



LUND UNIVERSITY

Provningar av limträ's skjuvhållfasthet hösten 2009

Gustafsson, Per-Johan; Emilsson, Arne; Crocetti, Roberto; Ormarsson, Sigurdur

2009

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Gustafsson, P.-J., Emilsson, A., Crocetti, R., & Ormarsson, S. (2009). *Provningar av limträ's skjuvhållfasthet hösten 2009*. (TVSM-7000; Nr. TVSM-7158). Division of Structural Mechanics, LTH.

Total number of authors:

4

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

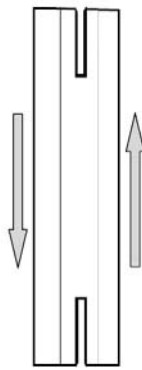
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00



LUND
UNIVERSITY



PROVNINGAR AV LIMTRÄS SKJUVHÅLLFASTHET HÖSTEN 2009

PER JOHAN GUSTAFSSON,
ARNE EMILSSON, ROBERTO CROCETTI
och SIGURDUR ORMARSSON

Structural
Mechanics

Department of Construction Sciences
Structural Mechanics

ISRN LUTVDG/TVSM--09/7158--SE (1-42)
ISSN 0281-6679

PROVNINGAR AV
LIMTRÄS SKJUVHÅLLFASTHET
HÖSTEN 2009

PER JOHAN GUSTAFSSON,
ARNE EMILSSON, ROBERTO CROCETTI
och SIGURDUR ORMARSSON

Copyright © 2009 by Structural Mechanics, LTH, Sweden.
Printed by Wallin & Dalholm Digital AB, Lund, Sweden, December 2009.

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

Sammanfattning

Skjuvhållfastheten hos limträ L40 provades. Limträet var tillverkat av gran med densiteter i området 400-500 kg/m³ vid 11% fuktkvot. Provningarna genomfördes genom att skruva fast provkropp med längden 580 mm, höjden 125 mm och bredd i intervallet 40 till 215 mm mellan två ståldon och sedan belasta dessa så att längsskjuvning uppkom i träet.

Totalt genomfördes 32 provningar på det valda sättet. Provkroppar med olika bredder, tvärsnittsformer, årsringsorientering och årsringstäthet provades. Någon tydlig inverkan observerades inte av tvärsnittets bredd och inte heller av årsringstäthet. Tvärsnitt med sågat spår längs provkroppens sidor gav i medeltal 10% förhöjd skjuvhållfasthet. Tvärsnittet med stående lameller gav i medeltal 15% sänkt skjuvhållfasthet.

De två provkroppar som hade lägst skjuvhållfasthet var de två med lägst densitet. De 32 provningarna gav följande samband mellan skjuvhållfasthet och densitet: f_v (MPa) = 0.17 + 0.0102ρ (kg/m³).

Räknat över alla 32 provkropparna var skjuvhållfasthetens medelvärde 5.0 MPa och det karakteristiska 5%-fraktilvärdet 3.7 MPa. Dessa resultat erhöles för provkroppar vars medeldensitet var 470 kg/m³ och vars karakteristiska densitet var 419 kg/m³.

Arbetet kom att innefatta ett antal inledande provningar för vidareutveckling av provmetoden. Andra brottmoder än skjuvbrott och inverkan av tvärdragspänningar undveks genom lämpligt val av skruvförband mellan trä och ståldon, och genom att såga en skåra i vardera ände av provkroppen.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
Innehållsförteckning	5
Finansiering och deltagare	7
1. Introduktion	9
2. Material	9
3. Belastningsanordning	12
4. Provningsförfarande	18
5. Provningsresultat	19
6. Avslutande kommentarer och diskussion	25
Appendix A: Foto av provkroppars tvärsnitt	27
Appendix B: Enskilda provningsresultat:	39-48
• Foto av provkroppar efter brott	
• Last vs total deformation	
• Skjuvspänning, P/A , vs provkroppsdeformation	

Finansiering och deltagare

Provningarna genomfördes som ett uppdrag finansierat av Svenskt Limträ AB, med Johan Fröbel, Svenskt Limträ AB, som kontaktperson. Limträmaterialen kom från Långshytte Limträ, Setra Trävaror AB, med Rune Karlsson som kontaktperson.

Provningarna kan ses som en fortsättning eller komplettering av arbete som gjordes inom ramen för ett examensarbete vintern 2008/2009 (Daniel Andersson och Johan Odén, 2009: Träs skjuvhållfasthet och limträbalkars tvärkraftskapacitet, Rapport TVSM-5159, Avd Byggnadsmekanik, LTH).

Initiativ till provningarna togs av Arne Emilsson, Limträteknik AB, och Roberto Crocetti, SP, vilka även bistått med informationer och synpunkter under genomförandet. Provningsarbetet genomfördes av Peter Persson och Andreas Ottosson i konstruktionstekniklaboratoriet på DTU, Lyngby, med Sigurdur Ormarsson som kontaktperson och samarbetspartner.

Arbetet kom att innefatta vidareutveckling av aktuell provningsmetod. Detta arbete kunde göras tack vare det mer allmänna projektet "Flervåningsbyggande i trä – Konstruktion och design av väggar, bjälklag och anslutningar" samordnat av Ulf-Arne Girhammar, Umeå universitet, och finansierat av EU genom Tillväxtverket. Tillverkningen av ståldon till provuppställningen bekostades till del av Limträteknik AB och träskruvar levererades kostnadsfritt av SFS Intec AB.

Planering och sammanställning av resultat har gjorts av undertecknad. Tack till alla som bidragit på olika sätt!

Lund 2009-12-01,
Per Johan Gustafsson, Avdelningen för byggnadsmekanik, LTH

1. Introduktion

Ett antal provningar av limträskjuvhållfasthet genomförda hösten 2009 redovisas här. Provningarna kompletterar provningar och beräkningar gjorda i ett examensarbete vintern 2008/2009 (Daniel Andersson och Johan Odén, 2009: Träs skjuvhållfasthet och limträbalkars tvärkraftskapacitet, Rapport TVSM-5159, Avd Byggnadsmekanik, LTH). Det experimentella arbetet hösten 2009 kom också att innefatta vidareutveckling av en skjuvprovningssmetod, deformationsmätningar och dokumentation av densitet, fuktkvot och årsringskaraktistik.

Aktuellt intresse för kunskap om träs skjuvhållfasthet har sin bakgrund i en pågående diskussion om olika förslag på europeisk nivå om ändring av rekommenderat standardvärde på träs skjuvhållfasthet. Förslagen skulle för balkar av limträ L40 innebära en mer eller mindre kraftig reduktion av beräknad karakteristisk tvärkraftskapacitet, motsvarande en sänkning av karakteristiskt skjuvhållfasthetsvärde från 4.0 MPa till 3.5, 2.5, $0.67 \times 3.5 = 2.3$ eller $0.67 \times 2.5 = 1.7$ MPa.

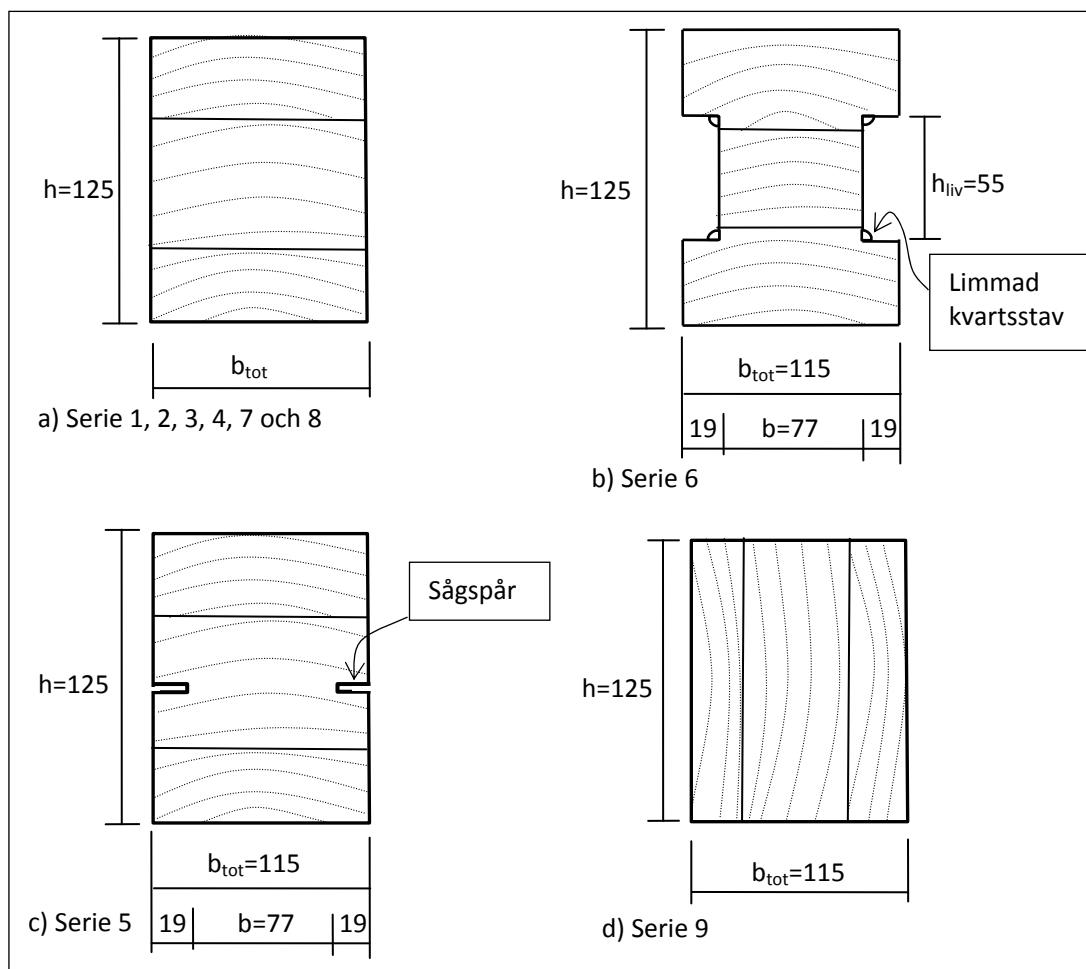
2. Material

Limträet tillverkades och levererades av Långshytte Limträ / Setra Trävaror. Det var av hållfasthetsklass L40 med lamelltjockleken 45 mm, tillverkat av gran, limmat med limtyp I enligt SS-EN 301 och med homogent tvärsnitt, dvs med nominellt lika kvalitet hos alla lameller. Träet var utan särskild ytbehandling och levererades 20/8 och 3/9 2009, emballerat i plastfolie. Uttorkning av tre provbitar i en ugn med temperaturen 105°C gav medelfuktkvoten 11.1 %.

Material för nio provserier levererades. Provkropparnas tvärsnittsmått för de olika serierna visas i Figur 1. Provkropparnas bredd, b_{tot} , och nominell årsringsorientering visas i Tabell 1. Tvärsnittshöjden h var i samtliga serier 125 mm. Tvärsnittshöjden definieras som avståndet mellan provkroppens två skjuvbelastade ytor. Provkropparnas längd var 580 mm. Urtag (serie 6) och sågspår (serie 5) i tvärsnittet frästes respektive sågades strax före provning. I serie 9 är lamellerna orienterade stående i förhållande till belastningen. I alla övriga serier är lamellerna liggande.

De enskilda provkropparna mättes och vägdes. För provkropparnas mitre lamell räknades antalet årsringar längs en sträcka om 30 mm i radiell riktning. Provkropparnas yttre mått var genomgående nära nog exakt lika med de nominella måtten. Provkropparnas densitet och antal årsringar redovisas i Tabell 2. För dokumentation av årsringsorientering och märengens läge fotograferades samtliga provbitar. Ett urval av dessa foto finns i Appendix A. Fotona visar de provkroppar som skjuvprovades med den slutligen valda metoden.

Två leveranser av provkroppar erhöles, beroende på att det i den första leveransen fanns systematiska skillnader i limträets årsringstäthet för olika provserier. Det större antalet tillgängliga provkroppar gav också möjlighet att göra ett antal extra provningar för att förbättra provningsmetoden. Provkropparna är numrerade X.Y, där X är provserienummer (=tvärsnittstypnummer) och Y provkroppens nummer i serien. Provkropparna X.1-X.5 kom med den första leveransen och X.6-X.9 med den andra.



Figur 1. Tvärsnittstyperna 1-9.

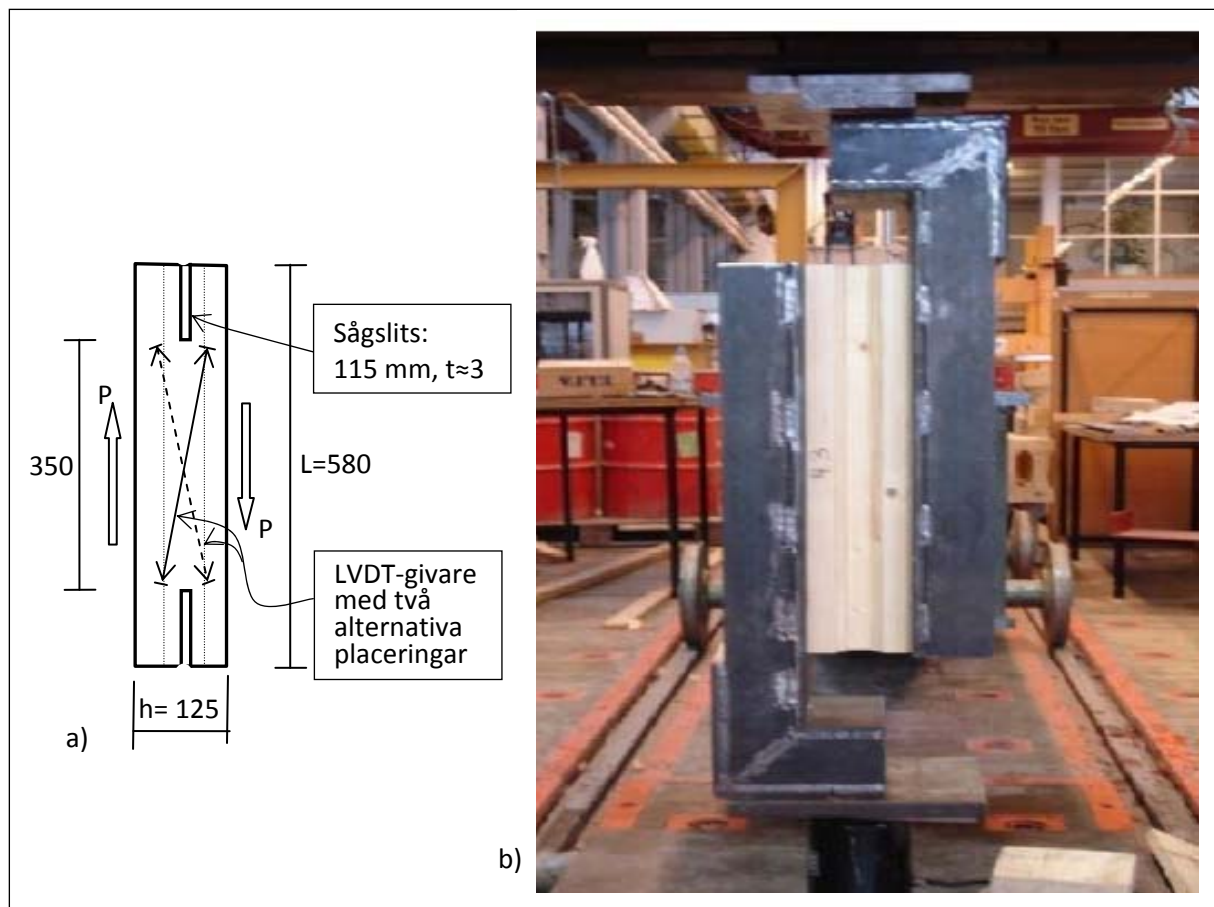
Tabell 1. Tvärsnittstyperna 1-9.

Tvärsnittstyp	Tvärsnittstyp	b_{tot} mm	Tvärsnitt
1	Rektangulär, kluven	56	
2	Rektangulär	115	
3	Rektangulär, bredare	165	
4	Rektangulär, ännu bredare	215	
5	Rektangulär med sågspår, 19 mm djupa, ~3 breda, dvs I-tvärsnitt med $h_{liv} = \sim 3$ och $b=77$	115	
6	I-tvärsnitt med $h_{liv} = 55$ och $b=77$	115	
7	Rektangulär, yttre tredjedel av 115	40	
8	Rektangulär, mittre tredjedel av 115	40	
9	Rektangulär, 90° vriden (utsågad från 125x165)	115	

Tabell 2. Provkroppars nummer, densitet (total vikt/total volym) och årsringstäthet i mittre lamell.

Prov- kropp	Densi- tet kg/m ³	Antal årsr. per 30 mm	Prov- kropp	Densi- tet kg/m ³	Antal årsr. per 30 mm	Prov- kropp	Densi- tet kg/m ³	Antal årsr. per 30 mm
1.1	451	19	4.1	441	12	7.1	490	21
1.2	464	28	4.2	440	12	7.2	480	9
1.3	480	24	4.3	451	8	7.3	463	8
1.4	496	30	4.4	507	9	7.4	498	24
1.5	458	13	4.5	451	8	7.5	493	25
1.6	440	25	4.6	435	7	7.6	504	28
1.7	435	20	4.7	430	9	7.7	453	14
1.8	505	24	4.8	458	8	7.8	508	18
1.9	492	23	4.9	430	19	7.9	473	9
Medel	469	23	Medel	449	10	Medel	485	16
2.1	499	19	5.1	487	12	8.1	477	16
2.2	494	17	5.2	484	9	8.2	481	16
2.3	481	10	5.3	472	7	8.3	483	16
2.4	478	17	5.4	473	9	8.4	474	20
2.5	481	16	5.5	470	8	8.5	489	23
2.6	446	12	5.6	448	10	8.6	470	8
2.7	496	15	5.7	480	15	8.7	435	14
2.8	467	8	5.8	407	10	8.8	500	12
2.9	445	7	5.9	491	11	8.9	456	9
Medel	476	13	Medel	468	10	Medel	474	15
3.1	430	5	6.1	485	16	9.1	471	8
3.2	413	5	6.2	510	14	9.2	476	8
3.3	423	5	6.3	489	17	9.3	475	8
3.4	452	6	6.4	475	11	9.4	481	9
3.5	457	6	6.5	476	8	9.5	473	10
3.6	484	9	6.6	451	12	9.6	485	9
3.7	490	14	6.7	443	18	9.7	454	14
3.8	476	10	6.8	427	15	9.8	427	11
3.9	416	10	6.9	485	11	9.9	486	10
Medel	449	8	Medel	471	14	Medel	470	10

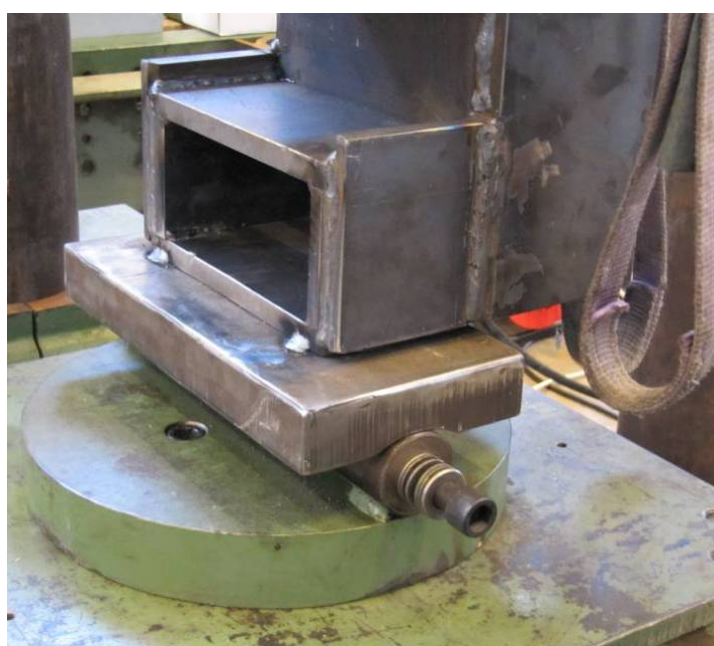
3. Belastningsanordning



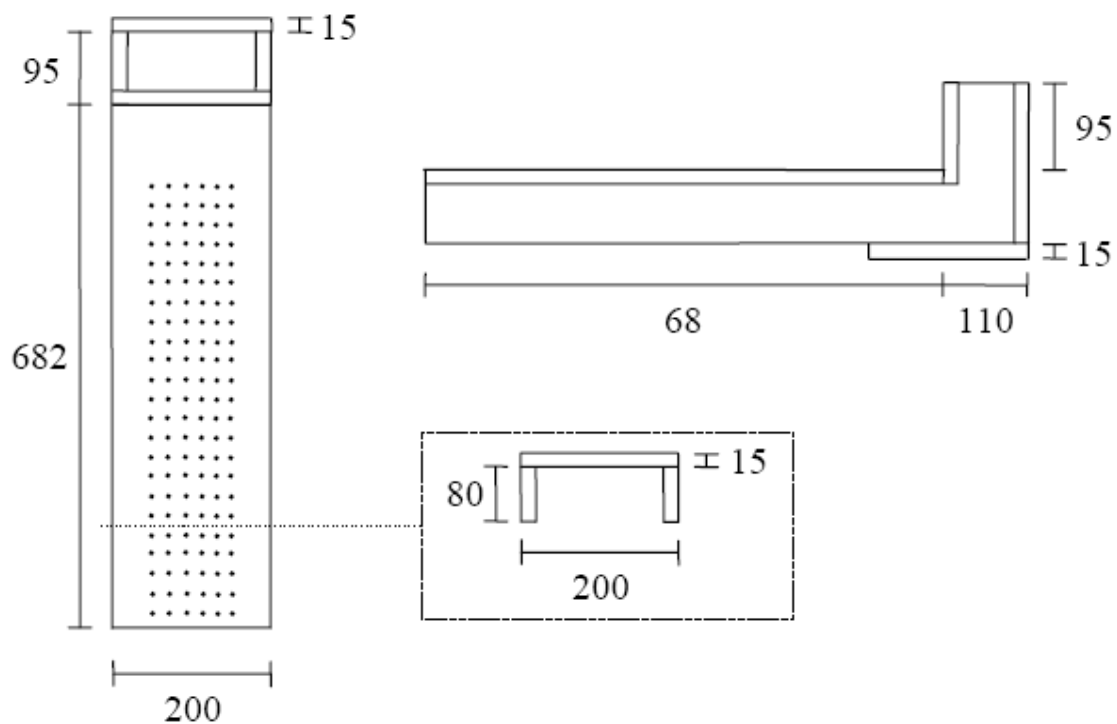
Figur 2. a) Aktuell provbelastning, schematiskt. Första provningarna gjordes utan sågslitsarna.
b) Foto av provuppställning använd i ett examensarbete (Andersson, Odén, 2009).

Provkropparna belastades som principiellt visat i Figur 2. Träet är med ett stort antal skruvar fastskruvat mellan två vinkelformade svetsade ståldon. Stålen påföres centrisk tryckande last mha en provningsmaskin av standardtyp. Maskinen behöver ha en lastkapacitet runt 500 kN eller mer. Lasten ger i provkroppen skjuvspänningar längs träets fiber. Längs provkroppens symmetrilinje fås ren skjuvspänning om träet är homogent och om ståldonen kan betraktas som styva jämfört med träet.

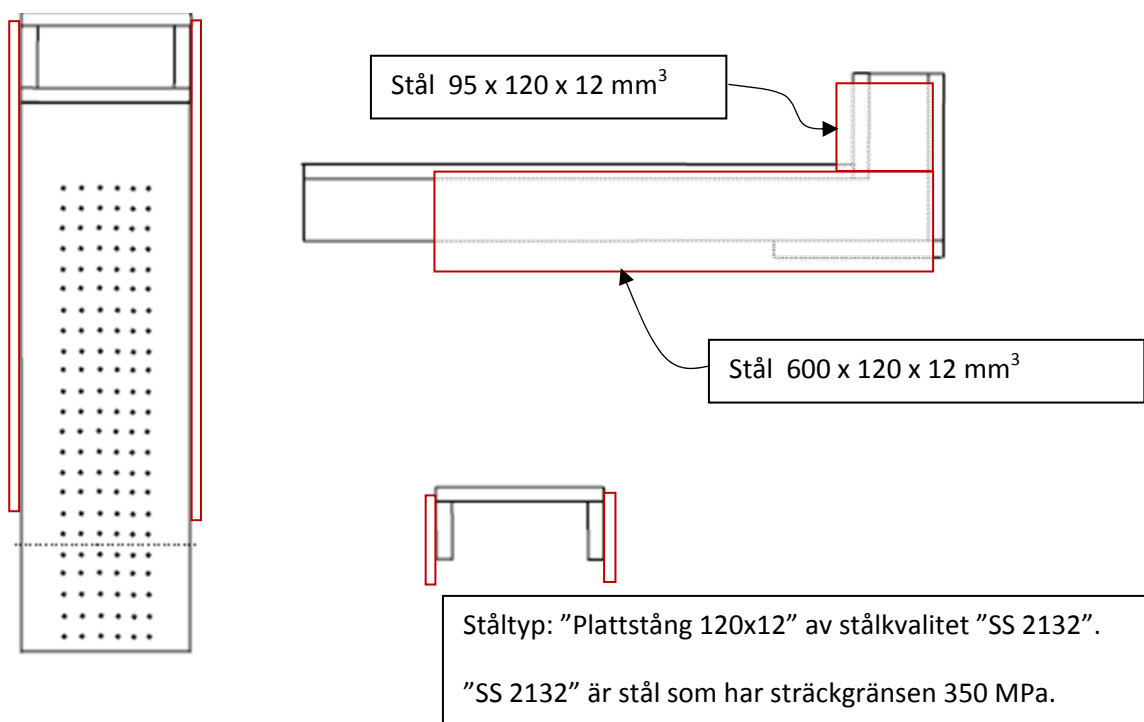
Inför aktuella provningar (hösten 2009) förstärktes de ståldon som användes i examensarbetet vintern 2008/09. Detta för att kunna prova limträ med bredden 215 mm. Vidare förbättrades utformningen av upplagspunkterna för att få mera väldefinierad belastning på stålen. Foton av aktuell provuppställning visas i Figur 3. Figureerna 4-6 visar stålbeslagens dimensioner och placering och storlek av hålen för skruvar.



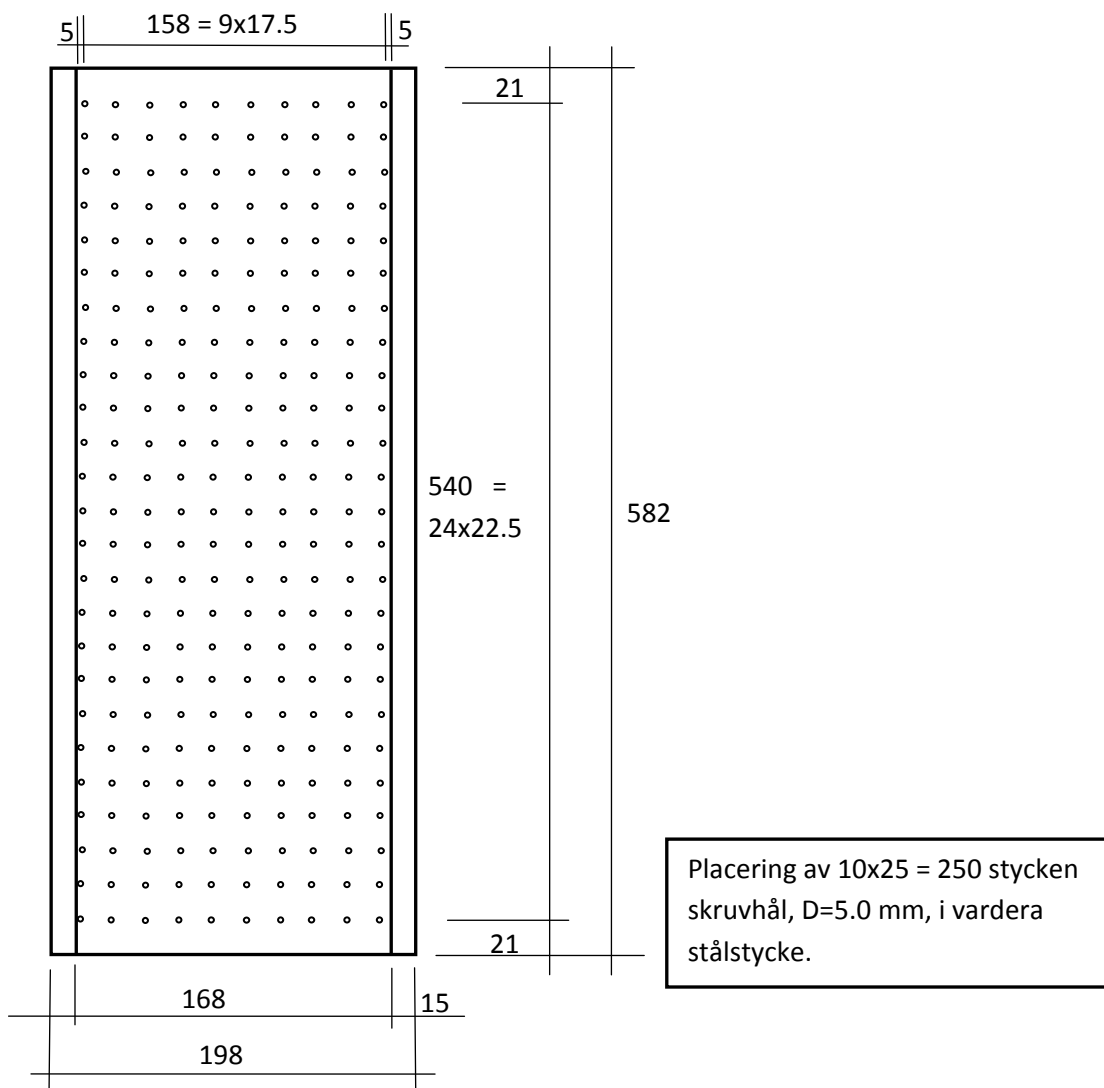
Figur 3. Foton av provuppställning använd vid provningar hösten 2009.



Figur 4. Ståls utformning före förstärkning.



Figur 5. Förstärkningsplåtar. Arrangemangen vid upplagspunkter ej visade (se foto).



Figur 6. Hål för skruvar.



Figur 7. Foto av provkropp efter en av inledande provningar.

Den aktuella typen av provuppställning har använts tidigare, inom ramen för examensarbetet vintern 2008/09, men visade ändå i de inledande provningarna ändå några oväntade svårigheter. Möjligen kan detta delvis bero på att en del av det nu provade träet hade högre styrka än det tidigare provade träet. De olika svårigheterna medförde utveckling av provningsmetoden och också en del erfarenheter om att olika träskruvar med samma längd och diameter kan fungera tämligen olika. Den ganska drastiska huvudåtgärd som vidtogs var att komma till rätta med svårigheterna var att förse provkropparna med de två 115 mm långa sågslitsarna som visas i Figur 2 a).

De observerade svårigheterna var av två huvudtyper: att uppnå tillräcklig kapacitet hos anslutningen mellan provkropp och stål, och att tillförsäkra sig om ett rent skjuvspänningstillstånd utan störande normalspänningar vinkelrätt fiber.

Följande observationer gjordes och åtgärder vidtogs innan provkropparna försågs med sågslitsar:

- Spjälkning av träet, speciellt vid yttre skruvrad, se Figur 7. Denna brotttyp ger reducerad uppmätt brottlast och således underskattning av träets skjuvhållfasthet. Olika åtgärder provades för att undvika spjälkning: I yttre skruvraderna sattes skruvar bara i vart annat hål (Figur 7); Annan typ av skruvar som hade smalare och vassare gängåsar och bättre

borrande spets; Förborring av vissa eller alla hål; Extra skruvar placerade vinkelrätt mot den önskade fläkbrottytan. Ingen av dessa åtgärder gav ett helt bra resultat: brottet blev bara undantagsvis ett renodlat skjuvbrott.

- När antalet skruvar reducerades för att undvika fläkning blev kapaciteten hos skruvarna och träet invid skruvarna otillräcklig. Skruvarna brast eller böjdes. I några fall uppkom ändå slutligt brott som brott i träet.
- Vid användning av skruvar med liten eller ingen benägenhet att fläka träet blev i några fall skruvarnas tvärkraftskapacitet otillräcklig och avgörande. Skruvarna böjdes och/eller skjuvades av vid övergången mellan stål och trä.
- Brott i träet uppkom inte i eller nära provkroppens symmetrisnitt, där spänningstillståndet är det önskade rena skjuvspänningstillståndet, utan närmare stålet, ofta ungefär vid skruvarans spets och med början vid någon av provkroppens ändar. I detta område finns, enligt FE-analys, betydande dragspänningar vinkelrätt fiber. Detta kunde, till en del, åtgärdas genom att använda längre skruvar som höll ihop träet i de hörn av provkroppen där dragspänningarna vinkelrätt fiber var betydande i förhållande till träs draghållfasthet vinkelrätt fiber. Trots åtgärden uppkom brott osymmetriskt och tvärdragspänningarna bedömdes påverka uppmätt skjuvhållfasthet i betydande grad.

Som resultat av de första provningarna modifierades provuppställningen: I provkropparna sågades de i Figur 2 visade sågslitsarna. Vidare förborrades alla skruvhål. Och vidare användes två skruvtyper. Skruvar med liten fläkningsbenägenhet, god hopdragningsförmåga och med längden 70 mm användes i de två hörn av provkroppen där det är dragspänningar vinkelrätt fiber. I dessa två hörn användes 70 mm skruvarna i de två närmast provkroppens änden belägna skruvraderna. I alla övriga skruvhål sattes 50 mm långa skruvar med förhållandevis god böjstyvhet.

Figur 8 visar de två skruvtyperna:

Träskruv ”WFR-T-T25, 5x70/37” levererad av SFS-intec och avsedd för montering av trä eller träbaserade produkter till trä. Skruven är av kolstål, har gyllenfärgad beläggning, längden 70 mm och diametern 5.0 mm. För dessa skruvar förborrades med borrhål diameter 2.5 mm eller 3.0 mm.

Beslagsskruvar ”75.950 T20 5,0x50 mm”, med företagsmarkeringen Avenue a/s, elförzinkade, med längd 50 mm och diameter 5.0 mm. För dessa skruvar förborrades med borrhål diameter 4.0 mm.

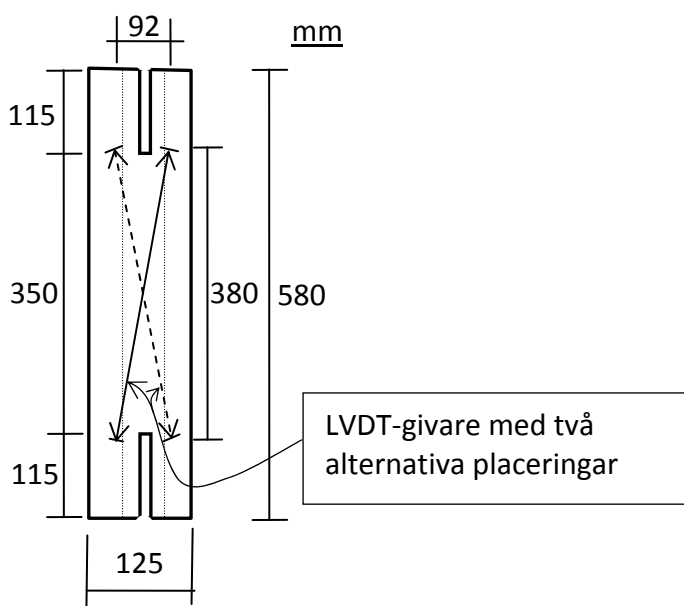


Figur 8. Skruvar.

4. Provningsförfarande

Under tiden från leverans till provning förvarades provkropparna i ett rum med klimatet 60% RF och temperaturen 20°C. Provkroppar för de olika serierna valdes så att det trä som provades i görligaste mån var likvärdigt för de olika serierna. Provkropparna i serie 6, de med I-tvärsnitt, frästes och försågs med limmad kvartsstav i tvärsnittshörnen.

Förberedelse inför en provning innefattade sågning av slitsarna, borrning av hålen för skruvar, skruvning, montering av deformationsgivare och inplacering i provningsmaskinen. Antalet hål och skruvar var för de bredaste provkropparna $25 \times 10 \times 2 = 500$ stycken/provkropp. En deformationsgivare monterades diagonal på provkroppens ena sida, se Figur 2 och 9. Under provningsförloppet registrerades avståndsändringen mellan givarens två fästpunkter. Beroende på vilken av de två alternativa placeringarna av givaren som användes registerades sammantryckning (negativt mätvärde) eller utdragning (positivt mätvärde). Vidare registrerades last och total deformation. Redovisade lastvärden inkluderar verkan av ståldonens egenvikt. Med total deformation menas rörelsen hos provningsmaskinens hydraulkolv. Hydraulkolvens hastighet var 2, 3 eller 4 mm/minut beroende på provkroppens storlek och vald så att brott kom att inträffa ca 2-4 minuter efter påbörjad belastning.



Figur 9. Placering av deformationsgivare med mätlängd $(380^2 + 92^2)^{0.5} = 391$ mm.

5. Provningsresultat

Mätdata redovisas enbart för de provningar som genomfördes med den slutligt valda provningsförfarandet. De resultat som erhöles i samband med utveckling av metoden bedömdes inte vara relevanta pga andra brottmoder och inverkan av tvärdragsspänningar.

Brottlaster, skjuvbrottspänningar (P_{brott}/A), styvhetsvärden och egenskaper för de hållfasthetsprovade provkropparna visas i Tabell 3. P_{brott}/A är medelskjuvspänningen över den nominella brottytan vid brott, dvs $A=L_A b_A$, där $L_A=350$ mm och där $40 \text{ mm} \leq b_A \leq 215$ mm.

Styvhetsvärdet k_{LVDT} är skjuvspänning dividerat med längdändring mellan LVDT-givarens två fixeringspunkter, se Figur 9. Detta värde är ganska osäkert för enskilda provkroppar eftersom mätning gjordes bara på ena sidan av provkroppen och därför påverkas av inhomogeniteter och osymmetrier som ger vridning eller annan osymmetrisk deformation. Styvhetsvärdet k_{TOT} är lasten dividerat med kolvrörelsen. De två styvhetsvärdena är bestämda från respektive kurvas lutning mellan last motsvarande 2.0 MPa skjuvspänning och last motsvarande 80% av brotlasten.

Årsringarnas orientering framgår av fotografierna i Appendix A. I Appendix B visas brottfoto och diagram för last vs total deformation (=kolvrörelse) och skjuvspänning (P/A) vs deformation uppmätt på provkroppen. De enskilda provkurvorna är färgkodade med svart, blått, grönt och rött i enlighet med färgerna Tabell 3.

Figur 10 ger en grafisk illustration av skjuvbrottspänningarna och även medelvärden och ett sammantaget karakteristiskt värde. Medelskjuvhållfastheten för alla 32 provresultaten är 4.96 MPa och standardavvikelsen är 0.73 MPa, vilket motsvarar variationskoefficienten $0.73/4.96=15\%$. Det karakteristiska värdet, dvs 5 % fraktilvärdet, blir $4.96-1.645 \times 0.73 = 3.76$ MPa om man antar normalfördelning och betraktar antalet provningar som mycket stort.

Direkt fördelningsoberoende bestämning av 5 % fraktilvärdet som det värde som understiges vid 5 % av provningarna, dvs understiges vid $0.05 \times 32 = 1.6$ av 32 provningar ger för aktuella provningsresultat att det karakteristiska värdet är ungefär $3.45+0.6 \times (3.60-3.45) = 3.54$ MPa.

Som en förenklad approximativ sammanfattning: räknat över alla provningarna erhöles att skjuvhållfastheten f_v för aktuellt trä har medelvärdet 5.0 MPa och det karakteristiska värdet 3.7 MPa. Dessa resultat erhöles för provkroppar vars medeldensitet var 470 kg/m^3 och vars karakteristiska densitet var $407+0.6 \times (427-407)=419 \text{ kg/m}^3$.

Provkropparna 9.8 (rektangulärt tvärsnitt med bredden 115 mm och stående årsringar) och 5.8 (rektangulärt tvärsnitt med bredden 115 mm och liggande årsringar) gav de två lägsta skjuvhållfastheterna, 3.45 respektive 3.60 MPa. Dessa två lägsta värden är av avgörande betydelse för erhållet karakteristiskt värde. Det kan observeras att just dessa två provkroppar hade de lägsta densiteterna av alla 32 provkroppar: 427 respektive 407 kg/m^3 . Dessa densitetsvärden avser medelvärdet över hela provkroppsvolymen. Vidare kan observeras att provkropparna 9.8 och 5.8 hade lägst styvhet k_{TOT} inom respektive provserie. Aktuella provkroppar är inte avvikande i fråga om årsringstäthet. Inte heller utseendemässigt observerades någon avvikelse: se tvärsnitt i Appendix A och brottfoto i Appendix B. Möjligheten kan sägas att det verkar finns något mindre med kvistar och oregelbundenheter i brottytorna jämfört med en genomsnittlig provkropp.

Figur 11 visar skjuvhållfasthet mot densitet. Linjär regression ger för skjuvhållfasthets medelvärde att

$$f_v = 0.17 + 0.0102 \rho$$

där f_v är skjuvhållfastheten i MPa och ρ densiteten i kg/m^3 vid ca 11 % fuktkvot. För det karakteristiska värdet på f_v erhöles:

$$f_v = 0.76 (0.17 + 0.0102 \rho)$$

Medelvärdet för de hållfasthetsprovade provkropparnas densitet är 470 kg/m^3 . Med hjälp av ovanstående samband kan en uppmätt skjuvhållfasthet vid annan densitet räknas om till motsvarande skjuvhållfasthet vid densiteten 470 kg/m^3 . Resultatet av sådan normalisering av provvärdena till en och samma densitet är visat i Figur 12. I denna figur kan inverkan av olika variabler studeras:

Jämförelse mellan serierna 2, 3 och 4 visar inte någon entydlig inverkan av limträets bredd.

Jämförelse mellan serierna 2, 5 och 6 visar inverkan av tvärsnittsform: rektangulärt, sågspårat och I-format. Det sågspårade tvärsnittet gav ca 10% förhöjd skjuvhållfasthet. Rektangulärt och I-format tvärsnitt visar ingen skillnad.

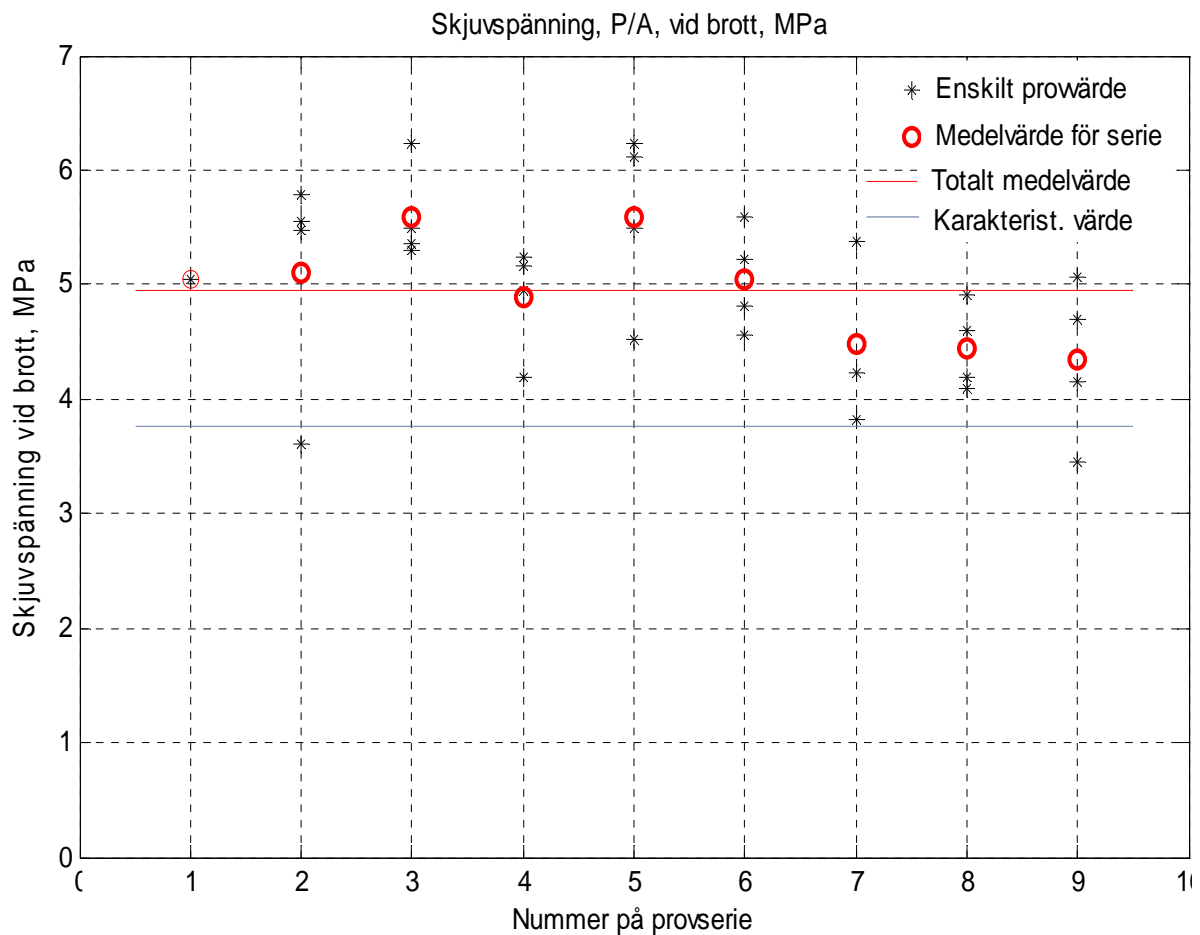
Jämförelse mellan serierna 2 och 9 visar att tvärsnitt med stående lameller gav ca 15% lägre skjuvhållfasthet än tvärsnitt med liggande lameller.

Jämförelse mellan serierna 2, 7 och 8 visar att klyvning kan ge något lägre skjuvhållfasthet och att det inte förefaller vara någon skillnad mellan kant- och mittdel. Oftast är det olika orientering av årsringarna i kantdel och mittdel. För aktuella provkroppar, - se foto i Appendix A av provkropparna i serierna 7 och 8 -, är det emellertid likartad årsringsorientering för alla dessa provkropp utom 8.9.

I Figur 13 är de uppmätta skjuvhållfasthetsvärdena ritade mot årsringstjocklek. Tjockleken är medeltjockleken mätt över 30 mm i radiell riktning i mittre del av mittre lamell. Det förefaller inte finnas något samband mellan årsringstähet och skjuvhållfasthet.

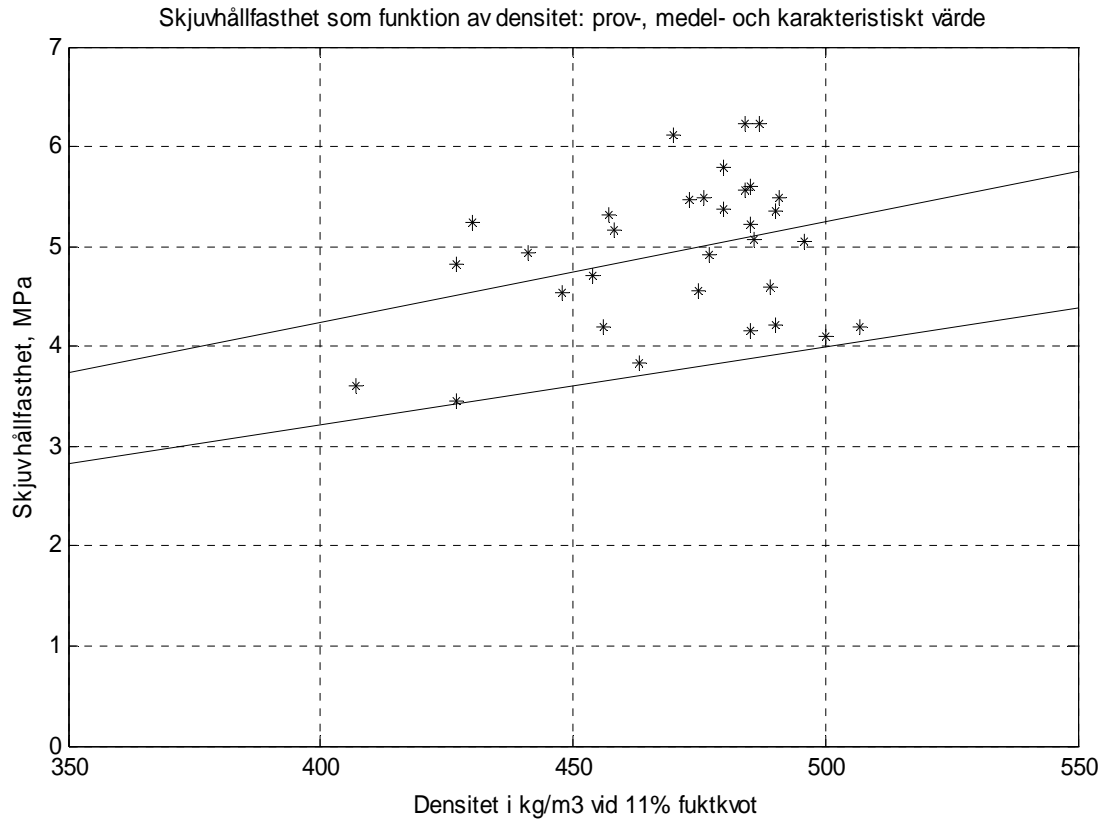
Tabell 3. Hållfasthetsprovade provkroppar och provningsresultat

Tvärsnittstyp, bredd, form	Prov- kropp	P _{brött} , kN	P _{brött} /A, MPa	Densi- tet, kg/m ³	Års- ringar per 30 mm	k _{LVD} T MPa/ mm	k _{TOT} kN/mm
1, 56, rektangulär	1.4	98.9	5.05	496	30	-2.1	13.2
	Medel	98.9	5.05	496	30	2.1	13.2
2, 115, rektangulär	5.2	224	5.56	484	9	-2.7	24.4
	5.4	220	5.47	473	9	-3.3	28.2
	5.7	233	5.79	480	15	-2.9	26.1
	5.8	145	3.60	407	10	-2.4	22.9
	Medel	206	5.11	461	11	2.8	25.4
3, 165, rektangulär	3.5	307	5.32	457	6	4.2	31.0
	3.6	360	6.23	484	9	5.7	29.7
	3.7	309	5.35	490	14	3.3	26.9
	3.8	317	5.49	476	10	4.3	27.1
	Medel	323	5.60	477	10	4.4	28.7
4, 215, rektangulär	4.1	372	4.94	441	12	5.0	31.1
	4.4	315	4.19	507	9	8.6	31.9
	4.8	388	5.16	458	8	4.3	32.6
	4.9	395	5.25	430	19	5.7	30.0
	Medel	368	4.89	459	12	5.9	31.4
5, 115(77), slits	5.1	168	6.23	487	12	-3.6	25.5
	5.5	165	6.12	470	8	-3.6	27.2
	5.6	122	4.53	448	10	4.4	26.2
	5.9	148	5.49	491	11	5.0	25.5
	Medel	151	5.59	474	10	4.2	26.1
6, 115(77), I-form	6.1	151	5.60	485	16	3.6	27.6
	6.4	123	4.56	475	11	4.6	26.4
	6.8	130	4.82	427	15	2.8	24.2
	6.9	141	5.23	485	11	2.6	27.1
	Medel	136	5.05	468	13	3.4	26.3
7, 40, rektangulär	7.1	59.1	4.22	490	21	4.3	9.7
	7.2	75.3	5.38	480	9	3.3	11.1
	7.3	53.6	3.83	463	8	2.1	9.4
	(7.4)	(97.7)	(6.98)	(498)	(24)	(-2.9)	(14.0)
	Medel	62.7	4.48	478	13	3.2	10.1
8, 40, rektangulär	8.1	68.8	4.91	477	16	2.6	10.5
	8.5	64.4	4.60	489	23	3.4	10.0
	8.8	57.2	4.09	500	12	3.0	10.7
	8.9	58.6	4.19	456	9	4.2	9.1
	Medel	62.3	4.45	481	15	3.3	10.1
9, 115, stående	9.6	167	4.15	485	9	10.3	27.4
	9.7	189	4.70	454	14	4.3	29.6
	9.8	139	3.45	427	11	12.7	24.3
	9.9	204	5.07	486	10	11.4	27.3
	Medel	175	4.34	463	11	9.7	27.2

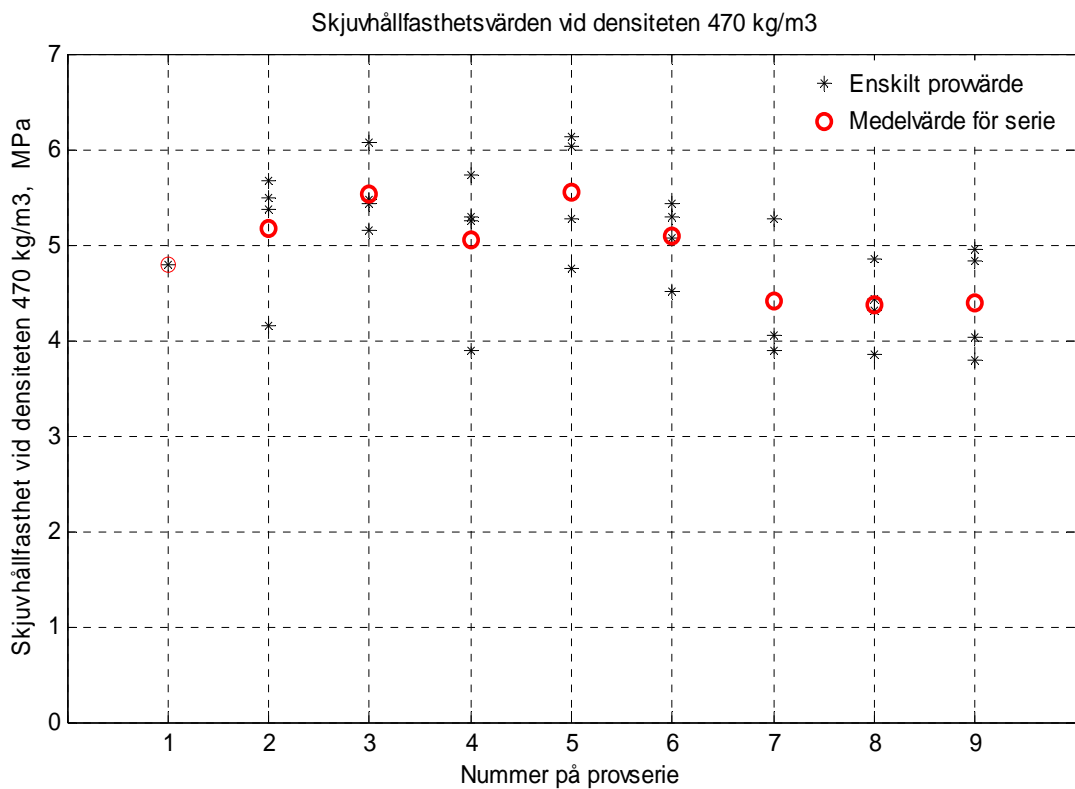


Tvärsnittsnr = Nummer på provserie	Tvärsnittstyp	b_{tot} mm	Tvärsnitt
1	Rektangulär, kluven 115	56	
2	Rektangulär	115	
3	Rektangulär	165	
4	Rektangulär	215	
5	Rektangulär med sågspår, $b_{liv}=77$	115	
6	I-tvärsnitt med $b_{liv}=77$	115	
7	Rektangulär, yttre tredjedel av 115	40	
8	Rektangulär, mittre tredjedel av 115	40	
9	Rektangulär, stående årsringar	115	

Figur 10. Experimentella skjuvbrottspänningar för olika provningar och provserier.

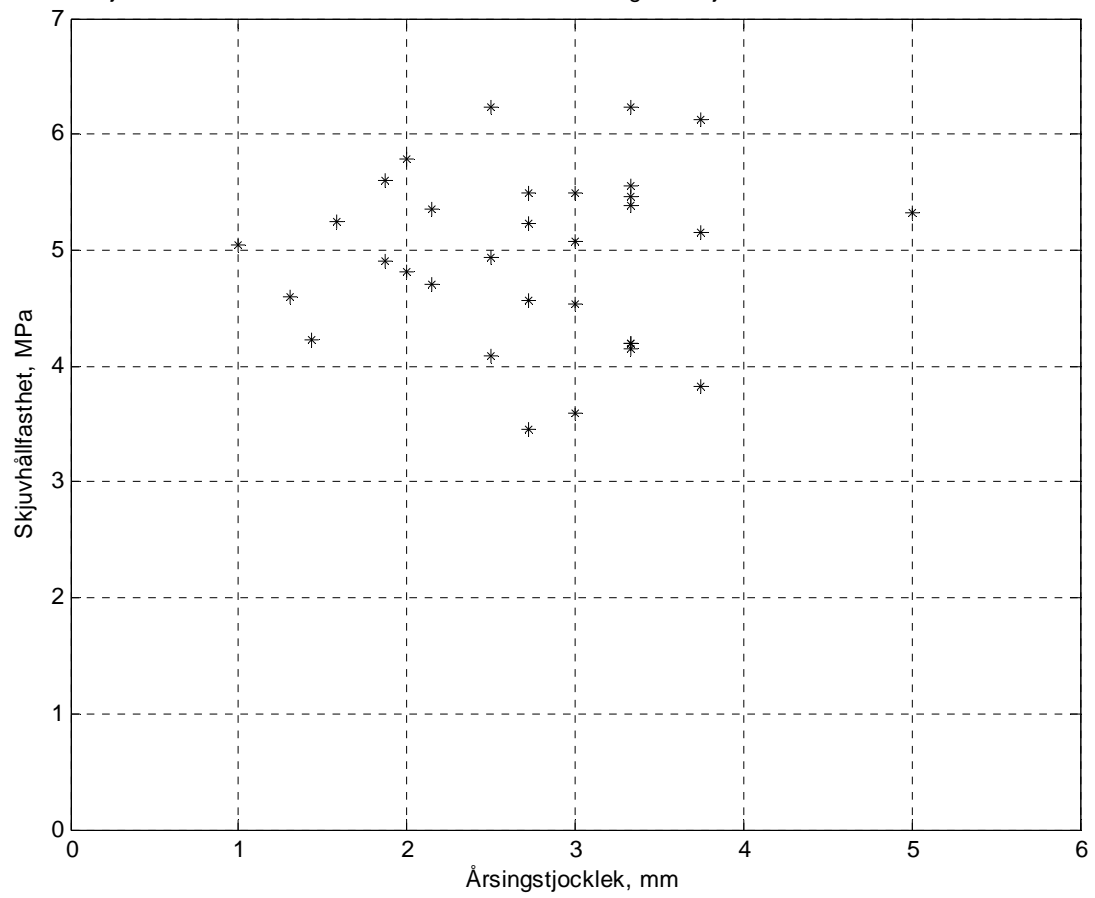


Figur 11. Samband mellan skjuvhållfasthet och densitet.



Figur 12. Experimentella skjuvhållfasthetsvärden för olika provningar och provserier, omräknade till motsvarande skjuvhållfasthetsvärden vid lika provkroppsdensitet, 470 kg/m³.

Skjuvhållfasthet som funktion av medelvärde av årsringarnas tjocklek över 30 mm i mittre lamell.



Figur 13. Skjuvhållfasthet mot medelvärde av årsringars tjocklek.

6. Avslutande kommentarer och diskussion

Provkropparna försågs med två 155 mm långa sågade slitsar, en i vardera ände av provkroppen, se Figur 2a. Två tydliga fördelar med detta är att brottet blir ett rent skjuvbrott utan inverkan av normalspänningar vinkelrätt fiber och att brott i infästningen mellan trä och stål undviks. Emellertid kan slitsarna tänkas påverka registerad brottlast på två sätt: Slitsarna medför spänningskoncentration, vilket kan ge *lägre* brottlast jämfört med ett fall där spänningarna är lika över hela brottytan. Slitsarna tvingar vidare brottet att initieras längs ett rakt spår och således inte följa t.ex en årsringskrökning, vilket eventuellt kan ge *högre* brottlast jämfört med ett fall brottet är fritt att initieras längs någon typ av krökt svagaste linje.

De erhållna skjuvhållfasthetsvärdena är i stort i samklang med vad som kunde förväntas utifrån tidigare erfarenheter och provningar, dock med ett undantag: För balkar uppmätta tvärkraftskapaciteter har för balkar med I-tvårsnitt visat högre skjuvhållfasthet än balkar med rektangulärt tvärsnitt, medan någon motsvarande skillnad inte kan ses i de aktuella provningsresultaten.

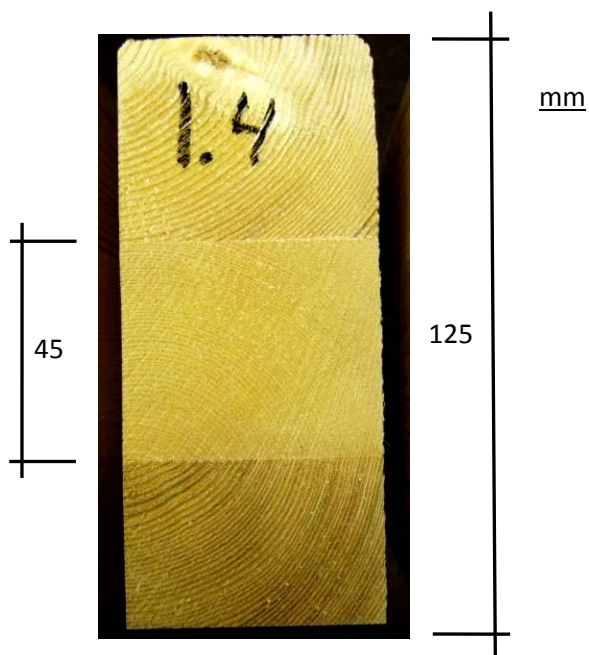
De erhållna provningsresultaten ger inte stöd till någon drastiskt sänkning av standardvärde på limträns karakteristiska skjuvhållfasthet. Av de i introduktionen nämnda förslagen till ändrat värde, är förslaget 3.5 MPa det som ligger närmast det föreliggande provningsresultatet 3.7 MPa. Detta värde erhöles för provkroppar som i medeltal hade densiteten 470 kg/m³ och karakteristiska densiteten 417 kg/m³. Erhållet empiriskt samband för inverkan av densitet ger att karakteristiska skjuvhållfasthetsvärdet 3.5 MPa motsvar limträ vars medeldensitet är 435 kg/m³.

Bara *en* relevant provning av provkropp med bredden 56 mm (serie 1) genomfördes. Detta beror på att bärförmågan hos de två raderna med skruvar var otillräcklig. Träets bredd, 56 mm, ger utrymme för tre skruvrader, vilket ganska säkert skulle gett tillräcklig bärförmåga. Emellertid var placeringen av hålen i ståldonen avpassad för jämt antal skruvrader. En ganska enkel åtgärd för ytterligare förbättring av provningsmetoden är att förse ståldonen med fler hålraden så att ojämt antal skruvrader kan hanteras utan att det innebär excentrisk belastning av provkroppen.

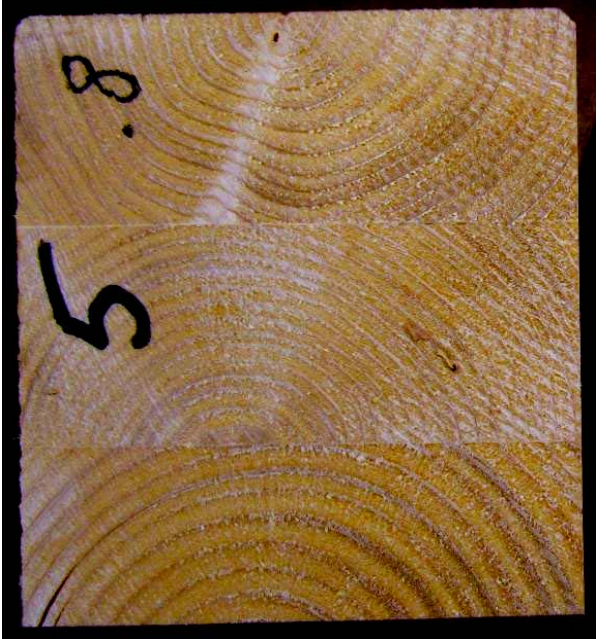
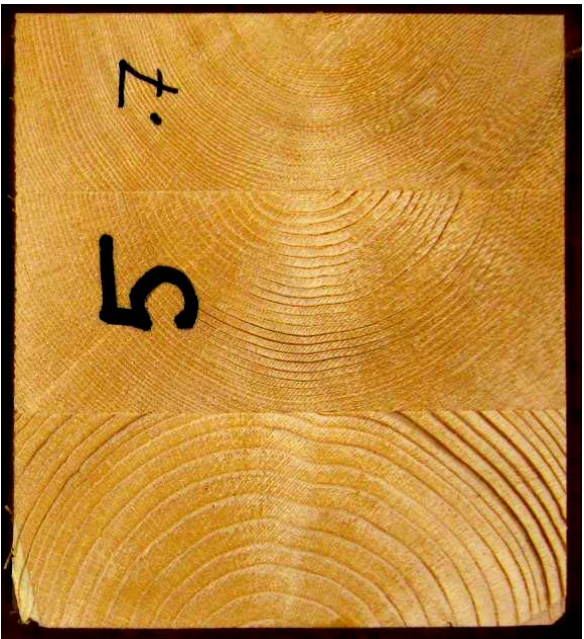
Aktuell skjuvprovningmetod förefaller fungera väl praktiskt, fransätt behov av mindre justeringar som t.ex för möjlighet till ojämnt antal skruvrader. Analys av spänningsfördelningen i provkroppen vore av värde för att säkrare kunna värdera provningsresultaten och kunna korrelera med skjuvspänningar och tvärkraftskapacitet för olika typer av balkar. I detta ligger också att skjuvspänningsfördelningen i olika typer av balkar skulle behöva studeras närmare, med beaktade av både normalspänningar och inverkan av årsringar, fuktgradienter, sprickor och andra 3D effekter.

Appendix A:
Foto av provkroppars tvärsnitt

-----Nedan 1 provkropp provad i provserie 1-----



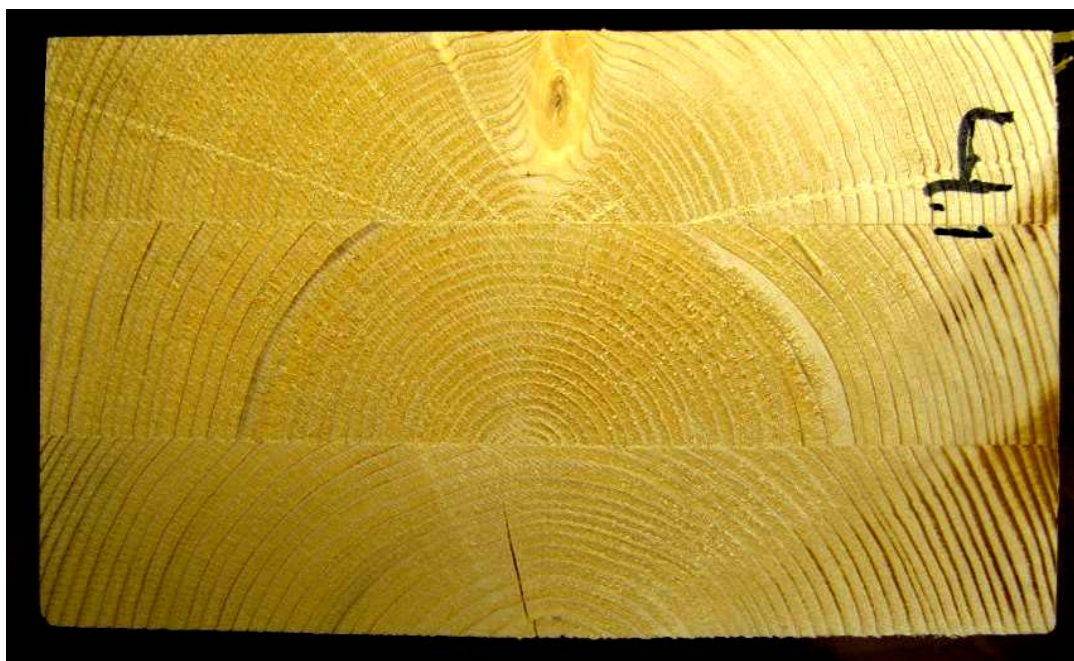
-----Nedan 4 provkroppar provade i provserie 2-----



-----Nedan 4 provkroppar provade i provserie 3-----

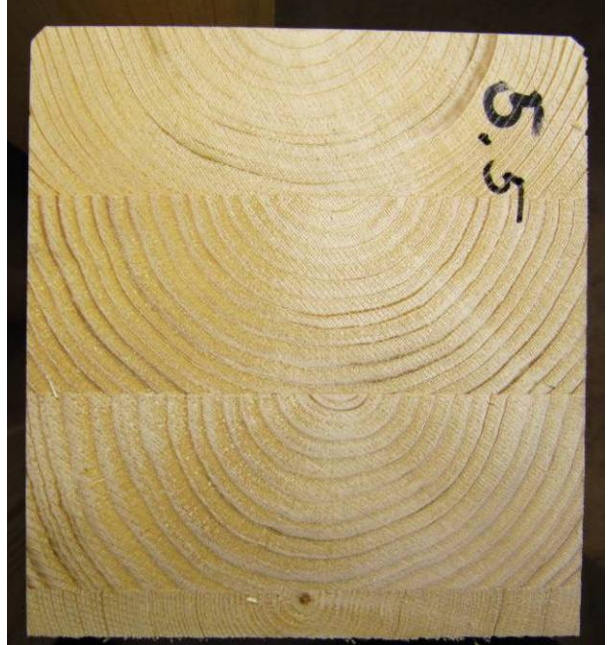
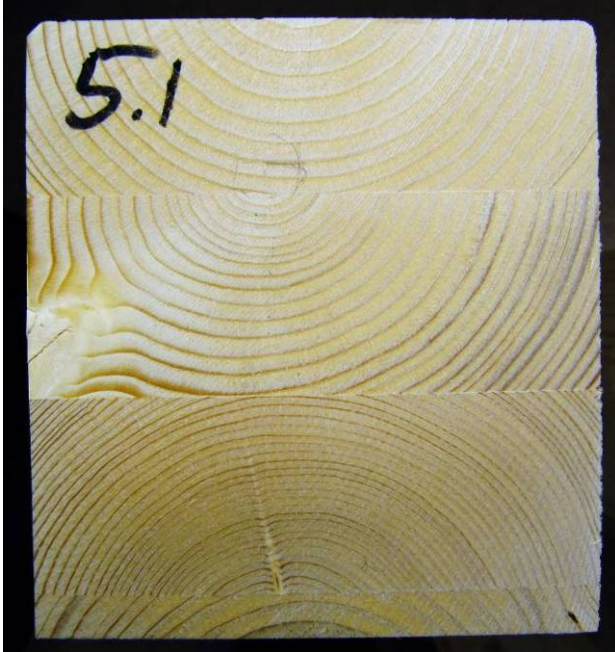




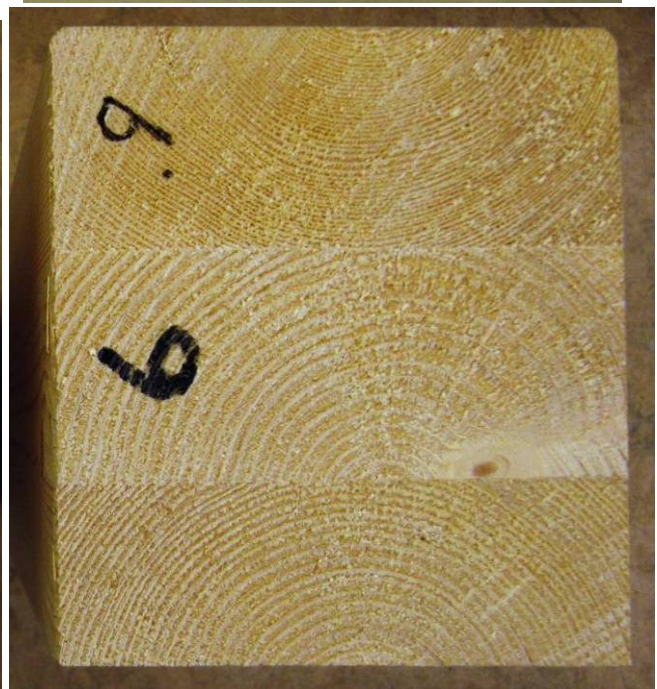
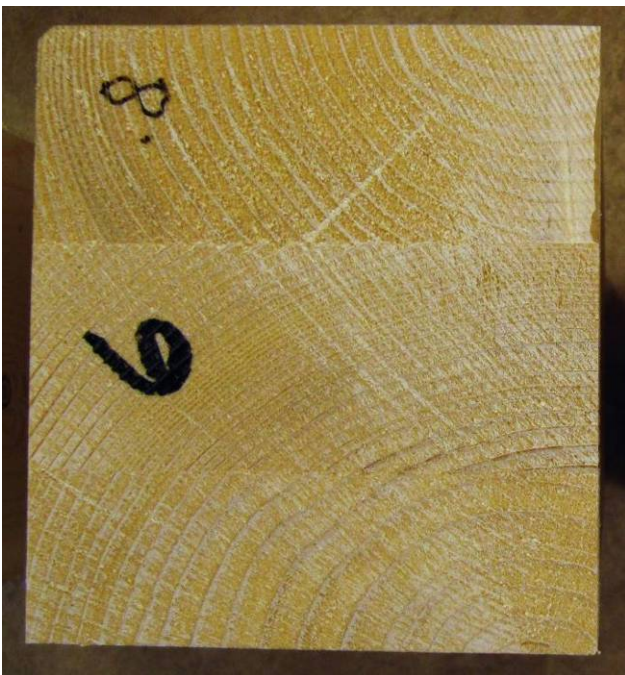
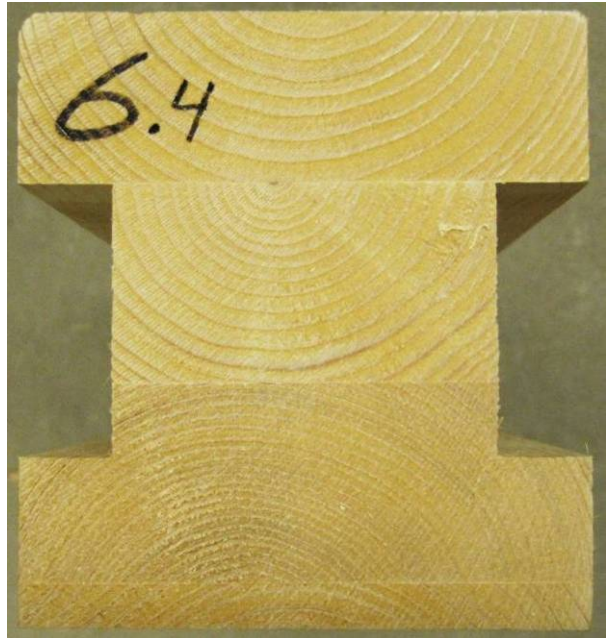
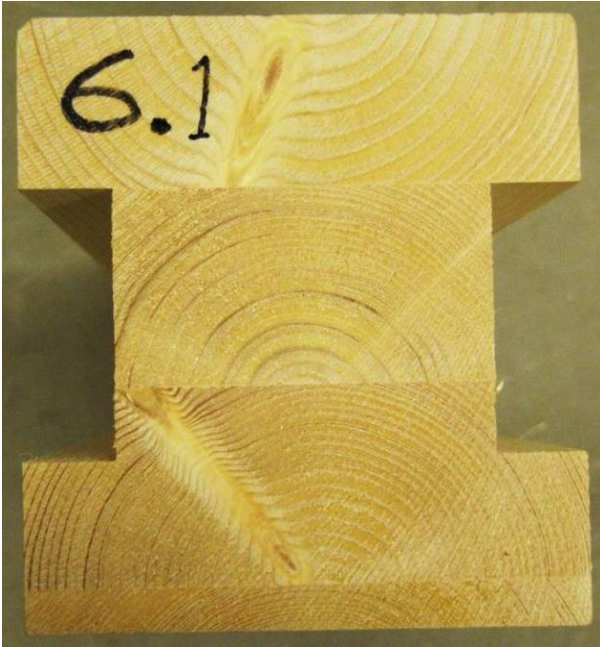




----- Nedan 4 provkroppar provade i provserie 5-----



----- Nedan 4 provkroppar provade i provserie 6 (alla provkroppar I-frästa och försedda med inlimmad kvartsstav före provning)-----



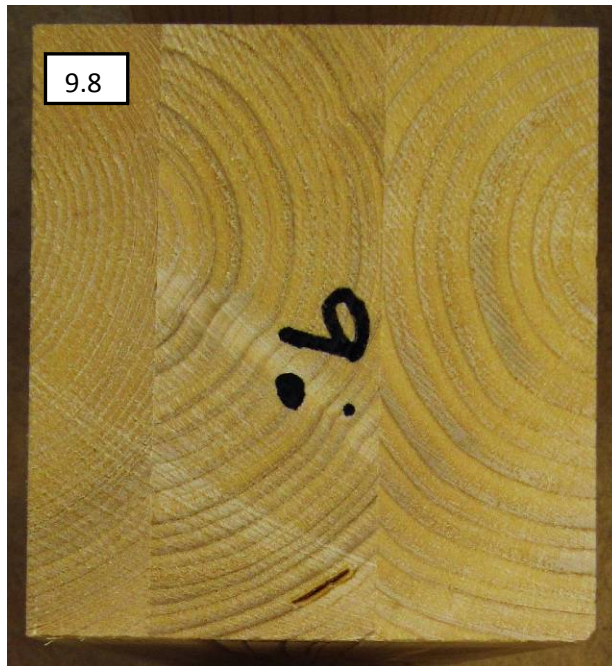
----- Nedan 4 provkroppar provade i provserie 7-----



----- Nedan 4 provkroppar provade i provserie 8-----



----- Nedan 4 provkroppar provade i provserie 9-----



Appendix B:

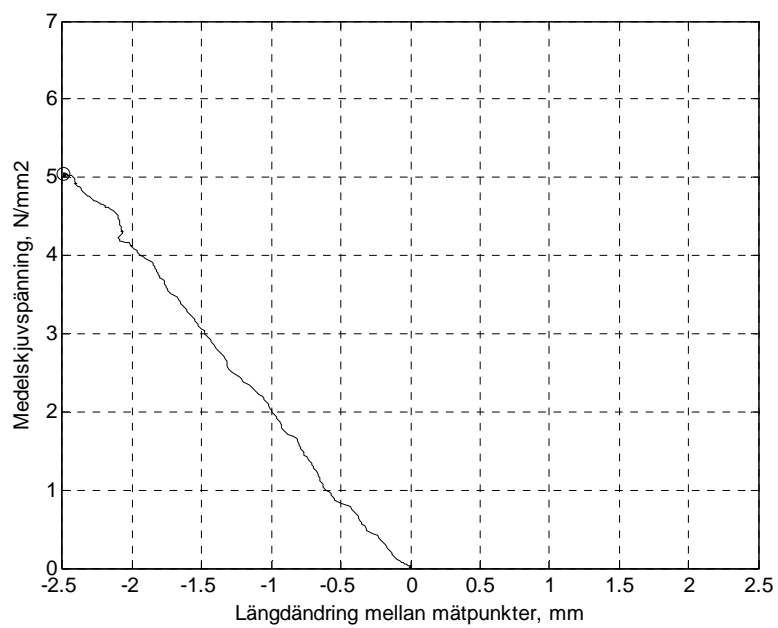
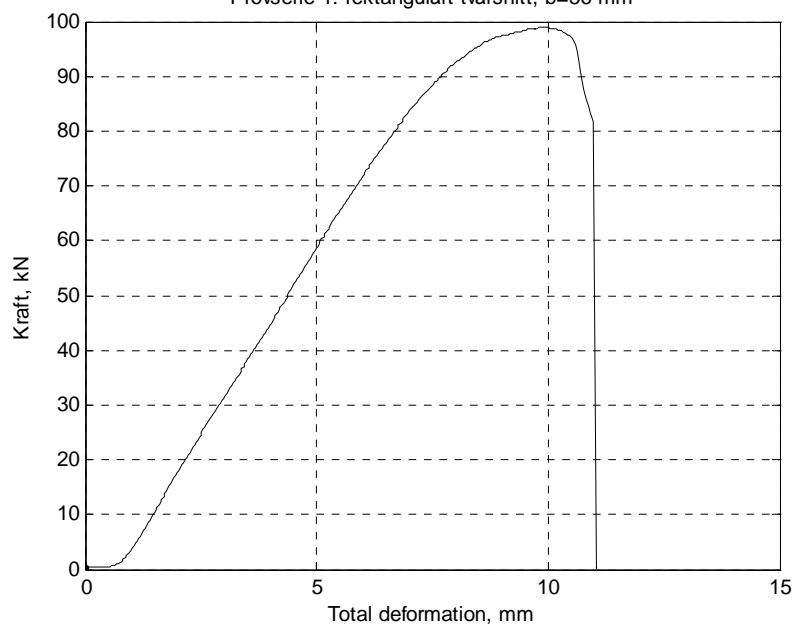
Enskilda provningsresultat:

- Foto av provkropparefter brott
- Last vs total deformation
- Skjuvspänning, P/A , vs provkropp deformation



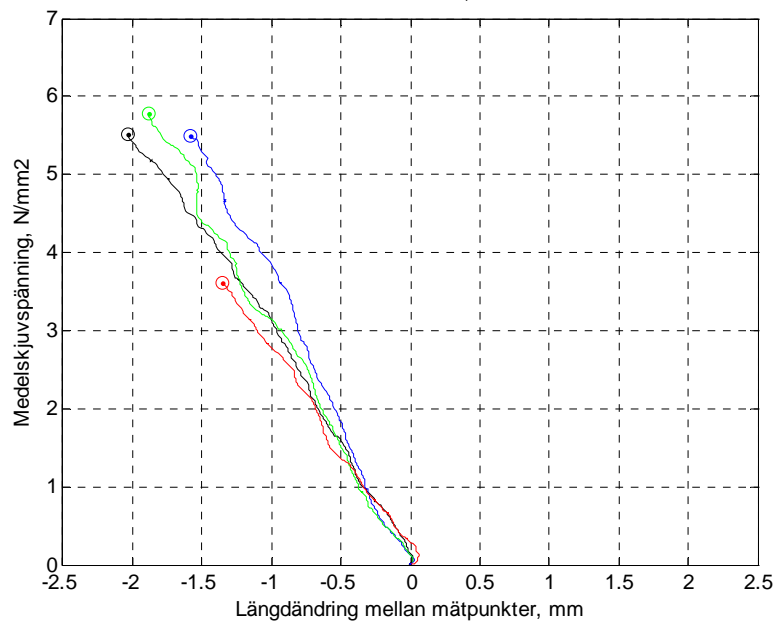
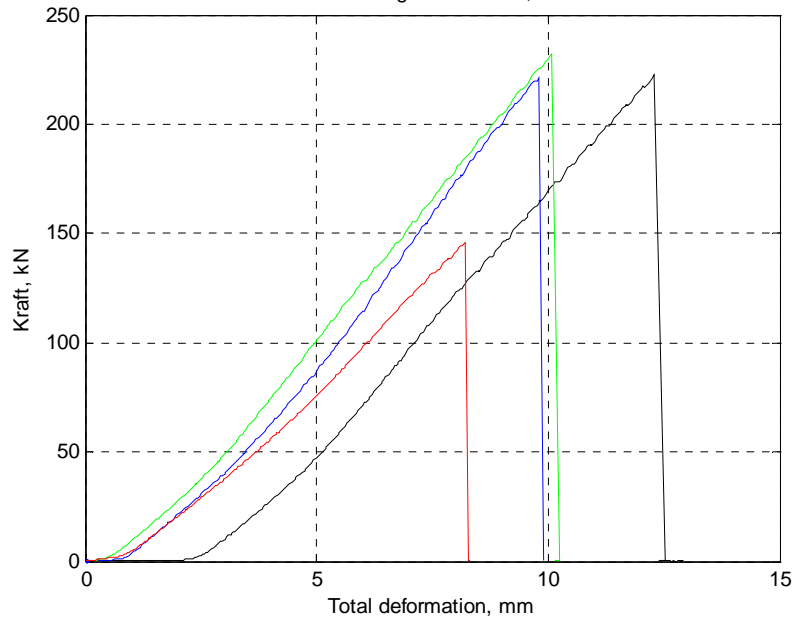
Provserie 1: Endast ett giltligt träskjuvbrottsresultat pga brott i eller vid skruvar (bara två skruvrader).

Provserie 1: rektangulärt tvärsnitt, $b=56$ mm



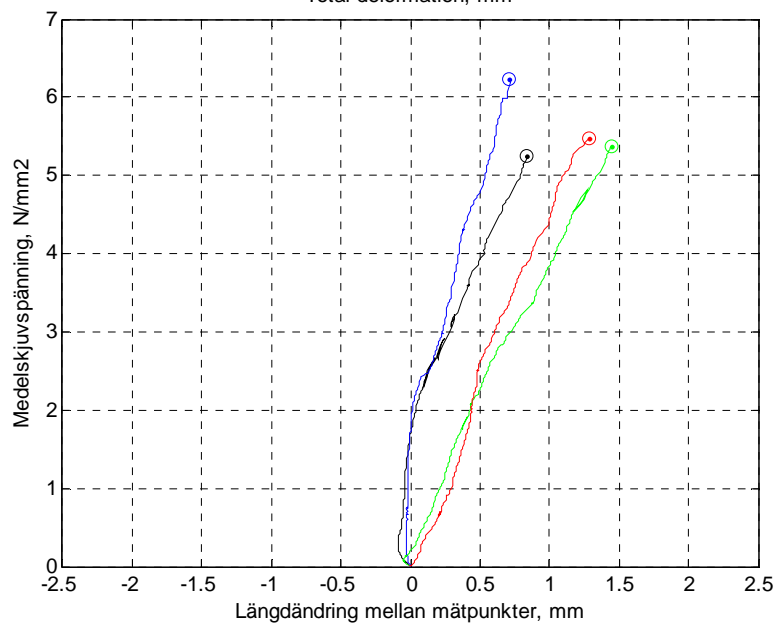
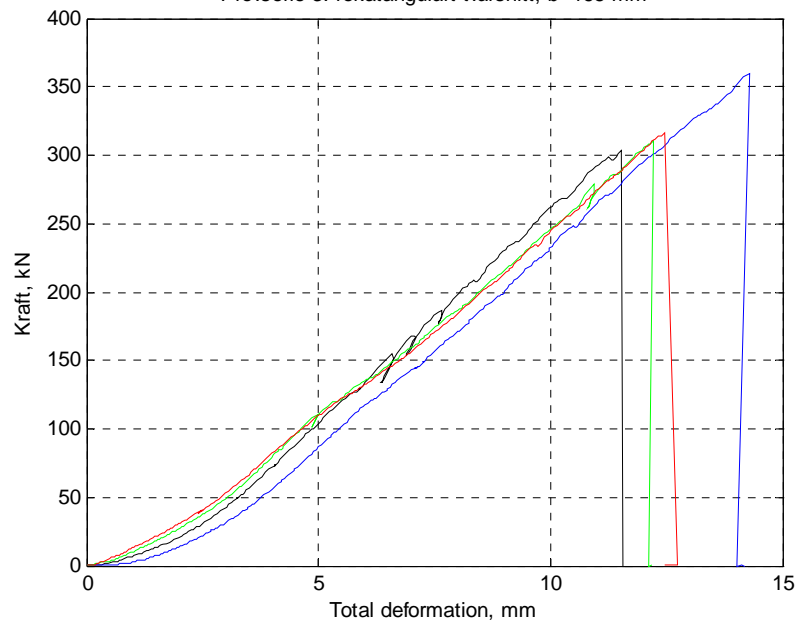


Provserie 2: rektangulärt tvärsnitt, b=115 mm



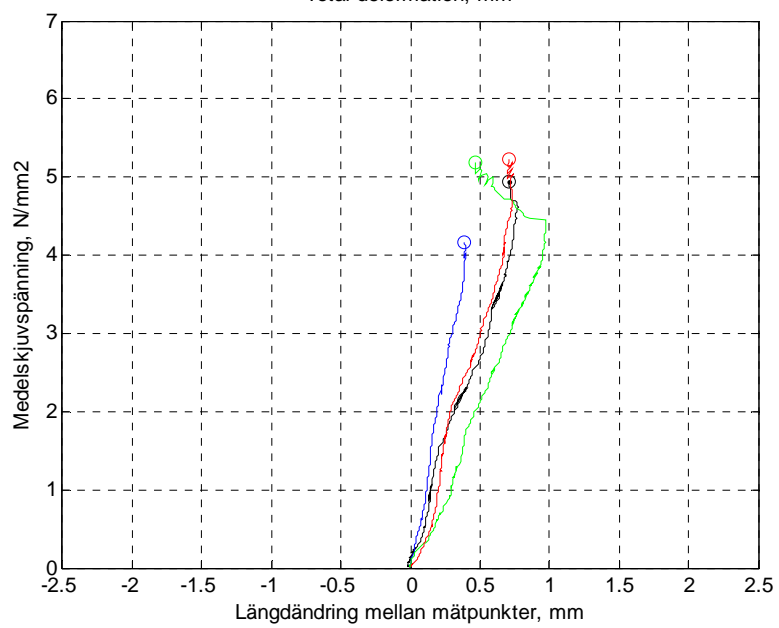
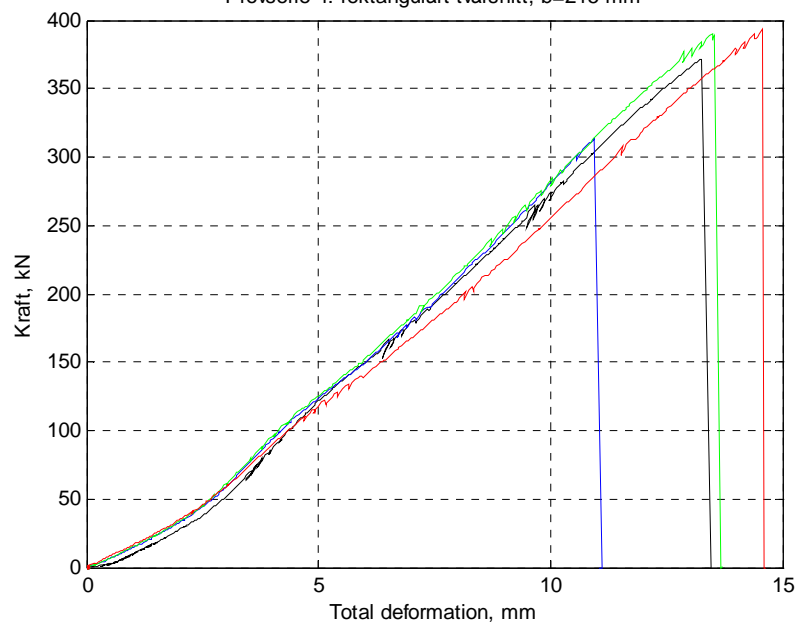


Proserie 3: rektangulärt tvärsnitt, $b=165$ mm



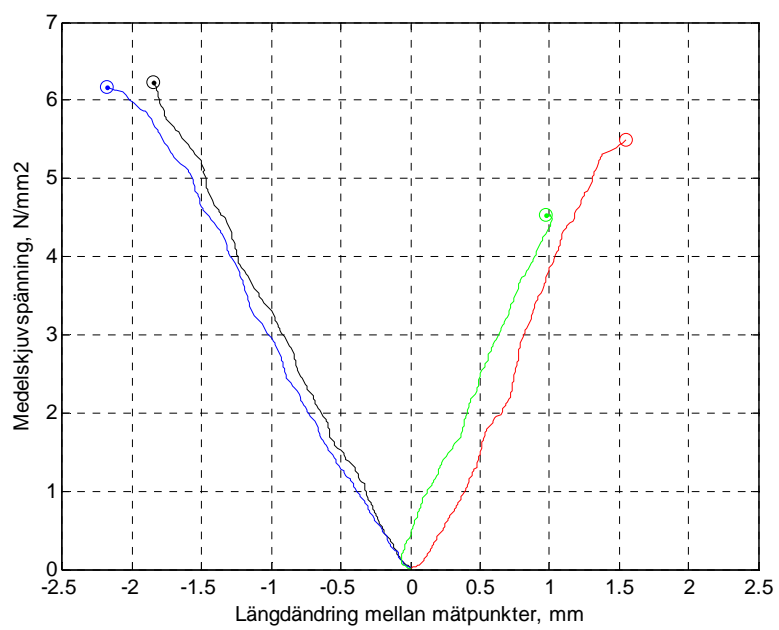
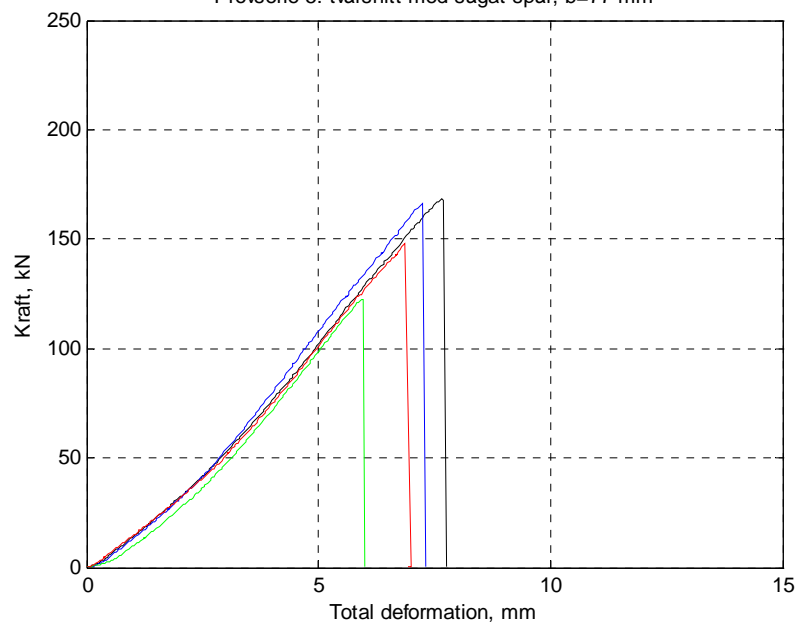


Proverserie 4: rektangulärt tvärsnitt, $b=215$ mm



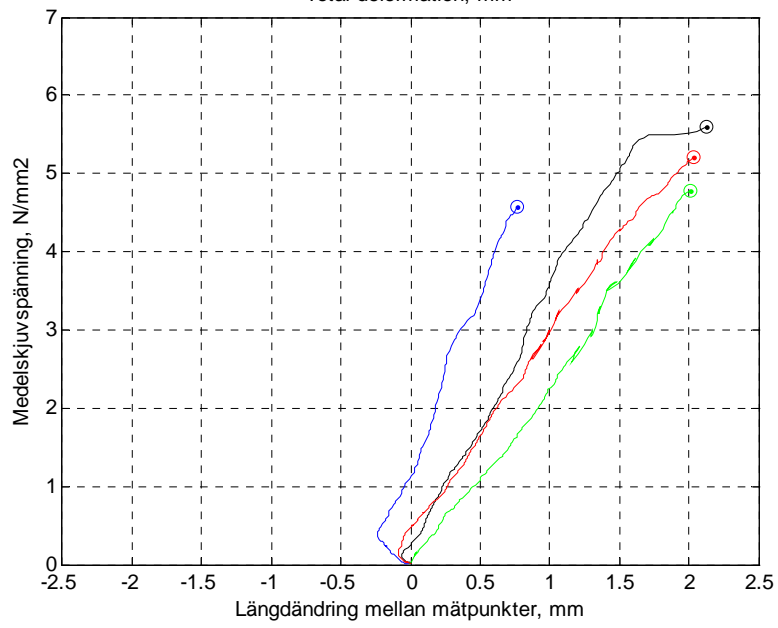
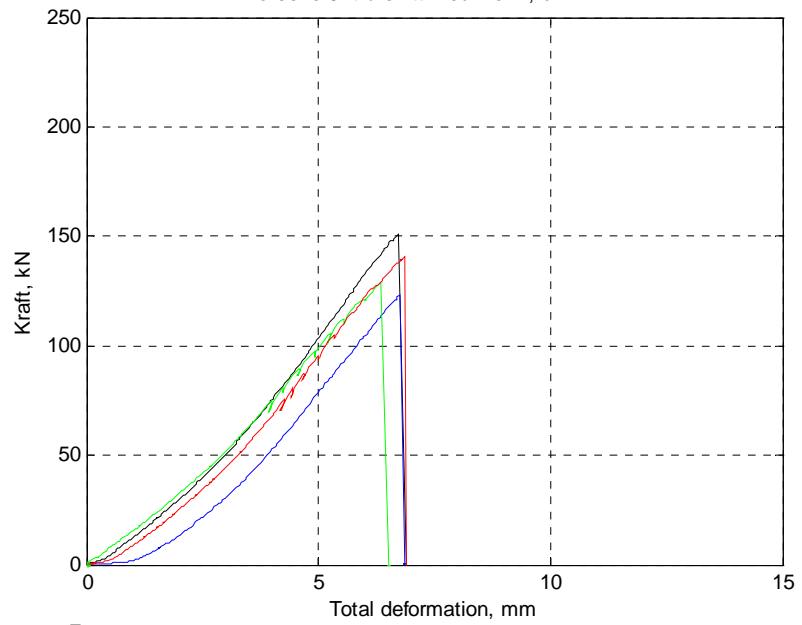


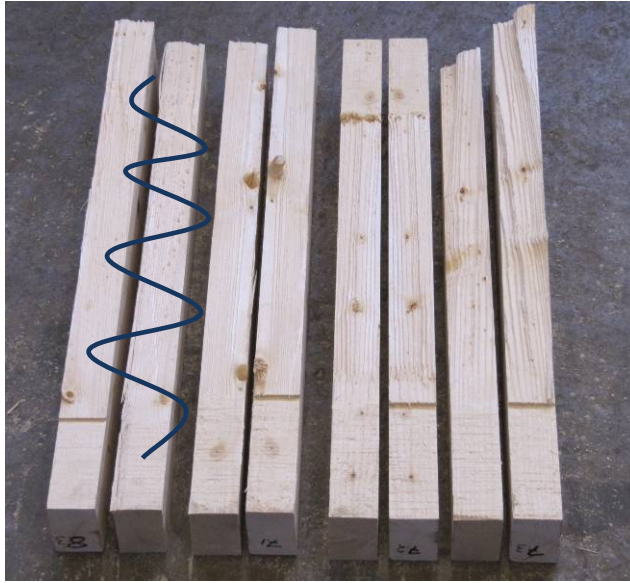
Proverier 5: tvärsnitt med sågat spår, $b=77$ mm



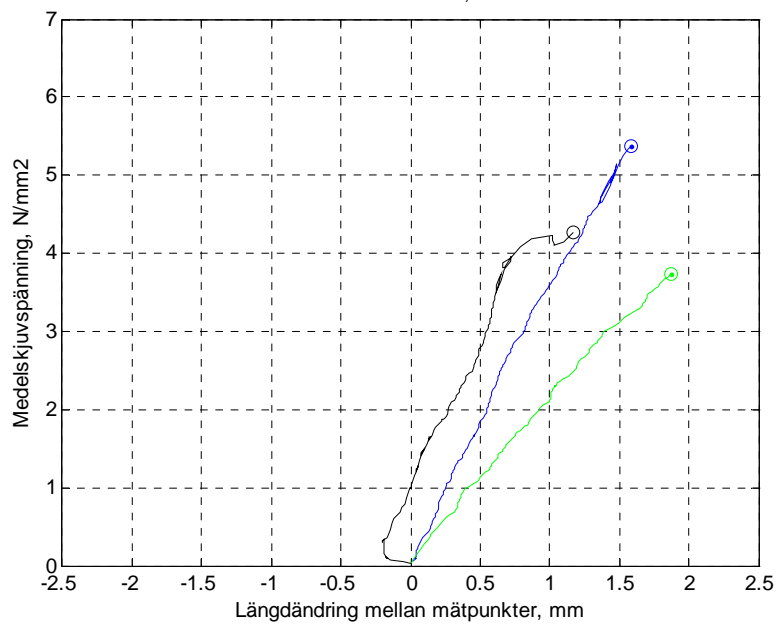
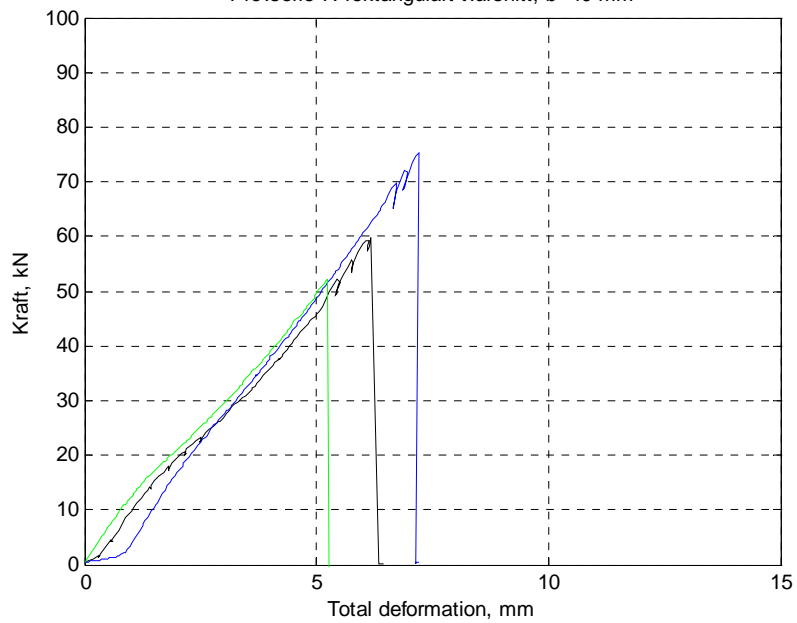


Proverier 6: tvärsnitt med I-form, $b=77$ mm



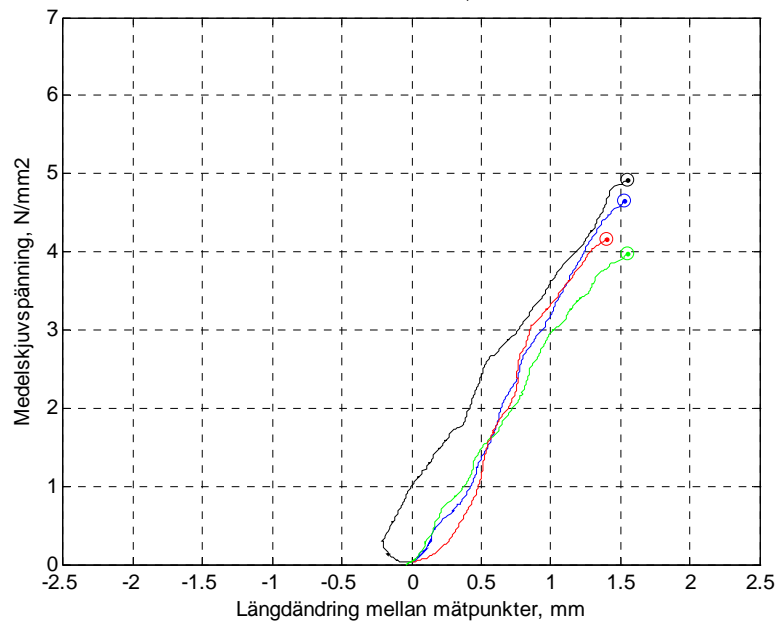
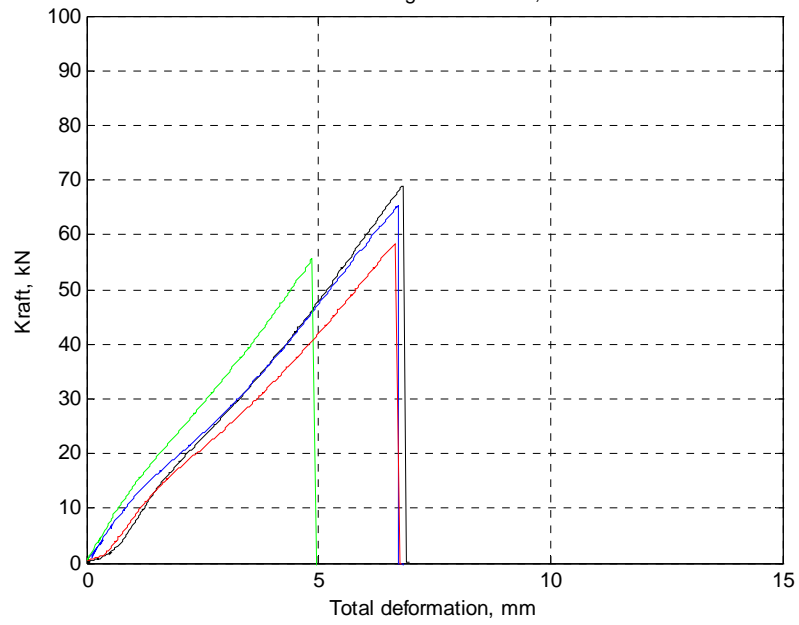


Provserie 7: rektangulärt tvärsnitt, $b=40$ mm





Provserie 8: rektangulärt tvärsnitt, b=40 mm





Proserie 9: rektangulärt stående tvärsnitt, $b=115$ mm

