.04	19.09	16.76	
	epab2-12	90	14.01	762.66	765.04	19.09	16.76	
	epcd1-4	90	15.17	761.62	711.13	17.40	14.05	
	epcd2-4	100	14.69	761.62	711.13	17.40	14.05	
	epcd1-6	70	13.94	761.62	711.13	17.40	14.05	
	epcd2-6	100	13.61	761.62	711.13	17.40	14.05	
	epcd1-10	80	14.24	761.62	711.13	17.40	14.05	
	epcd2-10	90	12.14	761.62	711.13	17.40	14.05	
	epcd1-12	60	14.66	761.62	711.13	17.40	14.05	
	epcd2-12	70	14.00	761.62	711.13	17.40	14.05	
		epef1-4	100	16.15	720.84	744.53	13.18	16.61
		epef2-4	100	16.63	720.84	744.53	13.18	16.61
epef1-6		100	15.98	720.84	744.53	13.18	16.61	
epef2-6		90	15.11	720.84	744.53	13.18	16.61	
epef1-10		100	16.07	720.84	744.53	13.18	16.61	
epef2-10		90	15.74	720.84	744.53	13.18	16.61	
epef1-12		40	13.96	720.84	744.53	13.18	16.61	
epef2-12		60	15.22	720.84	744.53	13.18	16.61	
1 mm	epab1-1	70	12.44	762.66	765.04	19.09	16.76	
	epab2-1	60	11.35	762.66	765.04	19.09	16.76	
	epab1-5	70	10.69	762.66	765.04	19.09	16.76	
	epab2-5	100	11.07	762.66	765.04	19.09	16.76	
	epab1-9	60	10.98	762.66	765.04	19.09	16.76	
	epab2-9	90	10.53	762.66	765.04	19.09	16.76	
	epcd1-1	60	11.90	761.62	711.13	17.40	14.05	
	epcd2-1	50	10.62	761.62	711.13	17.40	14.05	
	epcd1-5	100	11.30	761.62	711.13	17.40	14.05	

	epcd2-5	100	11.03	761.62	711.13	17.40	14.05
	epcd1-9	70	10.68	761.62	711.13	17.40	14.05
	epcd2-9	60	10.68	761.62	711.13	17.40	14.05
	epef1-1	60	10.45	720.84	744.53	13.18	16.61
	epef2-1	90	12.29	720.84	744.53	13.18	16.61
	epef1-5	100	12.72	720.84	744.53	13.18	16.61
	epef2-5	100	15.73	720.84	744.53	13.18	16.61
	epef1-9	100	12.71	720.84	744.53	13.18	16.61
	epef2-9	100	13.07	720.84	744.53	13.18	16.61
2 mm	epab1-3	90	10.67	762.66	765.04	19.09	16.76
	epab2-3	90	10.68	762.66	765.04	19.09	16.76
	epab1-7	80	10.64	762.66	765.04	19.09	16.76
	epab2-7	100	10.48	762.66	765.04	19.09	16.76
	epab1-8	60	10.57	762.66	765.04	19.09	16.76
	epab2-8	100	10.61	762.66	765.04	19.09	16.76
	epcd1-3	90	10.97	761.62	711.13	17.40	14.05
	epcd2-3	80	12.15	761.62	711.13	17.40	14.05
	epcd1-7	80	10.49	761.62	711.13	17.40	14.05
	epcd2-7	50	10.17	761.62	711.13	17.40	14.05
	epcd1-8	70	9.68	761.62	711.13	17.40	14.05
	epcd2-8	60	9.88	761.62	711.13	17.40	14.05
	epef1-3	100	11.39	720.84	744.53	13.18	16.61
	epef2-3	80	11.05	720.84	744.53	13.18	16.61
	epef1-7	90	11.72	720.84	744.53	13.18	16.61
	epef2-7	60	11.45	720.84	744.53	13.18	16.61
	epef1-8	90	11.73	720.84	744.53	13.18	16.61
	epef2-8	70	11.35	720.84	744.53	13.18	16.61
Dubbel lim	epgh1-2	100	13.34	674.91	625.00	15.35	12.41
	epgh2-2	100	13.40	674.91	625.00	15.35	12.41
	epgh1-4	100	13.26	674.91	625.00	15.35	12.41
	epgh2-4	100	13.43	674.91	625.00	15.35	12.41
	epgh1-5	100	13.15	674.91	625.00	15.35	12.41
	epgh2-5	100	13.26	674.91	625.00	15.35	12.41
	epgh1-6	100	13.21	674.91	625.00	15.35	12.41
	epgh2-6	100	13.57	674.91	625.00	15.35	12.41
	epgh1-8	100	13.13	674.91	625.00	15.35	12.41
	epgh2-8	100	12.66	674.91	625.00	15.35	12.41

	epgh1-10	100	13.31	674.91	625.00	15.35	12.41
	epgh2-10	100	12.94	674.91	625.00	15.35	12.41
Grund avs.	epst1-1	100	13.07	682.40	776.77	10.00	20.94
	epst2-1	100	13.47	682.40	776.77	10.00	20.94
	epst1-3	100	12.64	682.40	776.77	10.00	20.94
	epst2-3	100	12.71	682.40	776.77	10.00	20.94
	epst1-5	100	13.71	682.40	776.77	10.00	20.94
	epst2-5	100	13.97	682.40	776.77	10.00	20.94
	epst1-7	100	12.97	682.40	776.77	10.00	20.94
	epst2-7	100	13.45	682.40	776.77	10.00	20.94
	epst1-9	100	13.79	682.40	776.77	10.00	20.94
	epst2-9	100	14.30	682.40	776.77	10.00	20.94
	epst1-11	100	13.27	682.40	776.77	10.00	20.94
	epst2-11	100	13.34	682.40	776.77	10.00	20.94
Djup avs.	epst1-2	100	13.17	682.40	776.77	10.00	20.94
	epst2-2	100	13.14	682.40	776.77	10.00	20.94
	epst1-4	100	13.12	682.40	776.77	10.00	20.94
	epst2-4	100	12.69	682.40	776.77	10.00	20.94
	epst1-6	100	12.94	682.40	776.77	10.00	20.94
	epst2-6	80	13.29	682.40	776.77	10.00	20.94
	epst1-8	100	12.15	682.40	776.77	10.00	20.94
	epst2-8	100	12.17	682.40	776.77	10.00	20.94
	epst1-10	100	12.40	682.40	776.77	10.00	20.94
	epst2-10	100	12.44	682.40	776.77	10.00	20.94
	epst1-12	60	11.49	682.40	776.77	10.00	20.94
	epst2-12	60	11.93	682.40	776.77	10.00	20.94
Referens	prfij1-2	0	12.66	658.85	728.43	10.54	14.66
	prfij2-2	10	12.31	658.85	728.43	10.54	14.66
	prfij1-4	80	13.21	658.85	728.43	10.54	14.66
	prfij2-4	100	13.54	658.85	728.43	10.54	14.66
	prfij1-6	100	12.92	658.85	728.43	10.54	14.66
	prfij2-6	90	13.33	658.85	728.43	10.54	14.66
	prfij1-9	80	13.25	658.85	728.43	10.54	14.66
	prfij2-9	100	12.83	658.85	728.43	10.54	14.66
	prfij1-11	80	12.39	658.85	728.43	10.54	14.66
	prfij2-11	100	11.88	658.85	728.43	10.54	14.66
	prfkl1-2	100	12.81	685.15	709.94	14.47	14.22

	prfkl2-2	100	12.67	685.15	709.94	14.47	14.22
	prfkl1-4	100	12.81	685.15	709.94	14.47	14.22
	prfkl2-4	100	12.57	685.15	709.94	14.47	14.22
	prfkl1-6	100	12.85	685.15	709.94	14.47	14.22
	prfkl2-6	100	12.14	685.15	709.94	14.47	14.22
	prfkl1-9	100	12.39	685.15	709.94	14.47	14.22
	prfkl2-9	100	11.67	685.15	709.94	14.47	14.22
	prfmn1-2	100	10.07	661.13	613.06	15.62	10.89
	prfmn2-2	90	10.71	661.13	613.06	15.62	10.89
	prfmn1-4	100	10.98	661.13	613.06	15.62	10.89
	prfmn2-4	90	11.78	661.13	613.06	15.62	10.89
	prfmn1-6	100	10.98	661.13	613.06	15.62	10.89
	prfmn2-6	80	10.95	661.13	613.06	15.62	10.89
	prfmn1-9	90	10.78	661.13	613.06	15.62	10.89
	prfmn2-9	90	11.05	661.13	613.06	15.62	10.89
	prfmn1-12	100	10.90	661.13	613.06	15.62	10.89
	prfmn2-12	50	10.74	661.13	613.06	15.62	10.89
1 mm	prfij1-1	100	10.91	658.85	728.43	10.54	14.66
	prfij2-1	100	10.79	658.85	728.43	10.54	14.66
	prfij1-5	100	10.90	658.85	728.43	10.54	14.66
	prfij2-5	100	10.52	658.85	728.43	10.54	14.66
	prfij1-8	100	10.33	658.85	728.43	10.54	14.66
	prfij2-8	100	10.67	658.85	728.43	10.54	14.66
	prfkl1-1	100	13.03	685.15	709.94	14.47	14.22
	prfkl2-1	100	10.51	685.15	709.94	14.47	14.22
	prfkl1-5	50	11.62	685.15	709.94	14.47	14.22
	prfkl2-5	70	11.54	685.15	709.94	14.47	14.22
	prfkl1-8	100	10.22	685.15	709.94	14.47	14.22
	prfkl2-8	100	10.01	685.15	709.94	14.47	14.22
	prfmn1-1	100	10.59	661.13	613.06	15.62	10.89
	prfmn2-1	100	10.18	661.13	613.06	15.62	10.89
	prfmn1-5	20	8.70	661.13	613.06	15.62	10.89
	prfmn2-5	20	9.05	661.13	613.06	15.62	10.89
	prfmn1-8	20	8.85	661.13	613.06	15.62	10.89
	prfmn2-8	90	9.15	661.13	613.06	15.62	10.89
2 mm	prfij1-3	100	9.82	658.85	728.43	10.54	14.66
	prfij2-3	100	9.55	658.85	728.43	10.54	14.66

prfij1-7	100	9.82	658.85	728.43	10.54	14.66
prfij2-7	70	9.35	658.85	728.43	10.54	14.66
prfij1-10	100	9.50	658.85	728.43	10.54	14.66
prfij2-10	100	9.37	658.85	728.43	10.54	14.66
prfkl1-7	100	9.39	685.15	709.94	14.47	14.22
prfkl2-7	100	8.99	685.15	709.94	14.47	14.22
prfkl1-10	100	9.39	685.15	709.94	14.47	14.22
prfkl2-10	100	11.09	685.15	709.94	14.47	14.22
prfkl1-11	100	9.60	685.15	709.94	14.47	14.22
prfkl2-11	100	9.35	685.15	709.94	14.47	14.22
prfmn1-3	50	8.17	661.13	613.06	15.62	10.89
prfmn2-3	80	8.29	661.13	613.06	15.62	10.89
prfmn1-7	80	8.21	661.13	613.06	15.62	10.89
prfmn2-7	50	8.26	661.13	613.06	15.62	10.89
prfmn1-10	50	8.82	661.13	613.06	15.62	10.89
prfmn2-10	20	8.59	661.13	613.06	15.62	10.89
Dubbel lim prfop1-2	100	13.93	748.47	743.24	10.04	10.06
prfop2-2	100	13.68	748.47	743.24	10.04	10.06
prfop1-4	100	15.20	748.47	743.24	10.04	10.06
prfop2-4	100	14.73	748.47	743.24	10.04	10.06
prfop1-5	90	15.08	748.47	743.24	10.04	10.06
prfop2-5	100	14.80	748.47	743.24	10.04	10.06
prfop1-6	100	14.98	748.47	743.24	10.04	10.06
prfop2-6	100	14.91	748.47	743.24	10.04	10.06
prfop1-8	100	14.77	748.47	743.24	10.04	10.06
prfop2-8	100	14.87	748.47	743.24	10.04	10.06
prfop1-10	100	14.63	748.47	743.24	10.04	10.06
prfop2-10	100	14.45	748.47	743.24	10.04	10.06
Grund avs. prfst1-1	100	13.21	690.43	667.96	13.04	12.13
prfst2-1	90	12.92	690.43	667.96	13.04	12.13
prfst1-3	100	12.85	690.43	667.96	13.04	12.13
prfst2-3	100	11.13	690.43	667.96	13.04	12.13
prfst1-5	100	12.62	690.43	667.96	13.04	12.13
prfst2-5	100	11.54	690.43	667.96	13.04	12.13
prfst1-7	100	13.07	690.43	667.96	13.04	12.13
prfst2-7	100	12.24	690.43	667.96	13.04	12.13
prfst1-9	100	12.85	690.43	667.96	13.04	12.13
prfst2-9	100	12.32	690.43	667.96	13.04	12.13

	prfst1-11	100	11.67	690.43	667.96	13.04	12.13
	prfst2-11	100	11.69	690.43	667.96	13.04	12.13
Djup avs.	prfst1-2	100	11.74	690.43	667.96	13.04	12.13
	prfst2-2	80	10.48	690.43	667.96	13.04	12.13
	prfst1-4	100	11.60	690.43	667.96	13.04	12.13
	prfst2-4	80	10.43	690.43	667.96	13.04	12.13
	prfst1-6	100	11.64	690.43	667.96	13.04	12.13
	prfst2-6	100	10.68	690.43	667.96	13.04	12.13
	prfst1-8	100	11.40	690.43	667.96	13.04	12.13
	prfst2-8	100	10.55	690.43	667.96	13.04	12.13
	prfst1-10	100	11.21	690.43	667.96	13.04	12.13
	prfst2-10	90	10.30	690.43	667.96	13.04	12.13
	prfst1-12	90	11.20	690.43	667.96	13.04	12.13
	prfst2-12	90	10.87	690.43	667.96	13.04	12.13
Referens	purij1-2	0	6.63	648.45	752.93	12.91	20.10
	purij2-2	10	7.96	648.45	752.93	12.91	20.10
	purij1-5	20	8.41	648.45	752.93	12.91	20.10
	purij2-5	20	9.66	648.45	752.93	12.91	20.10
	purij1-8	10	8.76	648.45	752.93	12.91	20.10
	purij2-8	0	9.10	648.45	752.93	12.91	20.10
	purij1-11	0	5.35	648.45	752.93	12.91	20.10
	purij2-11	0	7.68	648.45	752.93	12.91	20.10
	purkl1-2	10	5.29	764.82	757.43	13.42	18.89
	purkl2-2	20	7.06	764.82	757.43	13.42	18.89
	purkl1-5	50	11.06	764.82	757.43	13.42	18.89
	purkl2-5	80	11.70	764.82	757.43	13.42	18.89
	purkl1-8	80	12.89	764.82	757.43	13.42	18.89
	purkl2-8	40	12.27	764.82	757.43	13.42	18.89
	purkl1-11	70	11.33	764.82	757.43	13.42	18.89
	purkl2-11	50	11.28	764.82	757.43	13.42	18.89
	purmn1-2	30	5.84	645.94	712.29	14.54	12.91
	purmn2-2	60	11.62	645.94	712.29	14.54	12.91
	purmn1-5	10	8.57	645.94	712.29	14.54	12.91
	purmn2-5	30	10.02	645.94	712.29	14.54	12.91
	purmn1-8	20	10.78	645.94	712.29	14.54	12.91
	purmn2-8	80	11.93	645.94	712.29	14.54	12.91
	purmn1-11	20	9.25	645.94	712.29	14.54	12.91

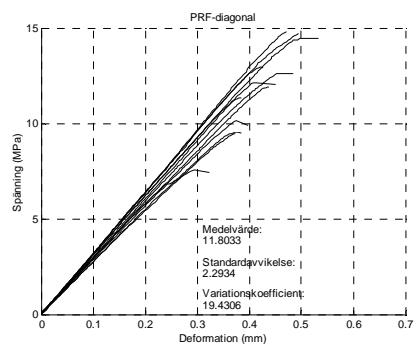
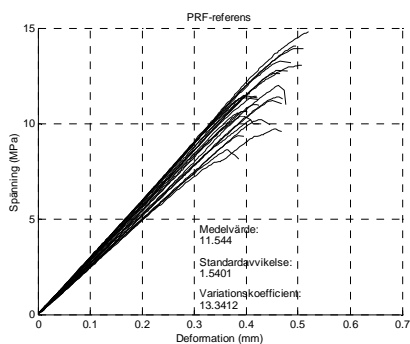
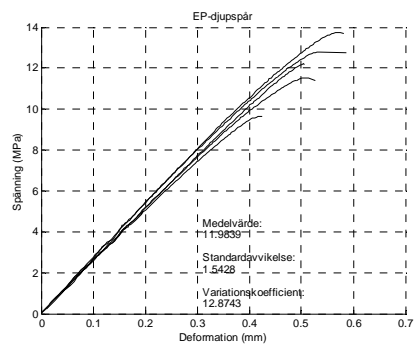
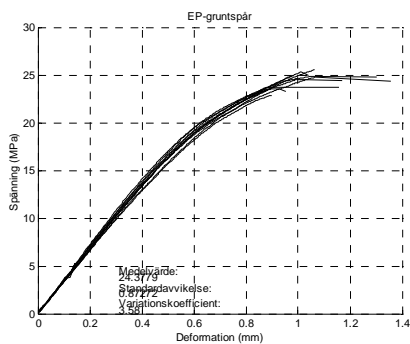
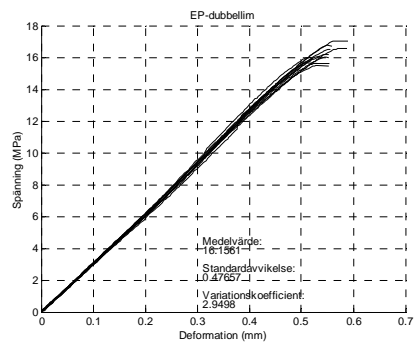
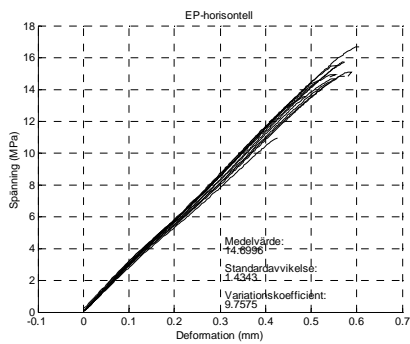
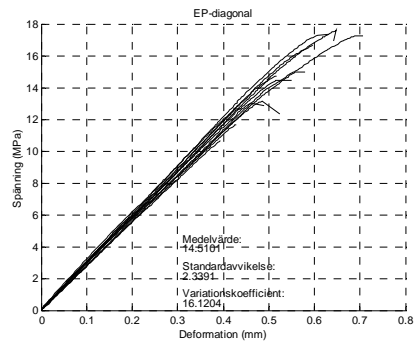
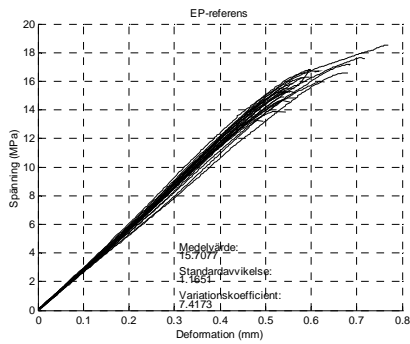
	purmn2-11	40	12.51	645.94	712.29	14.54	12.91
1 mm	purij1-1	0	4.24	648.45	752.93	12.91	20.10
	purij2-1	0	3.65	648.45	752.93	12.91	20.10
	purij1-4	0	6.97	648.45	752.93	12.91	20.10
	purij2-4	0	7.63	648.45	752.93	12.91	20.10
	purij1-9	0	7.94	648.45	752.93	12.91	20.10
	purij2-9	0	7.68	648.45	752.93	12.91	20.10
	purkl1-1	0	0.51	764.82	757.43	13.42	18.89
	purkl1-4	60	10.00	764.82	757.43	13.42	18.89
	purkl2-4	70	10.27	764.82	757.43	13.42	18.89
	purkl1-9	80	11.75	764.82	757.43	13.42	18.89
	purkl2-9	80	11.01	764.82	757.43	13.42	18.89
	purmn1-1	0	0.11	645.94	712.29	14.54	12.91
purmn2-1	0	0.16	645.94	712.29	14.54	12.91	
purmn1-4	70	9.73	645.94	712.29	14.54	12.91	
purmn2-4	50	9.93	645.94	712.29	14.54	12.91	
purmn1-9	10	8.25	645.94	712.29	14.54	12.91	
purmn2-9	30	9.71	645.94	712.29	14.54	12.91	
2 mm	purij1-6	30	8.06	648.45	752.93	12.91	20.10
	purij2-6	60	9.34	648.45	752.93	12.91	20.10
	purij1-7	10	7.08	648.45	752.93	12.91	20.10
	purij2-7	10	8.12	648.45	752.93	12.91	20.10
	purij1-10	0	7.99	648.45	752.93	12.91	20.10
	purij2-10	0	7.04	648.45	752.93	12.91	20.10
	purkl1-6	80	10.90	764.82	757.43	13.42	18.89
	purkl2-6	60	9.75	764.82	757.43	13.42	18.89
	purkl1-7	80	10.56	764.82	757.43	13.42	18.89
	purkl2-7	10	9.57	764.82	757.43	13.42	18.89
	purkl1-10	70	10.73	764.82	757.43	13.42	18.89
	purkl2-10	40	9.80	764.82	757.43	13.42	18.89
purmn1-6	10	6.88	645.94	712.29	14.54	12.91	
purmn2-6	20	8.28	645.94	712.29	14.54	12.91	
purmn1-7	10	8.21	645.94	712.29	14.54	12.91	
purmn2-7	20	9.45	645.94	712.29	14.54	12.91	
purmn1-10	10	5.30	645.94	712.29	14.54	12.91	
purmn2-10	30	8.89	645.94	712.29	14.54	12.91	

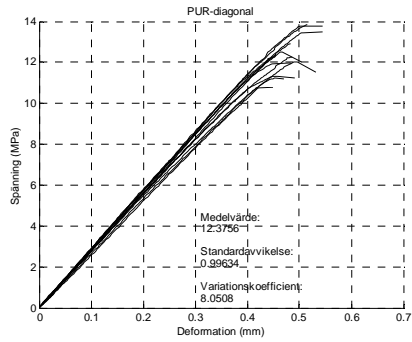
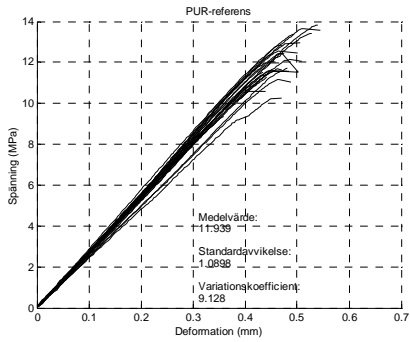
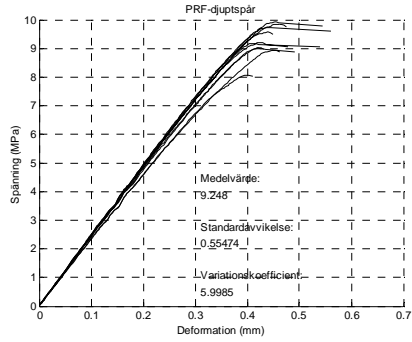
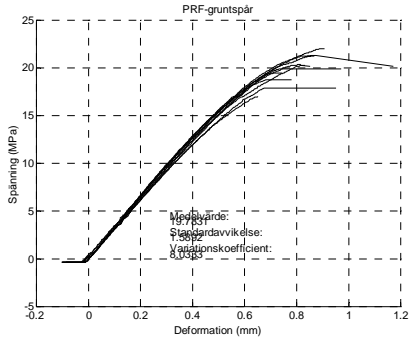
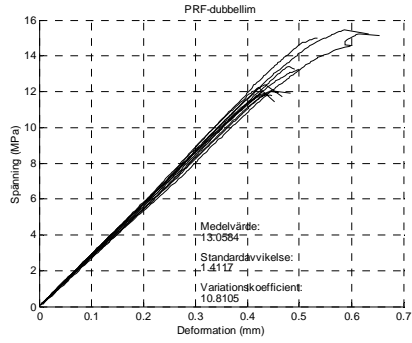
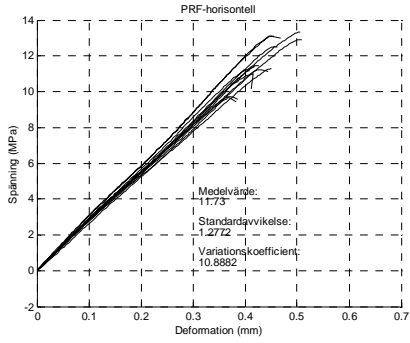
Dubbel lim	purop1-2	20	10.84	672.38	647.47	14.25	10.14
	purop2-2	100	10.70	672.38	647.47	14.25	10.14
	purop1-4	20	11.62	672.38	647.47	14.25	10.14
	purop2-4	0	11.34	672.38	647.47	14.25	10.14
	purop1-5	0	9.60	672.38	647.47	14.25	10.14
	purop2-5	0	11.49	672.38	647.47	14.25	10.14
	purop1-6	0	8.80	672.38	647.47	14.25	10.14
	purop2-6	0	10.35	672.38	647.47	14.25	10.14
	purop1-8	10	9.93	672.38	647.47	14.25	10.14
	purop2-8	20	9.47	672.38	647.47	14.25	10.14
	purop1-10	10	9.77	672.38	647.47	14.25	10.14
	purop2-10	0	5.22	672.38	647.47	14.25	10.14
Grund avs.	purst1-1	0	5.55	625.66	762.14	11.27	16.47
	purst2-1	0	8.06	625.66	762.14	11.27	16.47
	purst1-3	80	14.03	625.66	762.14	11.27	16.47
	purst2-3	0	5.57	625.66	762.14	11.27	16.47
	purst1-5	0	5.04	625.66	762.14	11.27	16.47
	purst2-5	0	3.00	625.66	762.14	11.27	16.47
	purst1-7	100	14.12	625.66	762.14	11.27	16.47
	purst2-7	100	13.98	625.66	762.14	11.27	16.47
	purst1-9	100	14.70	625.66	762.14	11.27	16.47
	purst2-9	70	11.17	625.66	762.14	11.27	16.47
	purst1-11	10	10.60	625.66	762.14	11.27	16.47
	purst2-11	20	10.72	625.66	762.14	11.27	16.47
Djup avs.	purst1-2	50	12.51	625.66	762.14	11.27	16.47
	purst2-2	30	9.88	625.66	762.14	11.27	16.47
	purst1-4	0	7.22	625.66	762.14	11.27	16.47
	purst2-4	0	4.24	625.66	762.14	11.27	16.47
	purst1-6	20	11.11	625.66	762.14	11.27	16.47
	purst2-6	0	9.51	625.66	762.14	11.27	16.47
	purst1-8	100	12.33	625.66	762.14	11.27	16.47
	purst2-8	30	10.04	625.66	762.14	11.27	16.47
	purst1-10	100	12.96	625.66	762.14	11.27	16.47
	purst2-10	30	12.79	625.66	762.14	11.27	16.47
	purst1-12	0	9.08	625.66	762.14	11.27	16.47
	purst2-12	0	4.13	625.66	762.14	11.27	16.47

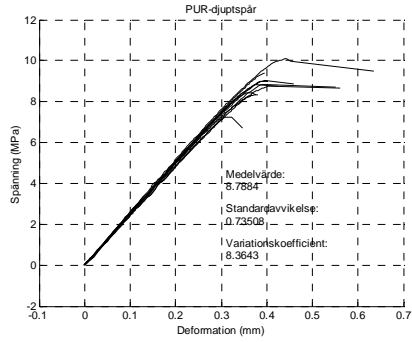
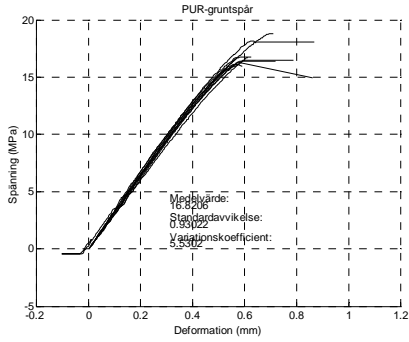
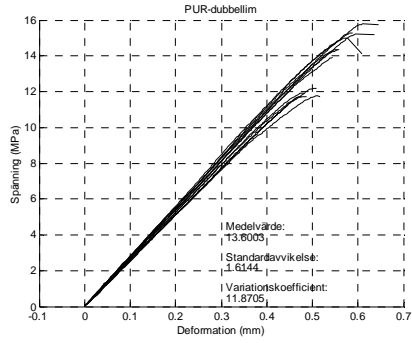
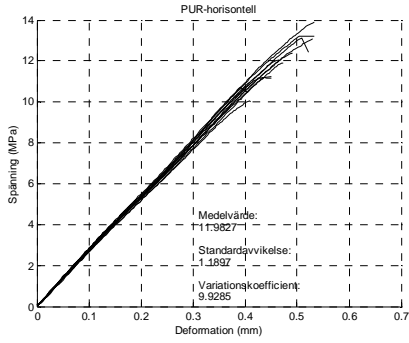


# Bilaga C

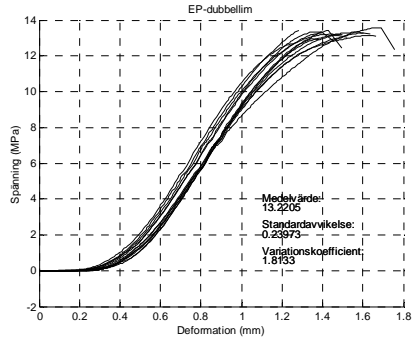
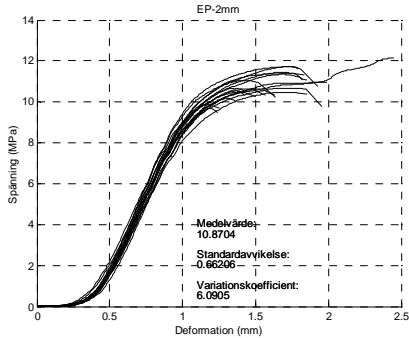
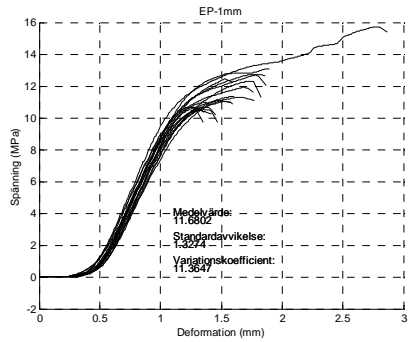
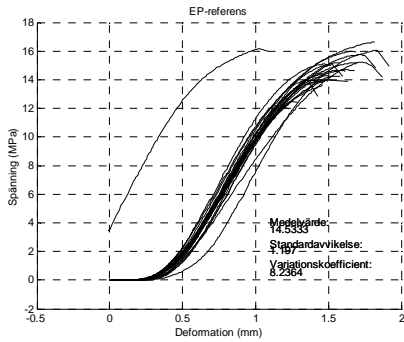
Grafer över EN 302-1 provningar.

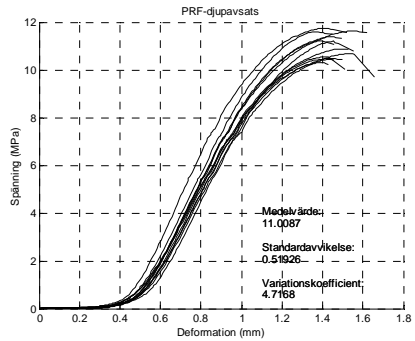
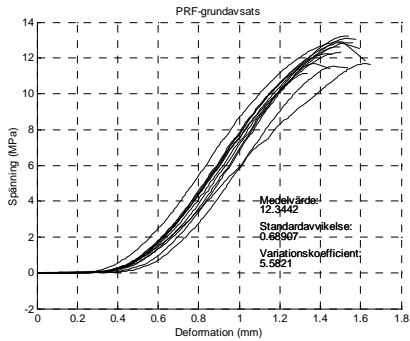
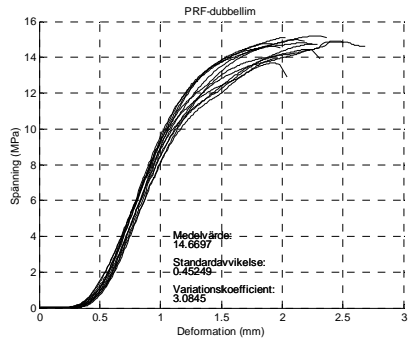
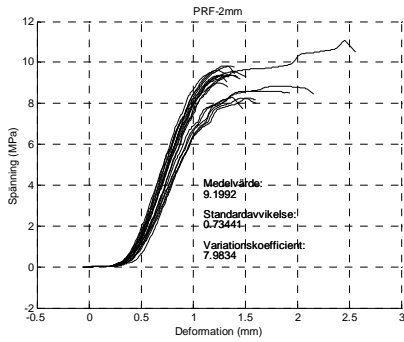
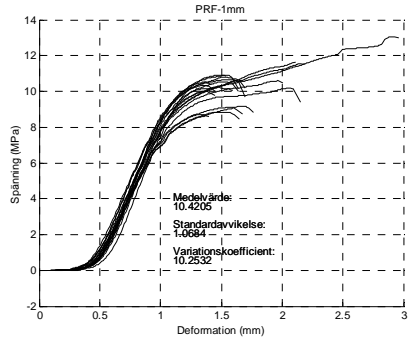
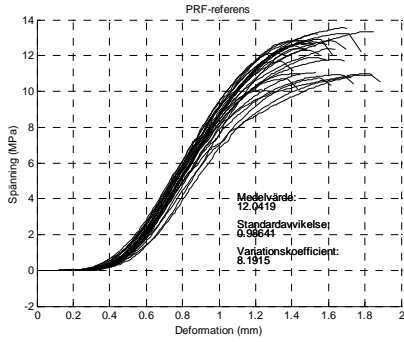
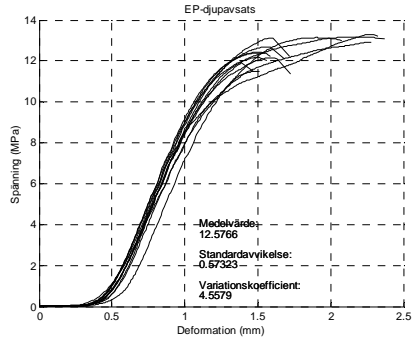
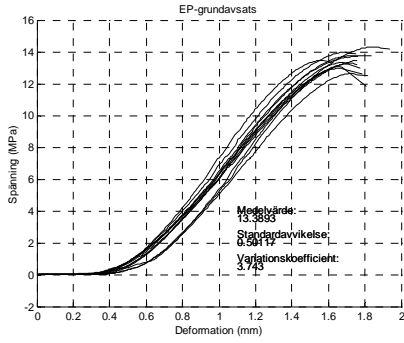


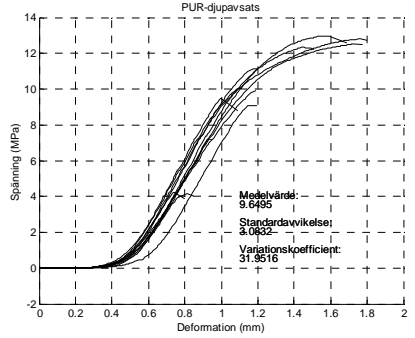
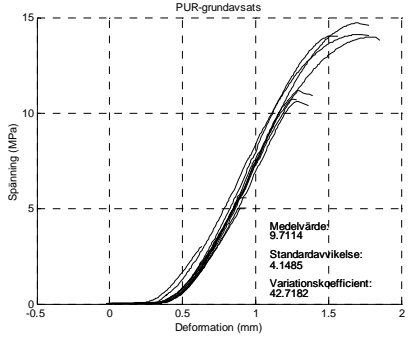
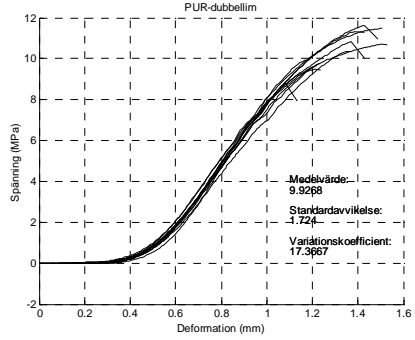
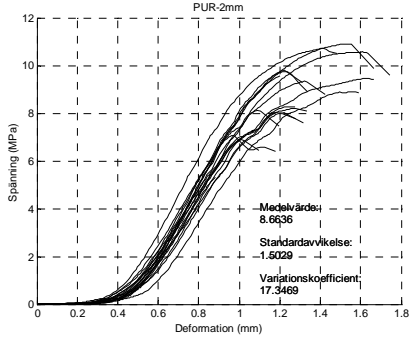
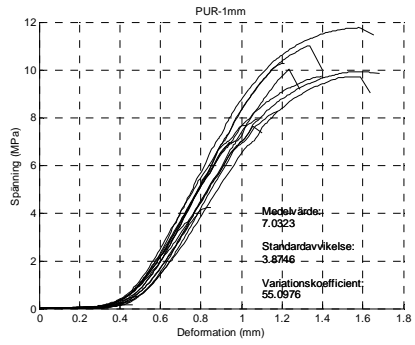
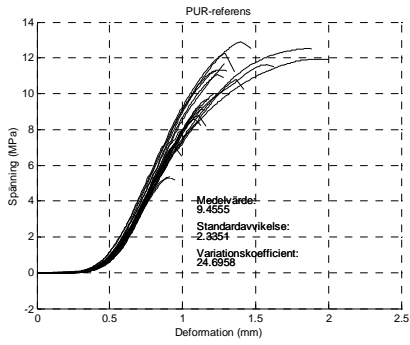




Grafer över ASTM D905 provningar.







# Grafer över ASTM D905 provningar utan adhesiva brott.

