

Kantlimmade balkar för produktion vid sågverk

Agne Ivarsson

Luleå tekniska universitet
Civilingenjörsprogrammet
Träteknik
Institutionen för LTU Skellefteå
Avdelningen för Träteknik

Sammanfattning

I en rapport som 2004 överlämnades till regeringen fastslås att om 10 - 15 år eftersträvas att andelen nyproducerade lägenheter med trästomme skall utgöra minst 30 %. Detta gör att marknaden för bärande stomelement i trä kommer att öka de närmaste åren under förutsättning att målet uppfylls.

Vid konstruktion av byggnader med medellånga spännvidder krävs ofta balkhöjder som överskrider de mått som normalt kan sågas fram i en enda massiv bit. Ofta väljs istället balkar av limträ, LVL eller I-balk.

Syftet med detta arbete är att undersöka möjligheterna att tillverka en konkurrenskraftig balk av de produkter som kommer ur produktionen vid sågverket.

Genom att limma samman två eller flera fingerskarvade lameller kant mot kant går det att få fram en tillräckligt hög balk för att klara kraven. Dessa balkar kan tillverkas i produktionen vid sågverket och utgöra ett enklare men fullt konkurrenskraftigt alternativ till de mera förädlade produkterna.

Balkarna som här kallas kantlimmade är tänkta att framställas av två eller tre lameller av K24 alternativt K30 kvalitet som limmas samman med ett lim som är godkänt att använda i bärande konstruktioner. Limningen utgör en betydelsefull del i produktionen där det ställs krav på ett fullgott limningsresultat för att säkerställa hög kvalitet på balkarna.

För tillverkning av kantlimmade balkar finns i dagsläget inte någon tillämpbar standard eller kravspecifikation motsvarande de krav som finns vid tillverkning av exempelvis limträ. Detta kan vara en nackdel eftersom det gör det svårare att konkurrera med befintliga alternativ vars tillverkning är strikt reglerad för att uppnå hög och jämn kvalitet på produkten.

Kantlimmade balkar är tänkta att användas i bärande konstruktioner som bjälklag, takstolar, bärlinor m.m. De bör finnas i längder upp till 12 m och balkhöjder upp till 500 mm för att möta konkurrenternas produkter. Den spännvidd som en kantlimmad balk i K30 kvalitet klarar är jämförbar med konkurrenterna, men det går inte att direkt ersätta en dimensionerad balk i en konstruktion med en kantlimmad balk i samma dimension, nya dimensioneringsberäkningar är nödvändiga.

Kraven på det virke som skall användas till lameller i balken bör ställas höga både vad gäller lämplig fuktkvot och att deformationerna skall vara små. Eftersom det är stora dimensioner ger ett litet formfel stort utslag på balkens längd. Genom att välja lämplig fuktkvot hos virket då detta limmas samman minskas fuktrörelserna då balken sitter på plats.

För att uppnå en dimensionsstabil produkt är det betydelsefullt hur lamellerna orienteras vid sammanlimningen av balken. Genom att orientera lamellernas årsringsmönster på lämpligt sätt kan balken göras mera formstabil och rörelserna vid förändring av fuktkvot motverkar varandra.

En prisjämförelse med huvudkonkurrenterna visade att kantlimmade balkar har goda möjligheter att konkurrera med limträ, LVL och I-balkar.

Balkar tillverkades samt lagrades i ett klimat som motsvarar det där de är tänkta att användas. På dessa balkar utfördes deformationsmätningar vilka visade att vid val av lämplig råvara vid tillverkningen samt lämplig orientering av lamellerna vid limningen blir deformationerna försumbara.

Det tillverkades även balkar för provning av mekaniska egenskaper hos SP i Borås. Provningen hos SP av dessa balkar tyder på att kantlimmade balkar kan få egenskaper som är väl jämförbara med konkurrenternas men till ett lägre pris.

Abstract

In a report to the Swedish government from 2004 is established that in 10 – 15 years the objective is that at least 30 % of the new production of apartments should be wood framed. This will increase the market for load bearing wood frame elements the coming years if the goal is fulfilled.

When constructing buildings with medium spans it often demands beam heights than exceed the dimensions that normally are possible to get from one single log. Often LVL, I-beams or glulam are instead chosen.

The aim of this work is to investigate whether it is possible to produce a competitive beam from the sawn products at sawmill.

By gluing two or three finger jointed lamellae edge to edge it is possible to a beam with enough height to fulfil the demands. This beams can be manufactured in the production at sawmill and constitute a simple, but completely competitive alternative to the more established products.

The beams, here named edge glued (kantlimmade) , can be produced from two or three lamellae with C24 or C30 quality that is glued together with a glue that it approved for supporting constructions. The gluing form a significant part of the production where there are formal demands of an adequate gluing result to guarantee high quality of the beams.

Today there are no applicable standards corresponding to the demands when producing gluelam. This could be a drawback since it makes it more difficult to compete with existing alternatives whose manufacture is strict regulated to attain high and uniform quality of the product.

Edge glued beams is aimed to be used in supporting constructions such as systems of joists, roof trusses, girders etc. They can be up to 12 m long and 500 mm high to meet the competitors' products. The span that an edge glued beam in C30 quality can manage is comparable with the competitors, but it's not possible to simply replace a dimensioned beam in a construction with an edge glued beam in same size as new calculations are necessary.

The demands of the wood to be used in the lamellae have to be exacting both appropriate moisture content and the shape distortions should be small exact in as small board deformation results in big deviation at beam length. If the moisture content of the wood is appropriately selected the distortion will be minimized when the beam is installed.

To obtain a product with smaller distortions it is important how the lamellae are oriented when the beam is glued. By orientation of lamellae annual rings in an appropriate way the boards distortions should neutralize each other and the beam get more stable.

A price comparison with the main competitors point out that edge glued beams show good possibilities to compete toward glulam, LVL and I-beams.

Beams were produced and stored in a climate that correspond to climate that they are intended to be used in. At these beam deformation measurement were made and they indicate that if correct raw material is selected at production and appropriate orientation of lamellae during gluing, the deformations would be insignificant.

Beams were also produced to test the mechanical properties at SP (Swedish National Testing and Research Institute) in Borås.

The test of these beams at SP indicate that edge glued beams can have properties that are quite up to the standard of the competitors but to a lower price.

Förord

Föreliggande examensarbete utfördes hos Derome AB i samarbete med Statens Provnings och Forskningsinstitut i Borås och är en del i utbildningen till civilingenjör i träteknik vid Luleå tekniska universitet.

Jag vill tacka mina handledare Per Andersson Derome såg och Carl-Johan Johansson SP i Borås för stöd och support i arbetet. Jag vill även passa på att tacka övriga medarbetare som hjälpt mig med olika praktiska problem och mätningar på Derome och SP.

Sist vill jag rikta ett stort tack till min examinator professor Owe Lindgren vid avdelningen för träteknik på Luleå tekniska universitet för hjälp med upplägg och redigering av examensarbetets slutrapport, samt övrig personal i Skellefteå för intressanta och givande studier inom träteknik.

Derome, mars 2005

Agne Ivarsson

Innehållsförteckning

1 INLEDNING	1
1.1 BAKGRUND	1
1.2 SYFTE OCH MÅL	1
1.3 AVGRÄNSNINGAR	2
1.4 MARKNADEN FÖR KANTLIMMADE BALKAR	2
1.5 SEGMENT	3
1.6 VAD BESTÄMMER MATERIALVAL I KONSTRUKTIONEN?	4
1.7 KONTROLL AV VIRKE INNAN LIMNING	4
1.8 TILLVERKNING	4
1.9 ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN	5
1.10 TIDIGARE ARBETEN	5
2 ALLMÄNT	6
2.1 DAGSLÄGET	6
2.1.1 <i>Limträ</i>	6
2.1.2 <i>LVL</i>	6
2.1.3 <i>I-balkar</i>	6
2.2 KONKURRENTER	6
2.3 LIMNING AV SAMMANSATTA PRODUKTER AV TRÄ FÖR ATT UPPNÅ FORMSTABILITET	7
2.4 DEFORMATIONER	8
2.4.1 <i>Vridning</i>	8
2.4.2 <i>Kantkrok och flatböj</i>	8
2.4.3 <i>Kupning</i>	8
2.5 LIM TILL FINGERSKARVNING OCH KANTLIMNING	9
2.6 FINGERSKARVENS UTFÖRANDE	10
3 KANTLIMMADE BALKAR	11
3.1 KRAV	11
3.1.1 <i>Dimensions- och fuktkvotskrav</i>	11
3.1.2 <i>Limkrav</i>	11
3.2 VIRKESKRAV	12
3.3 DIMENSIONSKRAV	13
3.4 LAMELLKRAV	14
3.5 BALKENS FUKTKVOTSKRAV	15
4 MATERIAL OCH METODER	16
4.1 DEFORMATIONS MÄTNING AV BALKAR LAGRADE I INOMHUSKLIMAT	16
4.1.1 <i>Limning av balkar för deformationsmätning</i>	16
4.1.2 <i>Mätning av fuktkvot och torkspänningar hos ingående material</i>	16
4.1.3 <i>Deformationsmätning av balkar</i>	16
4.2 LIMNING AV BALKAR FÖR PROV HOS STATENS PROVNING- OCH FORSKNINGS INSTITUT I BORÅS	17
4.3 PROVNING AV BALKAR HOS SP I BORÅS	18
4.3.1 <i>Mätning av E-modul, momentkapacitet samt böjhållfasthet</i>	18
4.3.2 <i>Skjuvprovning av limfog</i>	20
4.3.3 <i>Uttagning av provkroppar för att bestämma densitet och fuktkvot</i>	21
5 RESULTAT	22
5.1 RESULTAT AV FUKTKVOTSMÄTNING AV BITAR FÖR DEFORMATIONS MÄTNING	22
5.2 RESULTAT AV DEFORMATIONS MÄTNING AV BALKAR	22
5.3 RESULTAT AV UPPSPRÄCKNING AV LIMFOG	24
5.4 RESULTAT FRÅN BALKPROVNING HOS SP I BORÅS	24
5.4.1 <i>Resultat av provning av momentkapacitet, E-modul och böjhållfasthet</i>	24
5.4.2 <i>Resultat av skjuvprov</i>	25
5.4.3 <i>Resultat av fuktkvots- och densitets mätning</i>	26

6 SLUTSATSER OCH KOMMENTARER.....	27
6.1 PU-LIM VID TILLVERKNINGEN	27
6.2 KOMMENTARER TILL RESULTAT FRÅN BALKPROVNING HOS SP	27
6.3 PRISJÄMFÖRELSE MED LVL, I-BALK OCH LIMTRÄ	28
6.4 ERSÄTTNING AV LVL OCH I-BALKAR I REDAN DIMENSIONERADE KONSTRUKTIONER	29
6.5 STANDARD	29
6.6 KUNDANPASSNING	30
7 ÖVRIGT	31
7.1 FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE	31
REFERENSER.....	32
APPENDIX.....	34
FUKTKVOTSBESTÄMNING AV LAMELLER OCH BALKAR	34
DEFORMATIONSMÄTNING AV BALKAR	36
MÄTNING AV E-MODUL, BÖJHÅLLFASTHET OCH MOMENTKAPACITET HOS BALKAR.....	42
DENSITETS- OCH FUKTKVOTSMÄTNING.....	48
SKJUVPROVNING AV LIMFOG.....	50

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Vid konstruktion av byggnader med medellånga spännvidder, upp till ca sju (maximalt tolv) meter krävs balkhöjder på 300 till 500 mm.

Eftersom sågverken kan leverera plankor med bredder upp till 225 (250) mm är det inte möjligt att använda en olimmad plankor på högkant. Istället väljs limträ, LVL, I – balk eller olika typer av fackverksbalkar vilka kan fås i långa längder med tillräcklig balkhöjd.

Genom att kantlimma en balk av två eller fler fingerskarvade lameller (plankor) är det möjligt att uppnå tillräcklig höjd på balken, se figur 1. Sådana kantlimmade balkar är möjliga att tillverka i produktionen på sågverket.



Figur 1: Princip för hur en kantlimmad balk kan se ut.

Dessa balkar skulle kunna vara ett billigare men fullt konkurrenskraftigt alternativ till de mer ”förädlade” produkterna.

Som ett exempel kan man genom att limma samman två plankor med tvärsnittsdimension 50 x 150 mm få en balk med tvärsnittsdimension 45 x 290 mm efter hyvling. Utgångsmaterial är lämpligen fingerskarvat virke vilket gör det möjligt att få fram tillräckligt långa längder. Längsta längderna på inkommande virke till sågen är ca 5,5 m. Genom att fingerskarva virket är det möjligt att kapa bort defekter och skarva ihop virket till tillräcklig längd.

Då två eller flera lameller limmas samman får man dessutom en balk med högre styrka än en olimmad plankor med motsvarande dimension. Det beror på att eventuella defekter i virket till viss del omfördelas genom att de med stor sannolikhet inte hamnar i samma snitt i balken. Spridningen av hållfasthetsvärden mellan olika balkar minskar och det är möjligt att tillgodoräkna sig en högre bärförmåga. Denna så kallade lamelleffekt beror enligt Falk et al. [1] på flera olika samverkande delar, dels fysikaliska men även på att provningen av sammanlimmade produkter sker på ett visst sätt.

Resultatet av lamelleffekten varierar mellan 6 % - 59 % för Europeiskt limträ. Effekten blir mindre ju högre hållfasthetsklass utgångsmaterialet har (K35 ger mindre effekt än K12) beroende på att virke i en högre hållfasthetsklass innehåller färre defekter som kvistar m.m. samt att materialet är homogener vilket gör att påverkan av testningsproceduren blir mindre. Effekten minskar även då balken ökas i dimension, den så kallade volymeffekten.

1.2 Syfte och mål

Syftet med arbetet är att undersöka hur kantlimmade balkar kan tillverkas av de varor som produceras vid sågverket. Gällande regler och krav för tillverkning undersöks samt vilka krav som ställs på såväl virke och lim som den färdiga produkten för att tillfredställa kundens önskemål.

Målet är att fastställa de krav och önskemål som ställs på kantlimmade balkar för att kunna föreslå hur tillverkning kan utföras för att uppfylla dessa på ett konkurrenskraftigt sätt.

1.3 Avgränsningar

Undersökningen gäller endast Svenska krav och riktlinjer. Vidare gäller den de förhållanden som råder i Sverige.

Samtliga balkar som användes i försöken limmades hos Derome AB utan hjälp av maskiner. Försöken begränsades till att omfatta:

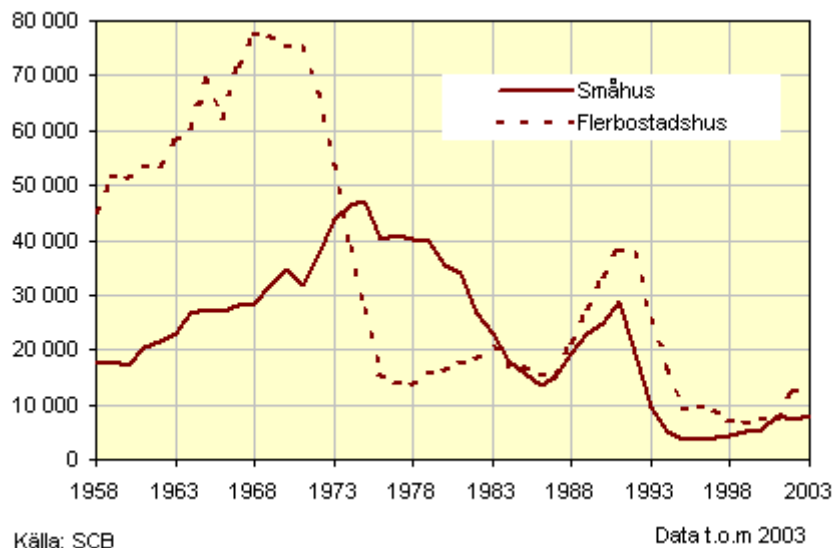
- Deformationsmätning av 11 st. balkar som under fyra månader lagrades i ett inomhusklimat.
- Hållfasthetsprov hos SP i Borås av 28 st. balkar limmade med MUF-limmet Cascomin 1242/2542.

Spännviddsberäkningar begränsades till att omfatta ett fåtal dimensioner för vilka dimensioneringsberäkningar utfördes med hjälp av beräkningsprogrammet ”TRUSSCON” med krav och karakteristisk last enligt BKR 2003 [2] för ett mellanbjälklag i ett bostadshus.

1.4 Marknaden för kantlimmade balkar

I januari 2004 överlämnades rapporten ”Mer trä i byggandet – underlag för en nationell strategi att främja användning av trä i byggandet” DS 2004:1 [3] till regeringen. I denna sägs bland annat att om 10 – 15 år skall andelen nyproducerade flerbostadshus med stomme i trä utgöra minst 30 %.

Årligen produceras ca 20000 – 25000 lägenheter, antalet varierar något mellan åren beroende på efterfrågan och politisk styrning, se figur 2.



Figur 2: Diagram över nyproduktionen av bostäder i Sverige under perioden 1958 – 2003 enligt SCB.

År 2002 färdigställdes 7227 lägenheter i småhus och 12714 i flerbostadshus enligt SCB [4]. 2004 räknar Boverket [5] med att 26 500 bostäder kommer att påbörjas.

Totalt 9036 lägenheter byggdes i småhus under 2003 och i dessa hus är trä det dominerande stommaterialet (ca 90 % av alla nybyggda småhus har stomme i trä). Av dessa 9036 lägenheter levererade Svensk trähusindustri [6] 2664 bostadslägenheter fördelat på 2493 småhus och 171 flerbostadshus i olika former. Det innebär att Svensk trähusindustri tillverkar ca 10 – 13 % av alla lägenheter som färdigställs i Sverige. Det handlar här om prefabricerade hus som byggs ”torrt” inomhus under kontrollerade former och sedan monteras ihop ute på byggplatsen. Övriga lägenheter utgörs av platsbyggda ”lösverkshus” m.m.

Enligt artikel i TRÄ INFORMATION [7] byggs det över 2000 bostäder i flerbostadshus med lägenhetsskiljande träbjälklag 2004. Det utgör ca 15 % av alla nybyggda lägenheter i flerbostadshus.

Idag har mindre än 10 % av de nybyggda lägenheterna i flerbostadshus stomme i trä. Uppnås målet att minst 30 % av de ca 12000 lägenheter som byggs i flerbostadshus under ett år har stomme i trä innebär det minst 3600 lägenheter per år med trästomme. Det blir i så fall mer än en tredubbling jämfört med dagens nivå som ligger kring 1000 lägenheter per år.

I flerbostadshus och andra större byggnader är det ofta aktuellt med balkhöjder överstigande 250 mm, dels beroende på att spännvidderna ofta blir större än för småhus men även beroende på att kraven på bjälklagstjocklek är större i sådana byggnader än i ett enfamiljshus. Det ställs större krav på lägenhetsskiljande konstruktionsdelar, bland annat när det gäller brand och ljud. Ett lägenhetsskiljande bjälklag i bostads-, kontors- eller hotellbyggnad skall uppfylla brandteknisk klass REI60 och är då godkänt för 2 – 8 våningar. Ett träbjälklag överstiger ofta 400 mm om det byggs upp av 300 mm höga balkar med golvspånskiva och golvgips ovanpå samt gipsskiva och brandgipsskiva på undersidan.

1.5 Segment

Tänkbara kunder till kantlimmade balkar är konstruktörer, arkitekter, byggherrar och ”gör det självare”.

För att förmå konsumenterna att välja kantlimmade balkar är det lämpligt att peka på de fördelar som finns med trä och i synnerhet kantlimmade balkar. Fördelar som är värda att föra fram är miljövänlighet, det är ett naturligt material som finns ”runt knuten”, de flesta människor upplever trä som ett behagligt och ”varmt” material som är trevligt att arbeta med, trä är återvinningsbart och kan användas igen då det tjänat ut sitt syfte i den ursprungliga användningen. Trä ingår som en naturlig del i kretsloppet, det går att bränna och få ut energi från trä då det kasserats. Om trä hamnar i naturen bryts det med tiden ner i sina beståndsdelar och blir en del i kretsloppet.

Att bygga med trä ger en sund boendemiljö med avseende på emissioner, värme, brand osv.

Genom att ”sälja in” kantlimmade balkar till konstruktörer och arkitekter så att de börjar föreskriva dem i sina ritningar och beskrivningar är det troligt att det även rent praktiskt kommer att användas kantlimmade balkar i konstruktionerna.

Ofta har arkitekten synpunkter på det rent estetiska och då har en kantlimmad balk fördelar genom att det är homogent trä i de synliga ytorna. Tillverkas balken med renhyvlade ytor är den enkel att ytbehandla och använda som synlig yta, jämför med limträ.

1.6 Vad bestämmer materialval i konstruktionen?

Det som är mest betydelsefullt vid materialval är ekonomin. Om det finns flera olika alternativ att välja mellan och det inte spelar någon roll ekonomiskt vilket alternativ man väljer sker valet ofta genom personligt förhållande till materialet. Ofta väljs betong vid betong relaterade industrier och stål vid stålindustri och på motsvarande sätt trä då kunden har en relation till trä. Tidigare erfarenhet av materialet spelar också en stor roll. En konstruktör som är van att konstruera i stål och betong väljer oftast dessa material i sina konstruktioner.

1.7 Kontroll av virke innan limning

För att uppnå ett bra resultat vid limningen är det viktigt att det inte förekommer några deformationer och skador på de ytor som skall limmas samman. Exempel på defekter som kan förekomma är vankant (gäller även flisor som har lossnat från kanten), märken efter spännband, lösa svartkvistar m.m. Det är därför viktigt att det sker en kontroll av ytorna innan de limmas samman. Skall bitarna dessutom orienteras på ett speciellt sätt i balken blir det ändå viktigare att ha kontroll över ytorna som skall limmas. Kontrollen kan ske manuellt eller automatiskt efter hyvling. Med dagens moderna avsyningsutrustning bör detta inte vålla några större bekymmer.

1.8 Tillverkning

Tillverkning av kantlimmade balkar kan ske antingen i en kontinuerlig process eller med satspress.

Satstillverkning definieras här som att ett antal balkar av samma längd och bredd pressas och härdas samtidigt i ett moment.

Fördelar med satspressning är att den kan göras flexibel om efterfrågan är begränsad eller man har ett flertal olika varianter på balken. Det kan fungera att kombinera och pressa olika höjder i samma pressmoment, men rent praktiskt möter det problem om man skall byta dimension mitt i satsen.

Nackdelar är att produktionstakten är begränsad och tillverkningen blir mindre flexibel när det gäller längd, alla balkar i satsen bör vara lika långa.

Kontinuerlig tillverkning definieras här som att en balk med ”oändlig” längd tillverkas och efterhand kapas i de längder som efterfrågas.

Med en kontinuerlig process blir tillverkningen snabbare och det är lättare att tillverka balkar efter specifika kundändamål vad gäller längd utan att ställa om produktionen.

Nackdelar med kontinuerlig tillverkning kan vara att det är svårare att göra uppehåll i produktionen, processen bör helst gå kontinuerligt vilket ställer högre krav på avsättningen av produkten.

1.9 Användningsområden

Tänkbara användningsområden för en kantlimmad balk är som bärande balk i träkonstruktioner av olika slag. Exempelvis bjälklag, bärlinor, avvaxlingar, takstolar, överliggare och andra ställen där en olimmad plankor inte har tillräcklig höjd för att klara påkänningarna.

Bjälklag: Balkar som ingår i bjälklag för en eller flervåningshus i trä. Det är numera tillåtet att bygga flervåningshus i trä (1994 avskaffades begränsningen på max två våningar om stommen är i trä, ur byggnormen). Detta öppnar nya möjligheter att använda trä i bjälklagen på större och högre hus. Ofta blir då kraven på spännvidd, nedböjning och svikt så stora att det inte räcker med en plankor på högkant utan man behöver en balk av något slag. En balk av två eller flera kantlimmade lameller klarar att uppfylla de krav som ställs. Tanken är att balken skall kunna användas till bjälklag med en fritt upplagd längd på ca 7 (maximalt 12) m.

Takstolar: Då takstolar tillverkas blir det ibland aktuellt med dimensioner som man normalt inte klarar att få fram i en enda bit (höjden överstiger 225 mm). Det kan gälla både över- och underram.

Bärlinor: Vid långa spännvidder med krav på nedböjning och svikt är det en fördel att kunna gå upp i balkhöjd.

Altaner och ”däck”: Vid inbyggda altaner eller ”däck” med stora spännvidder kan kantlimmade balkar användas och det blir möjligt med längre avstånd mellan upplagspunkterna för balkarna.

1.10 Tidigare arbeten

Tidigare har det bland annat skrivits ett examensarbete av Worén [8] med titeln ”Regler och dokumentation vid tillverkning av bärande limträbalk hos Moheds Trä” Arbetet behandlar vilka regler som gäller vid tillverkning av bärande limträbalk och vilka delar av produktionen och dess kontroller som måste journalföras.

Wallmarks såg utanför Skellefteå har tagit fram riktlinjer och beskrivning över hur tillverkning av kantlimmad balk skall gå till i deras produktion. Man har även låtit Trätek utföra prov av kantlimmade balkar för en jämförelse med oskarvade plankor, fingerskarvar och limträbalkar.

2 Allmänt

2.1 Dagsläget

De träbaserade produkter som används idag för att täcka behovet av balkar till byggnation är limträ, I – balkar eller LVL (typ KERTO). Alternativa produkter är balkar av betong, stål eller aluminium. Det är lätt att använda dessa produkter i dimensioneringsarbetet då de finns i ett antal olika standarddimensioner och längder. Det finns dessutom dimensioneringsanvisningar till respektive produkt att tillgå.

2.1.1 Limträ

Limträ byggs upp av ett antal lameller som limmas samman så att en beständig fog uppnås. Limträ kan fås i ett stort antal dimensioner och längder. Karakteristiskt för limträ är att det byggs upp av minst fyra lameller tillskillnad från limmat konstruktionsvirke som byggs upp av två eller tre lameller. Lamellerna är normalt 45mm tjocka för raka balkar och varierande (avpassat till krökningsradien) för krökta balkar. Kvaliteten för limträ i Sverige är L40 och limmat konstruktionsvirke tillverkas normalt i klass LK 30, där man normalt använder lameller med en högre kvalitet i ytterlamellerna där största påkänningarna uppträder. Standardbredd för balkarna är 42 – 115 mm och balkhöjden är 180 – 630 mm.

2.1.2 LVL

LVL (Laminated Veneer Lumber) eller fanerträ på svenska, tillverkas av tunna faner (ca 6mm tjocka) som normalt är orienterade i balkens längdriktning. Balken byggs upp av ett stort antal faner. Tjockleken på balken är 39 – 75 mm och balkhöjden mellan 200 - 600 mm finns som lagervara.

2.1.3 I-balkar

I-balkar (I-Joists) består av ett liv med två flänsar. Livet är tillverkat av plywood, OSB eller masonite. Flänsarna tillverkas av hållfasthets sorterat massivträ som kan vara fingerskarvat eller alternativt av plywood. Tillverkningen sker genom att livet sågas till önskad bredd och i flänsarna fräses spår för livet varefter livet och flänsarna limmas samman.

Flänsarna på I-balkarna kan exempelvis ha tvärsnittsdimension 47 x 47 mm eller 47 x 70 mm i kvalitet K24 eller K30. Livet är normalt ca 8 mm tjockt.

Standard balkhöjd kan vara 200 - 500 mm.

2.2 Konkurrenter

Konkurrenter till kantlimmade balkar av trä är i förstahand ovanstående produkter. De är etablerade produkter som funnits på marknaden under lång tid vilket gör dem välkända. En annan konkurrensfördel är att det finns dimensioneringsunderlag i form av dimensionerings tabeller tillgängligt.

Limträ konkurrerar genom att det är en välkänd och etablerad produkt. Man har en strikt kontroll i hela tillverkningskedjan genom speciella tillverkningsregler. Eventuella defekter på de ingående lamellerna jämnas ut och ger mindre effekt genom att minst fyra lameller bygger upp balken så att sannolikheten att ett flertal defekter skall hamna i samma snitt är liten.

Balkar av LVL är inte lika vanliga på marknaden i Norden som i exempelvis Nord Amerika. Eftersom de byggs upp av ett flertal lager av tunna lameller kan eventuella virkesdefekter utjämnas då dessa defekter normalt inte förekommer i samma snitt. Balkarna kan fås i långa längder och i ett flertal dimensioner. Genom att alla lager i balken normalt har fiberriktningen parallellt med balkens längdriktning får man en styv och stark balk.

I-balkar har fördelen att man tillverkar livet i skivmaterial. Till detta kan man använda virke av en lägre kvalitet och ändå uppnå en hög styrka i samverkan med limmet. Endast flänsarna är tillverkade av hållfasthetsklassat virke. Balken blir stark där det behövs och livets uppgift är i stort sett att hålla flänsarna fixerade i sina positioner. I-balkarna är lätta eftersom det är lite material i livet

I-balkar har funnits länge i Sverige, men de har inte slagit igenom riktigt på den Svenska marknaden. De är däremot populära i USA och Canada där så kallade "EWP" (engineered wood products) är vanligare.

2.3 Limning av sammansatta produkter av trä för att uppnå formstabilitet

Genom att limma samman virkesbitar på lämpligt sätt kan formfeLEN minskas betydligt hos den färdiga produkten. Detta gäller speciellt då de ingående komponenterna kommer från mörknära virke.

Oberoende om virkesbitarna är sågade som 2 ex-log eller 3 ex-log (mörkn sitter på flatsidan av biten eller i centrum av biten) är det en fördel att dela virket och limma samman bitarna med ändrat årsringmönster så att krympningsdeformationerna motverkar varandra, se figur 3. Enligt Ormarsson et al.[9], [10] kan man på detta sätt minska deformationerna kraftigt.

Då virket torkas från fibermättnadspunkt (~ 30 % fuktkvot) till 10 % fuktkvot vrider sig en mörknkliven planka ca 9° medan en mörknkliven planka uppsågad i lameller och sammanlimmad på lämpligt sätt vrider sig ca 3°. En så kallad mörknfångare (mörkn sitter inne i biten) vrider sig nästan 17° då den torkas från fibermättnadspunkt till 10 % fuktkvot, men om denna istället sågas till lameller och sedan limmas samman på lämpligt sätt blir deformationen ca 1° vid samma nedtorkning.

Ofta har det ansetts olämpligt att tillverka produkter med höga krav på formstabilitet av mörknära virke. Att limma samman balken av ett antal lameller ger en betydligt formstabilare produkt. Detta har Ormarsson m.fl. [9], [10] visat i datorsimuleringar och sedan verifierat genom praktiska experiment.

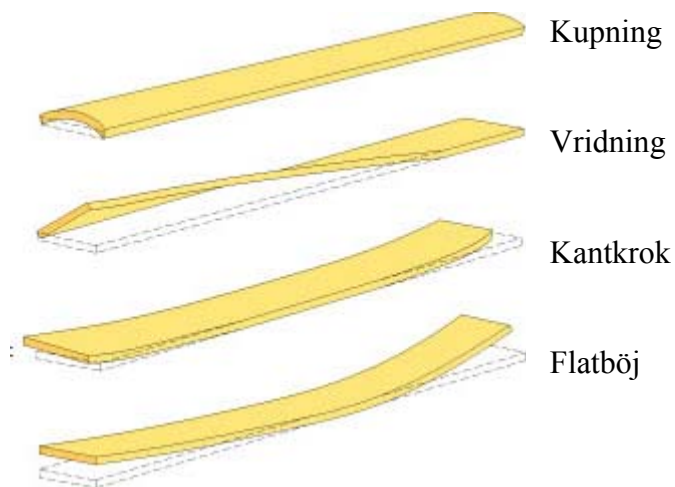
Genom att dela två plankor med tvärsnittsdimension 50 x 150 mm i fyra bitar med tvärsnittsdimension 50 x 75 mm och sedan limma samman dessa i lämpligt mönster bör man kunna uppnå en formstabil balk, se figur 3.



Figur 3: Exempel på sammanlimmat tvärsnitt

2.4 Deformationer

Deformationer hos virke brukar normalt delas in i fyra olika formfel: vridning, kantkrok, flatbøj och kupning, se figur 4.



Figur 4: Formfel hos virke.

2.4.1 Vridning

Vridning anses tillsammans med kantkrok vara det största problemet vid användning av trä som konstruktionsmaterial.

Vridningen är kraftigt beroende av fuktkvoten i virket. Ju mera virket torkas desto större blir vridningen. Märgnära virke har större tendens till vridning än virke som kommer längre från märgen. Märgnära virke innehåller juvenil ved med större fibervinkel och bredare årsringar och båda dessa egenskaper gör att vridningen blir större då virket torkas.

Virke där märgen sitter mitt i biten, så kallad märgfångare, anses vara sämst då det gäller vridning eftersom den innehåller stor andel juvenil märgnära ved. Det finns undersökningar som gör gällande att med ett stort bredd/tjockleks förhållande blir vridningen mindre än då det är ett mera kvadratisk tvärsnitt.

Växtvridenhet anses vara den materialparameter som har störst påverkan på virkets vridning.

2.4.2 Kantkrok och flatbøj

Även kantkrok och flatbøj ökar då fuktkvoten i virket minskar och fenomenet är reversibelt liksom för vridning.

Det finns olika förklaringar på vad kantkrok och flatbøj beror på. Man kan konstatera att märgnära virke har större tendens att utveckla defekterna. Virke som innehåller vedtyper med stor axial krympning tillsammans med normalved brukar uppvisa kantkrok/flatbøj. Dessutom anses det att sågningen utlöser inbyggda spänningar i virket som orsakar dessa formfel.

2.4.3 Kupning

Kupning är kraftigt beroende av fuktkvoten i virket. Då fuktkvoten minskar ökar kupningen och viceversa.

Kupningen beror på att trä krymper ungefär dubbelt så mycket i tangentiell som i radiell riktning. Det gör att årsringarna strävar efter att räta ut sig. Märgnära virke med kraftigt böjda årsringar kupar sig mer än virke som kommer långt från märg och har mindre böjda årsringar. Minst kupar sig kvartersågat virke med stående årsringar.

2.5 Lim till fingerskarvning och kantlimning

Lim som skall användas till fingerskarvning och kantlimning måste uppfylla vissa kriterier för att fungera. Krypning i lim som används i bärande konstruktioner är i praktiken inte tillåten. Det är även viktigt att limmet klarar att väta ytorna som skall limmas och att styrkan är tillräcklig för att klara de belastningar som balken kommer att utsättas för.

Lim som är aktuella för tillverkning av kantlimmade balkar skall klara industriell användning med de krav som ställs i dessa sammanhang:

- De skall härda snabbt med hjälp av värme, exempelvis HF-härdning eller annan snabb uppvärmning. Vid en presstemperatur på 70 – 90°C bör hanteringshållfasthet ha uppnåtts efter några minuter.
- Presstrycket bör ligga mellan 0,5 – 1,0 MPa.
- Utsläppen under applicering och härdning skall vara små för att få en acceptabel arbetsmiljö där man slipper bygga in processen totalt.
- Limmet måste vara stabilt och inte brytas ned med tiden och i den miljö där det skall fungera.
- Limmet får inte bryta ned virket eller ingående komponenter.
- Limmet skall inte vara giftigt eller läcka till miljön. Det är viktigt att balkarna blir lika miljövänliga som träet i sig själv är.
- Rengöring av limutrustning och övriga maskiner från lim och limrester skall vara möjligt att genomföra på ett arbets- och miljövänligt sätt.

Lim som är aktuella är fenol-resorcinol-formaldehyd (PRF)-, melamin-urea-formaldehyd (MUF)-, emulsionspolymer isocyanat (EPI)- och vissa polyuretan (PU)-lim.

•**PRF-lim:** Fördelen med PRF-lim är att de är odiskutabelt beständiga i den miljö där det är aktuellt att använda dem. Till nackdelarna hör att det blir svarta eller mörkbruna limfogar som framträder tydligt mot träet då balken är synlig och inte laseras/täckmålas. Arbetsmiljön kan ställa till med problem genom avgång av formaldehyd innan limmet har härdat. Formaldehyd irriterar huden, ögonen och luftvägarna, vid långvarig exponering kan allergi uppträda. PRF-lim innehåller även fenol som är giftigt och lätt tas upp genom huden.

•**MUF-lim:** MUF-lim är nästan lika beständiga som PRF-lim och är ljusa vilket gör att limfogen inte syns lika tydligt. MUF-lim är billigare än PRF-lim. Även MUF-lim innehåller formaldehyd.

•**EPI-lim:** EPI-lim är ett ”räddaren i nöden” lim som fungerar till det mesta. Det ger en beständig limfog. Limmet innehåller isocyanat som är irriterande och giftigt vid hudkontakt och inandning. Isocyanater irriterar ögonen, huden och slemhinnor och kan orsaka astma- eller bronkit liknande symptom och kan ge försämrad lungfunktion. Långvarig exponering kan orsaka överkänslighet. Det är ett dyrt lim som ofta väljs bort på grund av priset.

•**PU-lim:** PU-lim kan i vissa fall användas vid limning av bärande konstruktioner.

Fram till nyligen har man inte förmått att ta fram PU-lim som klarar kraven på krypning under långtidsbelastning. På senare tid har några olika PU-lim blivit godkända att använda i bärande konstruktioner.

PU-lim härdar med hjälp av materialets och/eller omgivningens fuktighet. Fördelar är att värme normalt inte behöver tillföras för att påskynda härdningen samt att det inte sker några utsläpp av formaldehyd till omgivningen. Härdningen kan påskyndas genom att tillföra fukt till virket strax innan limning. PU-lim innehåller isocyanater vilkas hälsoeffekter beskrivits under EPI-lim.

PU-lim består av en isocyanat som reagerar med en alkohol och bildar en uretan.

2.6 Fingerskarvens utförande

Vid fingerskarvning kan fingrarna orienteras olika i förhållande till virkets flatsida. Det vanligaste vid fingerskarvning av konstruktionsvirke är att fingrarna ligger parallellt med flatsidan (0°) men det förekommer vinklar mellan 0° och 90° . Då vinkeln är $15^\circ - 60^\circ$ får man enligt Grönlund [11] den starkaste fogen vid böjning av balken på högkant.

90° vinkel ger marginellt starkare fog än 0° vid böjning på högkant och det förekommer att man använder sig av denna fingerorientering vid skarvning av konstruktionsvirke. Vanligast är denna fingerorientering vid skarvning av panelbräder och annat "vanligt" virke där det normalt inte ställs lika höga krav på skarven som vid fingerskarvning av konstruktionsvirke.

Genom att orientera fingrarna 45° mot flatsidan (gynnsammaste vinkeln) ökar skarvens styrka med ca 23 % vid böjning på högkant jämfört med 0° fingerorientering.

Fingerskarven är tillsammans med kvistar den svaga punkten för limmat virke som används i konstruktioner. Vid korttids belastning i laboratoriemiljö startar brottet oftast i en fingerskarv eller kvist på balkens dragna sida. Det blir ett sprött brott där det inte hinner ske någon spänningsomlagring till balkens mindre belastade inre delar.

3 Kantlimmade balkar

3.1 Krav

3.1.1 Dimensions- och fuktkvotkrav

Beroende på hur träprodukterna används kan kunden ställa olika krav med avseende på deformationer och formbeständighet.

Exempel på de krav som marknaden kan ställa är ”Inköpsregler för byggnadsvirke” [12].

Kraven för fuktkvot och formbeständighet för golvbjälkar är enligt nedan:

- Leveransfuktkvoten bör vara 15 +/- 2 %, alternativt fuktkvots klass 12 (12 +/- 2 %) enligt SS 232740
- Kupigheten får max vara 2 % av bredden.
- Flatbøj får vara balkens längd i mm dividerat med 300, dock max 10 mm på hela längden.
- Kantkrokighet får vara 3 mm på 2 m, dock max 8 mm på hela längden.
- Skevhet får vara max 2 % av bredden på 2 m, dock max 10 mm på hela längden.

För en 45 x 290 mm balk med 7,5 m längd innebär det:

Kupighet: max 6 mm

Flatbøj: max 10 mm

Kantkrokighet: max 8 mm

Skevhet: max 10 mm

Det är inte tillåtet med synlig röta eller mögel. Vankant accepteras inte. Bjälkar som ingår i bärande stomme skall dessutom uppfylla de krav som ställs på hållfasthet och styvhet enligt T-virkes sorteringsföreskrifter.

3.1.2 Limkrav

För limmade produkter som skall ingå i bärande konstruktioner finns krav på att endast godkända lim används. Gällande standard med regler och krav på lim till bärande konstruktioner är EN 301. Limmen hänförs enligt BKR [13] till två olika klasser i EN 301, limtyp I eller II där typ I är godkänt för bärande konstruktioner i samtliga klimatklasser och lim av typ II endast får användas i klimatklass 0 - 2.

En lista över de lim som är godkända publiceras av Nordisk Limtrenemd [14], denna lista uppdateras med jämna mellanrum. Listan är uppdelad i en A- och en B-tabell där limmen i B-tabellen inte är lika noggrant testade. Lim som är placerade i B-tabellen kan senare då tillräcklig produktionserfarenhet uppnåtts flyttas över till A-tabellen.

De lim av typ I som vanligen används vid tillverkning av bärande konstruktionselement är PRF-, MUF- eller MF-lim, men det finns även PU- och EPI-lim som är godkända och placerade på Nordisk Limtrenemd's B-lista, dessa kommer sannolikt att öka i användning i framtiden. Eftersom de är godkända att använda i klimatklass 3 är de tillåtna att använda i samtliga klimatklasser.

Lim som är godkända att använda i klimatklass 3 är mycket beständiga med extremt liten tendens till krypning och delaminering. I praktiken är limfogen lika mycket eller mer beständig än träet i sig självt.

3.2 Virkeskrav

Virke som skall ingå i bärande konstruktioner skall vara hållfasthetssorterat. Hållfasthetssorterat virke delas in i olika klasser där den lägsta klassen är K12 och den högsta är K35. Även limträ och limmat konstruktionsvirke delas in i olika klasser, L40 och L30 för limträ och LK30 respektive LK20 för limmat konstruktionsvirke.

Kantlimmade balkar skall användas i bärande konstruktioner och utförs lämpligen i K24 eller K30 klassat virke. De uppfyller då hållfasthetskraven i LK20 respektive LK30 och kan konkurrera med balkar av limträ kvalitet (limmat konstruktionsvirke).

Ett alternativ är att uppfylla reglerna i ”L-regler 1997:1” och erhålla beslut om tillverknings kontroll och producera balkar som helt uppfyller kraven för LK20 och/eller LK30.

Problemet med det senare alternativet är att man i Norden har som krav att tjockleken på de ingående lamellerna får vara max 45 mm i press riktningen. I en kantlimmad balk är lamellerna ofta betydligt tjockare än 45 mm vilket gör att L-reglerna inte är direkt tillämpbara med dagens tolkning av regelverket. Detta krav kan eventuellt komma att ändras i en kommande Europastandard och skulle då öppna möjligheten att L-märka balkarna.

Om limmat konstruktionsvirke inte kan hänföras till limträ skall det utföras enligt SS 23 01 05 ”Limmade träkonstruktioner - Tillverkning och kontroll”.

Problemet är att i ovan nämnda standard står det att den ej gäller fingerskarvat virke, och tjockleken hos trädelarna som skall presslimmas bör ej överskrida 50 mm, mätt vinkelrätt mot limfog. Eftersom kantlimmade balkar kommer att tillverkas av fingerskarvat virke med bredare lameller än 50 mm är inte heller denna standard direkt tillämpbar i detta fall.

En kommande Europastandard med beteckningen EN 14080 är på gång, denna behandlar tillverkning av limträ. Inte heller denna standard är tillämpbar med dagens definition av limträ.

Vi har inte funnit någon standard som är direkt tillämpbar vid tillverkning av kantlimmade balkar. De tillverkare som idag gör motsvarande produkter tillämpar valda delar av L-regler och SS 23 01 05.

3.3 Dimensionskrav

Vid de användningsområden som är aktuella för kantlimmade balkar är det vanligt att längder som är större än längsta standardmått (5,4 m) efterfrågas. Det är därför nödvändigt att använda fingerskarvade lameller.

För att kunna konkurrera med LVL och I-balkar bör den kantlimmade balken finnas i motsvarande dimensioner som dessa. Det betyder längder upp till ca 12 m och balkhöjd på upp till ca 500 mm. Limträ-, I- och LVL-balkar kan fås i betydligt större balkdimensioner, men det är inte aktuellt att konkurrera med dessa produkter i så stora dimensioner.

Bredden på balken bör lämpligen vara 35 – 70 mm.

För att förhindra att balkar utsatta för ett böjande moment vippar brukar höjd/bredd förhållandet (h/b) begränsas. En fritt upplagd balk anses förhindrad att vipa om $h/b \leq 2$.

För balkar där tryckta kanten är avstyvad anses balken förhindrad att vipa om $h/b \leq 6,5$, om $h/b > 6,5$ riskerar balken att vipa trots avstyvning. Teoretiskt härlett värde då balken är avstyvad är $h/b \leq 6,5$, men praktiskt brukar man räkna med 7.

Vid de användningsområden som är aktuella för en kantlimmad balk är den normalt förhindrad att vipa genom att tryckta kanten är avstyvad och en 45 mm bred balk kan således vara maximalt 315 mm hög för att inte riskera att vipa.

Ett sätt att förhindra en slankare balk i ett bjälklag från att vipa är att skruvlimma golvspånskivan i balken. Spånskivan limmas och skruvas då mot balken. Det kan då räknas som ett T-tvärsnitt som är förhindrat att vipa och med mindre benägenhet till svikt.

Ofta klarar inte balkarna en fri spännvidd som är lika lång som balklängden, men det är ändå önskvärt med dessa längre balkar som inte behöver skarvas med det extra arbete och kostnader som en skarvning innebär. Det är ofta kraven på svikt och nedböjning i brukgränstillstånd som begränsar spännvidden för balkar vid användning i bjälklag. Kravet för nedböjning är max $1/300$ av längden i bruksgränstillstånd.

Tillämpas de konstruktionsregler som ges i BKR 2003 [15] angående laster m.m. för ett mellanbjälklag, klarar en kantlimmad 45 x 290 mm K24 balk med c/c 600 mm mellan balkarna och singelspann en spännvidd på 5,5 m.

Maximal spännvidd beror på vilket träslag som används till balken, enligt Hyne [16] klarar deras kantlimmade balk i dimension 45 x 300 mm en spännvidd på 5,9 m vid samma förutsättningar. Det beror på att de tillverkar sina balkar av *Pinus Elliottii* och kan tillgodoräkna sig högre värden på E-modul (15200 MPa jämfört med 10500 MPa för K24) och hållfasthet (böjning parallellt med fibrerna) (41 MPa mot 24 MPa för K24) än vad som gäller för nordisk gran *Picea Abies*.

3.4 Lamellkrav

Antalet lameller i balken har betydelse både tekniskt och ekonomiskt.

Fördelar med smala lameller:

- Ett större antal lameller ger en mera formstabil produkt. Den mindre tvärsnittsarean på varje enskild lamell gör att deformationerna blir mindre per lamell, och orienteras lamellerna så att deformationerna motverkar varandra blir det endast små formfel på produkten.
- Med smala lameller blir det lättare att avpassa balkhöjden till kundens önskemål.
- Det är möjligt att såga ifrån det virke som av olika anledningar inte är önskvärt i produkten.

Nackdelar med smala lameller:

- Större ytor behöver bearbetas före limning.
- Mera lim krävs per tillverkad volym.
- Tillverkningen går långsammare (fler lameller per m³ balk).
- I viss mån blir tillverkningen mera komplicerad. Ju fler lameller desto fler bitar skall limmas samman per balk.
- Det ställs större krav på orientering av lamellerna i produkten.
- Med två lika breda lameller hamnar neutrala linjen i limfogen. Detta är inte möjligt med tre eller fler lameller i balken, två eller fler limfogar utsätts för tryck/drag spänningar.

På samma sätt finns det för och nackdelar med korta lameller i balken.

Fördelar kan vara:

- Större möjligheter att kapa bort oönskade defekter.
- Då lamellerna kapas upp i korta bitar finns större möjligheter att reducera oönskade deformationer.

Bland nackdelarna med korta lameller kan nämnas att fler fingerskarvar per m³ balk ger högre produktionskostnad och långsammare tillverkning.

Det kan vara lämpligt att tillverka balkarna av virke i vissa dimensioner och längder som det är svårt att få avsättning för på marknaden. Att kunna använda dessa dimensioner och längder vid baltillverkning är ett effektivt sätt att förädla och skapa ett högre värde på dem.

Önskemålet är att använda så få lameller som möjligt i balkarna för att underlätta tillverkningen och pressa kostnaderna.

3.5 Balkens fuktkvotskrav

Det virke som skall användas för tillverkning av balkar bör uppfylla vissa krav på formfel. Eftersom de färdiga balkarna är långa och breda ger ett litet formfel stort utslag.

Fuktkvoten i virket för tillverkning av balkar skall ligga mellan 12-14 % för att vara lämpligt att limma och inte få för stora deformationer under användningen. Denna fuktkvot motsvarar den högsta fuktkvot som balken beräknas uppnå under användning.

Då virket är nedtorkat till 12 % fuktkvot är sannolikheten för formfel större än då virket är nedtorkat till ”normal” fuktkvot kring 18 %. Detta har både för- och nackdelar, det är svårare att limma virke med formfel men det är samtidigt bra att lamellerna är nedtorkade till målfuktkvoten innan balken limmas samman. Rörelser orsakade av ändrad fuktkvot minskas eftersom fuktkvoten ligger nära jämviktsfuktkvot i det klimat där balken är tänkt att användas.

Virket i balkarna skall krympa och svälla så lite som möjligt efter montage, därför är det viktigt att fuktkvoten i virket varierar minimalt över året och att virket har rätt fuktkvot då det byggs in. Ändrar sig fuktkvoten i balken efter att den byggts in i konstruktionen finns risk för diverse problem i form av knarr i golven, sprickor i golvbeläggningen m.m.

I Boverkets konstruktionsregler delar man in konstruktionerna i olika klimatklasser beroende på den fuktpåverkan som konstruktionen kan förväntas utsättas för. Bjälklag och andra inbyggda tak konstruktioner räknas till klimatklass 1. I klimatklass 1 är det relativt små förändringar av luftfuktigheten under året och den innebär en miljö där luftens relativa fuktighet endast under några få veckor per år överstiger 65 % och aldrig når 80 %.

I ”Att välja trä” [17] uppges fuktkvoten i träet stiga till max ca 13 % i inomhusklimat medan medelfuktkvoten ligger kring 7,5 %, beroende på geografiskt läge m.m.

Träets styvhet och styrka sjunker med ökande fuktkvot. För att minska dessa nackdelar bör man skydda träet mot fukt. Det kan ske genom inbyggnad eller ytbehandling.

Trä klarar tillfälligt stora belastningar utan bestående deformationer medan långvariga ger krypning i form av bestående deformationer som exempelvis nedböjning.

Acceptabel nedböjning varierar beroende på användningsområdet. Enligt Limträ handbok [18] är maximal tillåten nedböjning i bostäder 1/300 av spännvidden medan en takbalk i en industri kan tillåtas ha en nedböjning på 1/150 av spännvidden. Dessa värden bör minskas med 1/3 om konstruktionselementet inte är överhöjt. Kravet för maximal svikt är 1,5 mm i ett bjälklag för bostäder. Kraven på maximal nedböjning och svikt i brukgränstillstånd är ofta dimensionerande för träbjälklag.

4 Material och metoder

4.1 Deformationsmätning av balkar lagrade i inomhusklimat

För att få en uppfattning om hur virket reagerar med avseende på deformationer under lagring i en miljö som motsvarar inomhusklimat gjordes mätningar på ett antal provbalkar.

4.1.1 Limning av balkar för deformationsmätning

Råmaterialet vid limningen var ohyvlat plank med tvärsnittsdimension 50 x 150 mm. Dessa kantades till tvärsnittsdimension 50 x 145 mm. Bitarna sorterades sedan med avseende på deformationer, speciellt kantkrok och vridning beaktades. Endast 22 av de 53 levererade bitarna kunde användas i det fortsatta försöket på grund av att de övriga var kraftigt vridna.

Två stycken lameller limmades samman med polyuretanlim och limknektar till en balk. Totalt 11 st. balkar tillverkades. Limmet som användes var Bostik 800, ett enkomponents polyuretanlim som är godkänt i fuktbeständighetsklass D4 enligt EN 204.

Balkarna hyvlades sedan ner till tvärsnittsdimension 45 x 290 mm. Meningen var att de skulle ha bearbetats firsidigt men det fanns inte någon hyvel som klarar firsidig hyvling av så breda ämnen, därför hyvlades endast flatsidorna.

Balkarna placerades stående på högkant inomhus i ett uppvärmt utrymme för att jämviktsfuktkvot skulle uppnås. Det klimat som rådde där balkarna lagrades motsvarar en jämviktsfuktkvot på 5,5 – 7,5 % beroende på luftens relativa fuktighet som varierade under provtiden. Den relativt låga jämviktsfuktkvoten beror på att lagringen skedde under senhösten och vintern.

4.1.2 Mätning av fuktkvot och torkspänningar hos ingående material

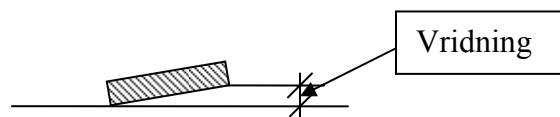
Virket som användes vid provlimningarna kom från en extern leverantör som kan leverera virke nedtorkat till 12 % fuktkvot.

Då det virke som användes till deformationsmätningarna anlant mättes fuktkvoten med stiftmätare på samtliga bitar (53 st.). 10 st. bitar plockades ut för torrviktsprov och fuktkvoten för dessa mättes även med stiftmätare. Samtidigt som torrviktsproven kapades ut togs även provkroppar ut för kontroll av torkspänningar, så kallat klyvprov.

Efter ca fyra månader då deformationsmätningarna avslutades togs torrviktsprov från 10 st. lameller för att bestämma slutfuktkvoten i balkarna.

4.1.3 Deformationsmätning av balkar

Deformationerna mättes genom att balkarna lades på vågräta stöd. Kantkrok och flatbøj mättes med hjälp av en rätskiva. Vridningen mättes som avståndet mellan stödet och det nedre hörn på balken som hade längst avstånd till stödet då andra änden av balken vilade plant mot sitt stöd, se figur 5.



Figur 5: Registrering av vridning

Kantkrok och flatbøj mättes som största avståndet mellan balken och rätskivan då denna låg längs kanten/flatsidan av balken. Kurlningen mättes över hela balkens bredd och medelvärdet av tre mätningar (ändarna och mitt på balk) användes som mätvärde.

4.2 Limning av balkar för prov hos Statens Provnings- och Forsknings Institut i Borås

För att kunna prova balkarnas egenskaper under mera realistiska förhållanden limmades balkar för provning hos SP i Borås. Virket till dessa balkar köptes nedtorkat till 12 % fuktkvot och levererades i fallande längder mellan 4,2-5,4 m. Bitarna hållfasthets sorterades maskinellt (Dynagrader) i klass C30/K30 och C24/K24 samt fingerskarvades med stående fingrar till 7,5 m längd. Samtidigt med fingerskarvningen hyvlades lamellerna till tvärsnittsdimension 50 x 145 mm. Bitarna sorterades i två olika hållfasthetsklasser för att kunna se eventuella skillnader mellan de två klasserna. Av totalt 57 st. lameller på 7,5 m längd höll 48 st. C30/K30 kvalitet och 9 st. C24/K24 kvalitet.

Två stycken lameller med tvärsnittsdimension 50 x 145 mm limmades samman till en balk med tvärsnittsdimension 50 x 290 mm. Totalt 28 st. balkar tillverkades, 24 st. K30 och 4 st. K24. Limmet som användes var CASCOMIN 1242 med härdare 2542, som är ett MUF-lim. Blandningsförhållandet var 100 viktsdelar lim och 20 viktsdelar härdare vilket är samma som används vid tillverkningen i fingerskarvningsutrustning. Limmet är godkänt för användning i bärande konstruktioner och efter samråd med Hans Bruce på CASCO ADHESIVES bestämdes att detta lim kunde användas.

Balkarna limmades tre och tre för att spara tid och rationalisera arbetet, se figur 6.



Figur 6: Limning av balkar för prov hos SP i Borås.

Balkarna pressades samman med limknektar och låg i press under ca 9 timmar. Därefter staplades balkarna i ett paket där de fick ligga och efterhärda till dess att full uthärdning av limmet skett. Efter att balkarna härdat hyvlades de till tvärsnittsdimension 45 x 290 mm.

4.3 Provning av balkar hos SP i Borås

På SP provades böjhållfasthet, momentkapacitet och E-modul hos balkarna samt skjuvhållfastheten hos limfogen.

Provningsmetoden av böjhållfasthet, momentkapacitet samt E-modul gjordes enligt EOTA's "Test methods for light composite wood-based beams and columns" [19] som i allt väsentligt överensstämmer med EN 408:1995 [20].

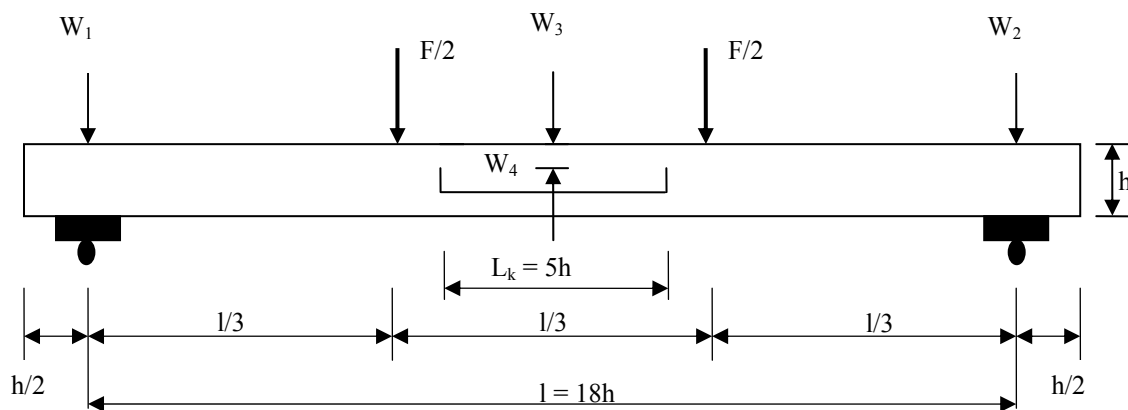
Skjuvhållfastheten testades enligt EN 392:1995 [21].

4.3.1 Mätning av E-modul, momentkapacitet samt böjhållfasthet

Nedan följer en kort beskrivning av hur provningen gick till. För en mera detaljerad beskrivning av provningsförfarandet hänvisas till "Test methods for light composite wood-based beams and columns".

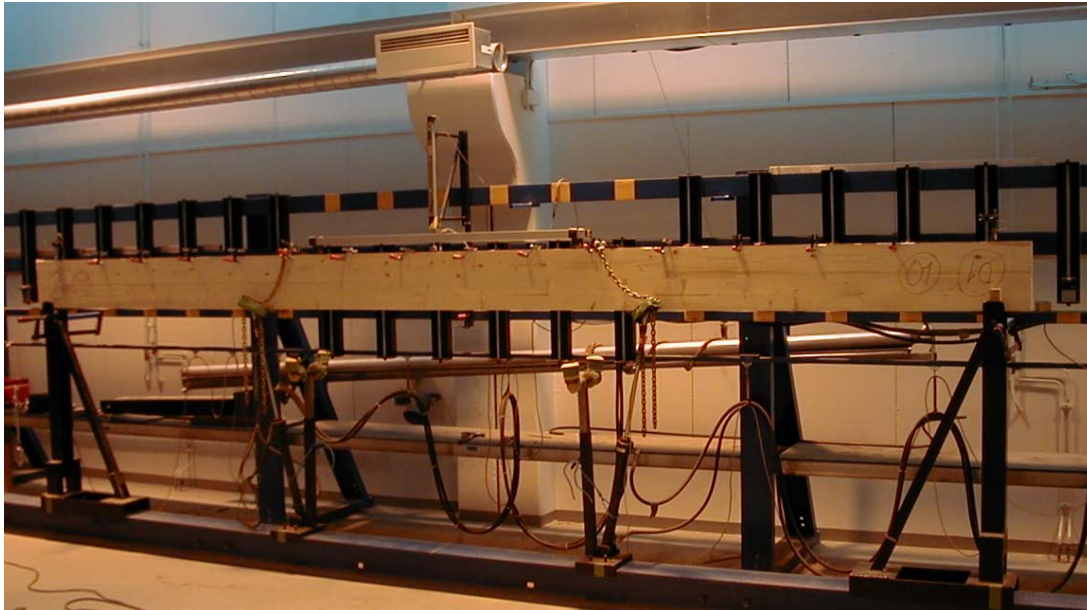
Provbalkens längd var $19 \cdot h$ och stöden placerades på avståndet $h/2$ från vardera balkändan, där h = balkhöjd. Provriggen var utformad för test av lättbalkar med en höjd av 300 mm och balkarna provades som om de var 300 mm höga trots att verkliga höjden var 290 mm. Detta spelar mindre roll praktiskt men gör att riggen inte behövde byggas om för att testa dessa balkar.

Belastningen av balken skedde med hjälp av två lastceller som placerades $1/3$ från respektive stöd, se figur 7.



Figur 7: Principskiss av försöksuppställning vid test av E-modul, momentkapacitet samt böjhållfasthet.

Balken förhindrades att vippa genom att fixeras i överkant med tvingar med ett inbördes avstånd av $8 \cdot$ balkbredden ($=360$ mm), se figur 8.



Figur 8: Provningsutrustning hos SP i Borås för bestämning av E-modul samt böjhållfasthet.

Balkens dimensioner (höjd samt bredd i över och underkant) mättes i båda ändar innan själva provningen startades.

Lasten lades på kontinuerligt och hastigheten justerades så att balkbrott skedde inom 5 – 15 minuter. Belastning och nedböjning mättes och registrerades kontinuerligt med 1s intervall under testet och sparades som en datafil. Efter att balken tryckts till brott noterades brottsorsak och var brottet startat.

E-modulen beräknades enligt:

$$E = (\Delta F \times l \times l_k^2 \times (I \times 48 \times \Delta W_4)) / 1e^6 \quad (4:1)$$

Där:

E = elasticitetsmodul [MPa]

ΔF = last vid aktuell nedböjning [N]

l = balkens fria spännvidd vid provet [m]

l_k = definieras i figur 7 [m]

I = yttröghetsmoment [m⁴]

$\Delta W_1, \Delta W_2$ = deformation vid respektive stöd [m]

ΔW_3 = total nedböjning [m]

ΔW_4 = lokal nedböjning [m] = $\Delta W_3 - (\Delta W_2 + \Delta W_1) / 2$

Momentkapaciteten beräknades enligt:

$$M = (F \times l / 6) / 1e^3 \quad (4:2)$$

Där:

M = momentkapacitet [kNm]

F = högsta sammanlagda last som uppnåddes under provet [N]

l = balkens fria spännvidd vid provet [m]

Hållfasthetsvärdet för böjning parallellt fibrerna, f_{mk} , beräknades enligt:

$$F_{mk} = (F \times l / (b \times h^2)) / 1e^6 \quad (4.3)$$

Där:

F_{mk} = böjhållfasthet [MPa]

F = högsta sammanlagda last som uppnåddes under provet [N]

l = balkens fria spännvid vid provet [m]

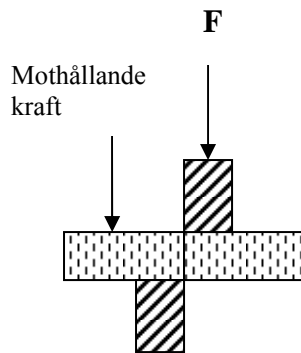
b = balkens bredd [m]

h = balkens höjd [m]

4.3.2 Skjuvprovning av limfog

Nedan följer en kort beskrivning av hur provningen gick till. För en mer detaljerad beskrivning hänvisas till EN 392:1995.

En provkropp med 40 – 50 mm bredd och tjocklek sågades ur varje balk, den bearbetades sedan så att belastningsytorna blev parallella med varandra och vinkelräta mot fiberriktningen, se figur 9.



Figur 9: Snitt genom provkropp vid skjuvprov.

Ytan som skulle skjuvas mättes med skjutmått och noterades med 0,5 mm noggrannhet. Provkroppen placerades i maskinen och justerades så att limfogens avstånd till skjuvningsplanet inte översteg 1 mm.

Belastningen lades på i jämn takt (6 mm/s) så att brott inträffade inom 20 s.

Andelen träbrott uppskattades till ett tal jämt delbart med 5.

Skjuvhållfastheten bestämdes med följande formel:

$$f_v = k \cdot (F_u / A) \quad (4.4)$$

Där:

f_v = skjuvhållfasthet [N/mm^2] (MPa)

F_u = last vid avbrytandet av provningen [N]

A = skjuvade ytans area, här provbitens bredd (b) * tjocklek (t) [mm^2]

k = korrektionsfaktor: $k = 0,78 + 0,0044t$

t = provbitens tjocklek [mm]

4.3.3 Uttagning av provkroppar för bestämning av densitet och fuktkvot

Då balkarna tryckts till brott sågades provkroppar ut för att bestämma densitet och fuktkvot hos virket nära brottet. Om brottet startat i en fingerskarv togs en provbit från varje sida av fingerskarven samt en provbit från motstående lamell mitt för brottet. Då brottet startat i en kvist eller annan defekt togs en provbit nära brottet från varje lamell.

Densiteten bestämdes genom att sänka ner provbiten i en vattenfylld behållare vilken stod på en våg och läsa av vikt- och volymökningen.

Densiteten beräknades enligt:

$$D_1 = (m_u/V_1) * 1000 \quad (4.5)$$

$$D_2 = (m_0/V_1) * 1000 \quad (4.6)$$

Där:

D_1 = nuvarande densitet [kg/m^3]

D_2 = torrdensitet vid nuvarande volym [kg/m^3]

m_u = vikt innan torkning [g]

m_0 = vikt efter torkning [g]

V_1 = provbitens volym innan torkning [cm^3]

Fuktkvoten bestämdes enligt torrviktsmetoden vilket innebär att provet vägdes och sedan torkades över natten i en ugn som håller $103^\circ\text{C} \pm 2^\circ$. Därefter vägdes provet igen och fuktkvoten beräknades enligt:

$$u = (m_u - m_0) / m_0 * 100 \quad (4.7)$$

Där:

u = fuktkvot [%]

m_u = vikt innan torkning [g]

m_0 = vikt efter torkning [g]

5 Resultat

5.1 Resultat av fuktkvotsmätning av bitar för deformationsmätning

Medelfuktkvoten för de bitar som mätts med resistans fuktkvotsmätare var 10,0 % med standardavvikelsen 1,7 %. Fuktkvoten i de torrvtade bitarna varierade mellan 8,0 – 14,9 % med medelvärdet 9,3 % och standardavvikelsen 2,1 %. Mätningen med resistans fuktkvotsmätare gav medelvärdet 11,4 % och standardavvikelsen 3,8 % för de torrvtade bitarna. Alla mätningar gav samma resultat.

Rekommenderad fuktkvot för balkar avsedda att byggas in är enligt Hus AMA (SS 23 27 40) 12 +/- 1,2 % med standardavvikelsen 1,2 %, vilket stämmer bra med mätningarna ovan.

Resultatet för klyvproven efter omräkning till 100 mm bredd blev ett medelvärde på 0,9 mm med standardavvikelsen 0,3 mm. Klyvprov med mindre klyvöppning än 1 mm anses ha tillräckligt små torkspänningar för virkesanvändning till möbel och snickeri ändamål.

Eftersom både fuktkvotsprov och klyvprov visade sig ha medelvärden som låg under respektive nära rekommenderade värden får virket anses lämpligt torkat för ändamålet.

Fuktkvoten i de lameller ur vilka prov togs för att bestämma slutfuktkvot varierade mellan 7,3 – 8,1 %. Medelvärdet var 7,7 % med standardavvikelsen 0,2 %. Fuktkvoten hade sjunkit 1,6 % under de månader som balkarna lagrades och låg nu nära den jämviktsfuktkvot som balkarna bör ha i det klimat de förvarades i.

5.2 Resultat av deformationsmätning av balkar

Medelfuktkvot (u) samt medelvärde (M) och standardavvikelse (s) för respektive typ av deformation vid första och sista deformationsmätningen visas i tabell 1.

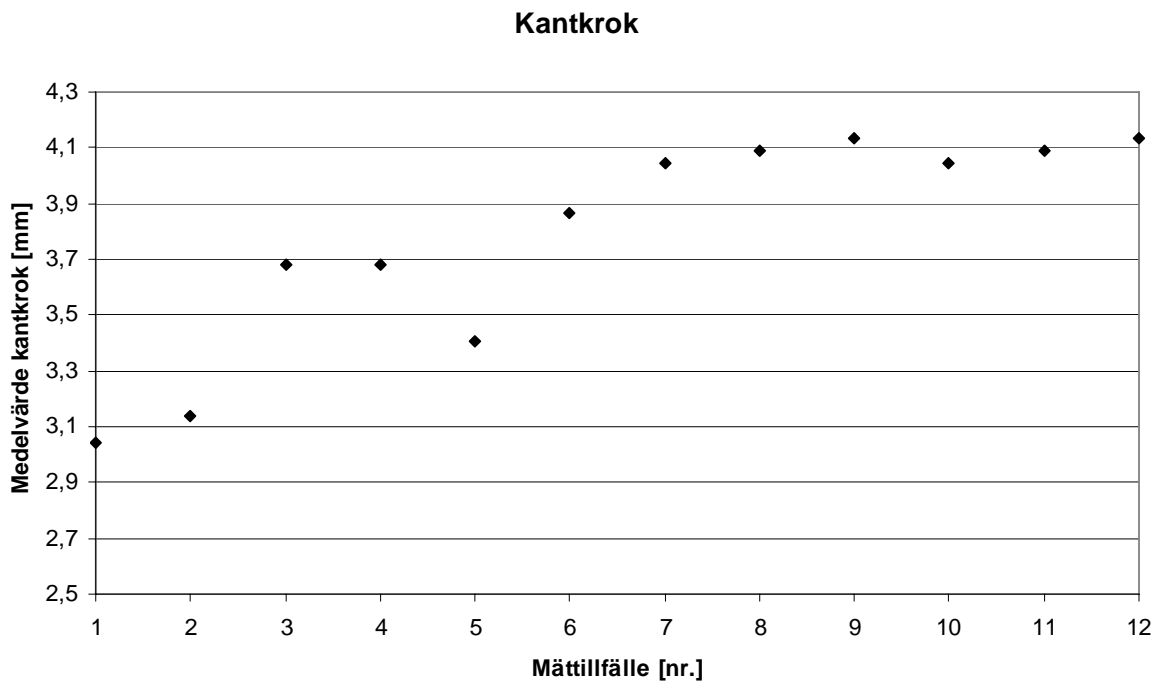
Måttillfälle		Flatbøj [mm]	Kantkrok [mm]	Kupning [mm]	Vridning [mm]
041021 u = 9,3 %	M	4,1	3,0	0	15,1
	s	3,6	1,0	0	14,5
050209 u = 7,7 %	M	5,8	4,1	0,5	19,6
	s	3,3	0,9	0,4	17,4

Tabell 1: Medelfuktkvot (u) samt medelvärde (M) och standardavvikelse (s) för respektive typ av deformation vid första och sista måttillfället.

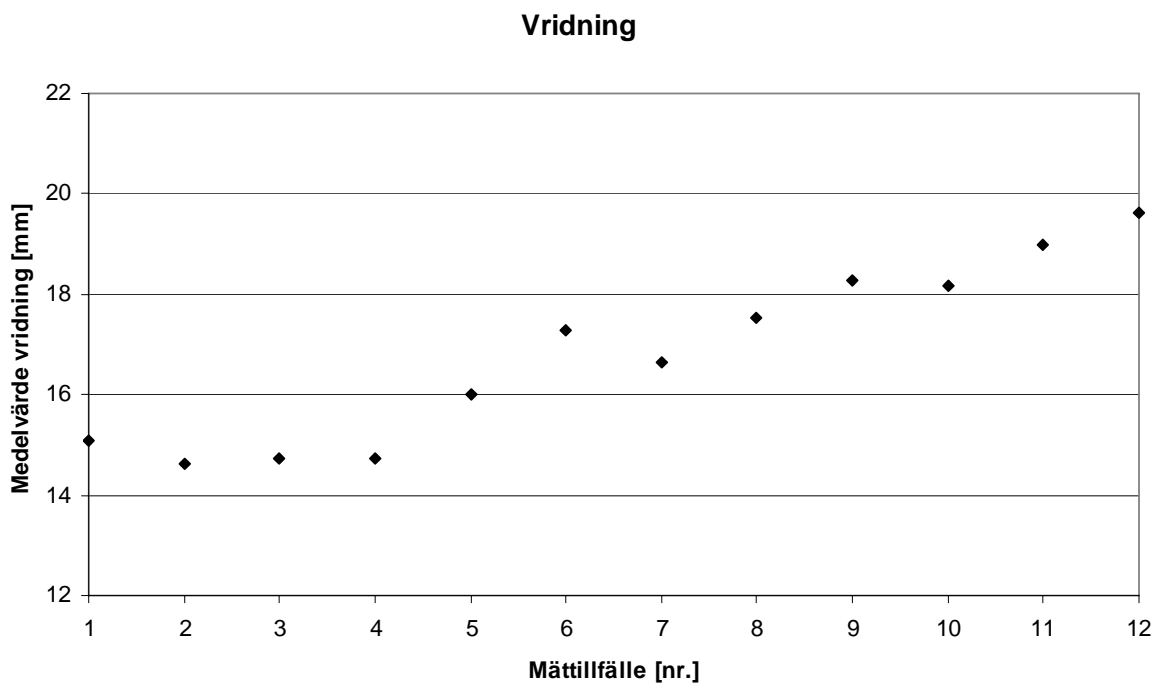
Kantkrok och vridning är mest intressanta av de uppmätta deformationerna. Båda dessa deformationer förändrades endast marginellt under den tid som mätningarna pågick.

Medelvärdet för kantkrok ökade endast med 1,1 mm och medelvärdet för vridning ökade med 4,5 mm. Standardavvikelsen för vridning visar att det är stor skillnad mellan de olika balkarna. Vridningen hos de enskilda balkarna varierade mellan 0 – 51 mm. Det fanns balkar som inte hade någon mätbar förändring av vridningen samtidigt som vissa balkar vred sig upp till 10 mm under den tid som deformationsmätning pågick. De balkar som uppvisade störst förändring under mätperioden var de som hade största vridningen från början. På motsvarande sätt var förändringen minst hos de balkar med minst vridning från början (ingen vridning från början och ingen förändring). Skillnaden mellan de olika balkarna var att balkarna med minst deformation hade virke som var taget längre från mærg samt att de limmades så att deformationerna motverkade varandra. Det visar att det är möjligt att välja virke och limma samman lamellerna så att deformationerna minimeras.

Medelvärdet för kantkrok och vridning ökade under den tid balkarna lagrades, se figur 10 och 11. Medelfuktkvoten var 9,3 % då mätningarna startades och 7,7 % vid sista mätningen. Det finns ett ”hack” i respektive diagram och dessa beror med största sannolikhet på osäkerhet i mätningarna. Trenden i diagrammen är tydlig. Båda diagrammen visar att deformationerna ökar när fuktkvoten minskar vilket stämmer med teorin.



Figur 10: Kantkrokens förändring under den tid balkarna lagrades.



Figur 11: Vridningens förändring under den tid balkarna lagrades.

5.3 Resultat av uppspräckning av limfog

För att testa limfogen gjordes några provlimningar av korta lamellbitar där limfogen spräcktes upp då den härdat ut. Andelen träbrott i den uppbrutna fogen var låg, ca 10 - 15 %, se figur 10, vilket visar att limmet inte hade bundit till träytan på ett tillfredställande sätt. Orsaken var förmodligen att det gått en tid sedan träytorna bearbetades, det gör att vidhäftningen blir sämre. Detta visar betydelsen av nybearbetade träytor vid limningen för att uppnå ett fullgott limningsresultat.



Figur 10: Uppspräckt limfog för kontroll av limningsresultat. Blixten blänker i limmet.

Att testa limfogen på detta sätt är vanligt ute i industrin för att få en uppfattning om hur limningen har lyckats. Detta är ingen vetenskaplig undersökning men ger ändå en indikation på limfogens egenskaper.

5.4 Resultat från balkprovning hos SP i Borås

5.4.1 Resultat av provning av momentkapacitet, E-modul och böjhållfasthet

Resultaten av provningen av momentkapacitet, E-modul och böjhållfasthet ges i tabell 2.

	Momentkapacitet [kNm]	E-modul [MPa]	Böjhållfasthet [MPa]
Medelvärde K24	19,4	10396	31,5
Standardavvikelse K24	2,8	673	4,5
Karakteristiskt värde K24	12,8	8812	20,9
Medelvärde K30	21,6	12298	34,8
Standardavvikelse K30	4,6	745	7,5
Karakteristiskt värde K30	13,7	11021	21,9
Medelvärde samtliga balkar (K24 och K30)	21,3	12026	34,3
Standardavvikelse samtliga balkar (K24 och K30)	4,4	991	7,2
Tabellvärde K24 (karakteristiskt)		10500	24
Tabellvärde K30 (karakteristiskt)		12000	30

Tabell 2: Provningsresultat av momentkapacitet, E-modul och böjhållfasthet.

Momentkapaciteten för de provade balkarna varierade mellan 15,7 – 33,5 kNm med medelvärdet 21 kNm. Eftersom inga tabellvärden för momentkapacitet hittades kan ingen jämförelse göras med resultatet från provningen hos SP och värdet är egentligen inte speciellt intressant i det här sammanhanget.

E-modulen för de provade balkarna varierade mellan 9730 – 13470 MPa. Karakteristiskt värde för balkarna i K30 kvalitet var 11000 MPa vilket är 1000 MPa lägre än tabellvärdet för K30.

Böjhållfastheten för de provade balkarna låg i intervallet 25,3 – 54,2 MPa. Karakteristiskt värde för balkarna i K30 kvalitet var 22 MPa vilket är lägre än tabellvärdet för K30. Då böjhållfastheten räknas om till 150 mm höjd enligt L-regler 1997:1 [22] blir karakteristiska värdet för K30 strax under 26 MPa vilket fortfarande är lägre än tabellvärdet.

Spridningen är tämligen stor för de tre provade egenskaperna, exempelvis skiljer det ca 29 MPa mellan högsta och lägsta värdet för böjhållfasthet. Den stora spridningen gör att karakteristiska värdet för de undersökta egenskaperna sjunker till värden som ligger under de som redovisas i tabeller. Orsaken till spridningen är att trä är ett material med många naturliga defekter som kvistar, snedfibrihet m.m. som alla påverkar böjhållfastheten på ett negativt sätt.

Brotten hos balkarna startade i de flesta fall som ett dragbrott i undre lamellen i anslutning till en kvist eller i en fingerskarv, se figur 11.



Figur 11: Balkbrott som startat i anslutning till en kvist respektive i en fingerskarv.

Om det förekommer kvistar på undre lamellens undersida och/eller fingerskarvar i undre lamellen är det normalt den svagaste punkten i lamellen och det är därför naturligt att brottet startar här.

5.4.2 Resultat av skjuvprov

Skjuvhållfastheten varierade mellan 4,7 – 10,1 MPa med medelvärdet 7,5 MPa och standardavvikelsen 1,4 MPa. Enligt SS 23 01 05 [23] skall skjuvhållfastheten vara minst 6 MPa vid skjuvprovning. Där presstrycket varit tillräckligt uppfyllde alla prov utom ett kravet på minst 6 MPa skjuvhållfasthet.

Träbrottsandelen varierade mellan 50 – 100 %, där de lägre procenttalen berodde på dåligt presstryck vilket med största sannolikhet beror på att pressningen skedde manuellt med limknektar. För de bitar där tillräckligt presstryck uppnåts var träbrottsandelen 85 % eller mer.

I fyra av 28 provbitar skedde brottet utanför fogen vilket visar att limfogen inte var den svagaste punkten i balken.

5.4.3 Resultat av fuktkvots- och densitets mätning

Fuktkvoten hos de balkar som testades på SP varierade mellan 8,7 – 13,0 % med medelvärdet 11,3 % och standardavvikelsen 0,9 %. Fuktkvoten hos balkarna låg nära den önskade. Då balkarna levererades skulle fuktkvoten vara 12 % och under limning och lagring innan provning är det rimligt att fuktkvoten har sjunkit något till nuvarande nivå.

Densiteten mättes som nuvarande densitet och räknades även om till torrdensitet vid nuvarande volym med hjälp av fuktkvoten.

Nuvarande densitet varierade mellan 354 – 548 kg/m³ och hade medelvärdet 436 kg/m³ med standardavvikelsen 42 kg/m³. Beräknad torrdensitet vid aktuell volym varierade mellan 320 - 492 kg/m³ med medelvärdet 391 kg/m³ och standardavvikelsen 36 kg/m³.

Densitetsprovningen visade att densiteten hos virket var normal i balkarna nära den punkt där brottet startade. Densiteten hos gran vid 12 % fuktkvot anges i tabeller till ca 440 kg/m³ och medelvärdet för de provade balkarna var ca 435 kg/m³ vid 11,3 % fuktkvot. Densiteten omräknad till 12 % fuktkvot blir 439 kg/m³. Denna skillnad är rimlig då densiteten för trä kan variera beroende på årsringsbredd, kvistighet osv.

6 Slutsatser och kommentarer

6.1 PU-lim vid tillverkningen

Det innebär vissa problem att använda traditionella MUF- eller PRF-lim vid limningen eftersom de tar lång tid att härda om man inte påskyndar denna med någon form av uppvärmning. Ett sätt att lösa dessa problem är att istället använda PU-lim. Dessa lim härdar betydligt snabbare vid rumstemperatur än MUF- och PRF-lim. Härdtiden för PU-lim är ca 2 timmar vid 20°C och 65 % RF, motsvarande tid för ett MUF-lim är ca 10 timmar. En annan fördel är att de inte kräver lika högt presstryck för att binda till träet, hållfastheten för limfogen blir dock lägre om presstrycket är lågt. Vid högt presstryck är limfogens hållfasthet jämförbar med ett MUF-lim.

Om limfogen ligger mitt på eller nära mitten av balken blir belastningarna på fogen mindre och man kunde eventuellt ha accepterat att den inte blir lika stark som då ”normalt” presstryck används. I detta fall är det dock inte acceptabelt och tillräckligt högt presstryck måste uppnås för att säkerställa full styrka hos limfogen.

6.2 Kommentarer till resultat från balkprovning hos SP

Spridningen i hållfasthetsvärden var stor mellan de olika balkarna och beror som nämnts under resultat på de olika defekter som finns i de lameller som ingår i balkarna. Denna stora spridning gör att det blir en stor standardavvikelse vilket i sin tur leder till att det karakteristiska värdet för respektive egenskap hamnar under tabellvärdena. Plockas högsta och lägsta värdet för böjhållfasthet bort blir det karakteristiska värdet för K30 23,6 MPa. Korrigeras detta till 150 mm balkhöjd enligt L-regler blir det 27,8 MPa och värdet börjar närma sig tabellvärdet för böjhållfasthet som är 30 MPa.

Problemet med att balkarna inte motsvarade kraven i respektive hållfasthetsklass bör studeras mera ingående. Antalet balkar som provades var inte tillräckligt stort för att det skall gå att dra några säkra slutsatser. Men för de balkar som provades och där hållfastheten låg under tabellvärdet (karakteristiskt värde) startade brottet i anslutning till en kvist eller fingerskarv på den dragna sidan vilket är naturligt eftersom fingerskarvar och kvistar, speciellt större sådana, utgör en försvagning. Ett sätt att undvika dessa problem skulle eventuellt kunna vara att sortera bort virke med stora kvistar eller orientera lamellerna på ett speciellt sätt så att större kvistar och fingerskarvar inte hamnar på den dragna sidan, se nedan.

För en mera ingående analys av orsakerna till problemet rekommenderas en multivariat analys av balkar i en större undersökning där fler balkar provas.

Då balkarna sattes upp i provriggen vändes de slumpmässigt så att ingen medveten hänsyn togs till de ingående defekterna och dessas placering. Genom att riktningsbestämma balken så att en viss kant vänds uppåt kan högre värden på hållfastheten uppnås, men på bekostnad av en enkel och billig produktion. Det blir en alltför komplicerad (dyr) tillverkningsprocedur att vända lamellerna och den färdiga balken på ”rätt håll” så att så få kvistar respektive fingerskarvar som möjligt hamnar på den dragna sidan i zonen för max moment.

Fingerskarven kan tyckas allt för svag då det ofta är i denna som balkbrottet startar, men att öka fingerskarvens styrka genom att exempelvis öka fingrarnas längd är inte ekonomiskt försvarbart i de flesta fall. Normalt finns det kvistar och andra defekter i virket som utgör brottsanvisning även om fingerskarven skulle vara så stark att brottet inte startar i denna.

I det urval av balkar som testades gick det att se en liten skillnad mellan K30 och K24 kvalitet på lamellerna vid provningen. Antalet balkar av K24 kvalitet var dock alltför litet för att några säkra slutsatser skall kunna dras. Därför bör värdena för K24 balkarnas momentkapacitet, böjhållfasthet och E-modul användas med försiktighet.

För vissa balkar noterades otillräckligt presstryck vilket bland annat syntes genom att träbrottsandelen var låg. En orsak kan vara att limningen skedde manuellt med limknektar. Dessa problem kommer sannolikt att försvinna vid maskinell tillverkning.

Träbrottsandelen varierade mellan 50 – 100 % som nämnts under resultat. 50 % träbrottsandel är otillräckligt och visar att limfogen inte uppfyller de krav som bör ställas medan 100 % träbrottsandel visar på en riktigt utförd limning där limfogen är lika stark eller starkare än de sammanlimmade lamellerna.

Träbrottsandelen då limningen skall anses riktig är subjektiv men bör ligga över 90 %.

6.3 Prisjämförelse med LVL, I-balk och limträ

Priset på produkten har en central betydelse för konkurrenskraften när det gäller konstruktionsmaterial. Vid likvärdiga material i övrigt väljs det billigaste i första hand, det är till stor del priset som styr.

För att möjliggöra en prisjämförelse med kantlimmad balk i K24 kvalitet valdes tvärsnittsdimensionen till 45 x 300 mm eller den standarddimension som närmast motsvarar denna. Det innebär 45 x 300 mm för LVL (KERTO-S), 47 x 300 mm för I-balk (Swelite typ H) och 56 x 270 mm för limträ (Moelven) se tabell 3. Priserna för konkurrenternas produkter är respektive tillverkarens listpriser till bygghandeln.

Fabrikat	Dimension [mm]	Pris exkl. moms [kr/lpm]
Kerto	45 x 300	99
Swelite	47 x 300	63
Moelven	56 x 270	82
Kantlimmad balk K24	45 x 290	43

Tabell 3: Prisjämförelse mellan LVL, I-balk, limträ och kantlimmad balk oktober 2004.

Den kantlimmade balken har lägst pris i tabell 3, priset för denna bygger på råvarukostnader och beräknade produktionskostnader. Av de tre jämförda konkurrerande produkterna har I-balken lägst pris, priset är ca 2/3 av LVL-balken. LVL-balken i redovisad dimension klarar dock en större spännvidd än den kantlimmade balken. Det är ett gränsfall att en 45 x 260 mm LVL-balk (86 kr/lpm) klarar samma spännvidd som en 45 x 290 mm kantlimmad balk. Samma sak gäller limträbalken, det räcker med en limträbalk i dimension 56 x 225 mm för att klara samma spännvidd som den kantlimmade balken i dimension 45 x 290 mm. Limträbalken kostar i detta fall 69 kr/ lpm.

Detta visar hur svårt det är att göra en rättvis jämförelse mellan de olika balkarna om man inte väljer dimensioner som motsvarar varandra. Jämförs priset per lpm för balkar som mer motsvarar varandra i bärförmåga, vilket är mera rättvist, är prisskillnaden mindre än den som visas i tabellen ovan. Man skall dock ha i minnet att det inte alltid är möjligt att minska balkhöjden även om bärförmågan är tillräcklig för den lägre balken. Ibland behöver man en högre balk för att tillgodose brand- och ljudkraven. För att ytterligare komplicera det hela kan man normalt räkna upp hållfastheten för böjning parallellt med fibrerna då man limmar samman två eller flera lameller eftersom eventuella defekter sannolikt inte hamnar i samma snitt och man kan tillgodoräkna sig mindre spridning i hållfasthetsvärdena. Om de enskilda lamellerna klarar K24 kraven bör den färdiga kantlimmade balken klara högre krav även om så inte var fallet för de balkar som provades hos SP.

6.4 Ersättning av LVL och I-balkar i redan dimensionerade konstruktioner

Det fungerar inte att direkt ersätta en LVL-balk i en dimensionerad konstruktion med en kantlimmad balk i samma dimension. Exempelvis motsvarar en 45 x 290 mm kantlimmad balk i K24 kvalitet ett mellanting mellan 45 x 260 mm och 45x 300 mm LVL-balk, den ligger strax över en 45x260 mm LVL-balk i styrka. Väljer man istället K30 kvalitet för den kantlimmade balken och jämför en 45 x 290 mm balk med en 45 x 300 mm LVL-balk blir skillnaden mindre, den kantlimmade balken ger en spännvidd på ca 5,8 m mot 6,0 m för LVL-balken. Längderna gäller ett mellanbjälklag med belastningar enligt BKR 2003 och c/c 600 mm mellan balkarna samt singelspann, en kontinuerlig balk klarar större spännvidd. En kontinuerlig 45x290 mm kantlimmad balk i K30 kvalitet kan klara spännvidder upp till 6,3 m beroende på hur fördelningen mellan spannen är.

Även i fallet med I-balkar behöver beräkningar göras då den skall ersättas av en kantlimmad balk i en konstruktion. I ett mellanbjälklag med belastningar enligt BKR 2003, c/c 600 mm mellan balkarna och singelspann, klarar en 302 mm hög I-balk 4,7 – 5,7 m spännvidd beroende på kvaliteten på balkarna.

Det är nödvändigt att räkna på varje enskilt fall för att kunna bedöma vilken balkdimension som är aktuell som ersättning av en redan dimensionerad balk i en konstruktion. Alternativt kan en tabell upprättas för att direkt se vilka dimensioner som krävs i en viss applikation.

Både tillverkare av LVL och I-balkar kan erbjuda färdiga tabeller för att underlätta dimensioneringen. Om lastförutsättningarna är kända kan man gå in direkt i tabellen och välja lämplig balk. Detta ger ett snabbt dimensioneringsförfarande som underlättar för både professionella konstruktörer och ”gör det självare”.

För att kunna konkurrera fullt ut med LVL och I-balkar behövs K30 kvalitet på lamellerna i de kantlimmade balkarna.

6.5 Standard

Eftersom det inte verkar finnas någon standard som är direkt tillämpbar vid tillverkning av kantlimmade balkar blir man tvungen att använda en mix av andra närliggande standarder och krav. Det gör det svårt att konkurrera med befintliga alternativ som LVL och I-balkar. Dessa produkter tillverkas efter specifika föreskrifter och det gör det lättare att sälja in produkterna till kund. Ett sätt att ändra på detta förhållande kan vara att genomföra någon typ av certifiering av kantlimmade balkar. Åtminstone bör man upprätta någon form av regelverk för sin balktillverkning. I denna skall det klart framgå vilka krav som ställs på virket som skall ingå i balken, vilka sorteringsregler som gäller vid fingerskarvning och limning m.m. Genom att ställa höga men relevanta krav kan man uppnå en hög kvalitet på balken vilket gör att den kan konkurrera med LVL och I-balkar. Det har exempelvis Hyne¹ visat med sin LGL-balk som enligt dem har tekniska data som matchar konkurrenterna.

¹ Hyne and Son Pty

6.6 Kundanpassning

Balken bör finnas i ett flertal dimensioner och längder. Dels skall den finnas i olika standardlängder men helst skall kunden även kunna få balken exaktkapad, littererad och paketerad efter egna önskemål, det ger ett mervärde på produkten.

Höjden på balken bör finnas i jämna intervall mellan 250 – 500 mm. 25 mm intervall är lämpligt vilket gör att man kan avpassa balken till de belastningar som råder och slipper överdimensionera i onödan. Genom att kombinera olika höjd på lamellerna är det möjligt att tillverka balken i dessa intervall.

Vidare är det lämpligt att tillverka balken i olika bredder för att undvika att balken blir alltför slank. Lämpliga bredder kan vara 35, 45, 63 och 70 mm.

Internt inom Derome AB byggs 500 – 1000 byggenheter per år och vid denna tillverkning är det balkhöjder kring 300 mm för användning i bjälklag som efterfrågas.

Det krävs minst 270 mm balkhöjd för att klara ljudkraven i ett flerbostadshus och möjligheter till så långa spännvidder som möjligt är önskvärt samtidigt som man vill förhindra att bjälklagen bygger alltför mycket på höjden. 45 x 290 mm blir då en lämplig kompromiss.

I andra sammanhang är det andra balkhöjder som efterfrågas och kantlimmade balkar bör därför finnas i både större och mindre dimensioner än 45 x 290 mm.

7 Övrigt

7.1 Förslag till fortsatt arbete

Arbetet fortsätter lämpligen med att utreda hur spridningen av hållfasthetsvärden mellan de olika balkarna kan minskas. Sedan bör arbetet inriktas på hur tillverkning av kantlimmade balkar kan ske på ett effektivt och rationellt sätt. Spontade lameller med olika typ av spont, not och fjäder kan prövas liksom olika typer av lim och pressanordningar efter limning. Lameller med endast spont och en lös fjäder är värt att pröva då detta sparar material och tillåter att fjädern är av ett annat material än lamellerna.

Lim av polyuretan typ kan förkorta tiden lamellerna behöver hållas i press då det inte sker någon typ av påskyndat härdningsförlopp med hjälp av HF eller annan värmeförsel. Ett annat intressant utvecklingsområde är att limma balkarna av rått virke och sedan torka ner dem till lämplig fuktkvot innan den slutliga bearbetningen sker.

Referenser

1. Robert H Falk and François Colling, (1995). Laminating Effects In Glued-Laminated Timber Beams.
Journal of Structural Engineering, Vol. 121, No 12, December 1995, 1857-1863.
2. Anonym (2003). Regelsamling för konstruktion - Boverkets konstruktionsregler, BKR, byggnadsverkslagen och byggnadsverksförordningen.
Boverket april 2003.
ISBN: 91-7147-740-3
ISSN: 1100-0856
< <http://www.boverket.se/novo/filelib/forfattningar/bkr/nyftextavsn/bkr2003fulltext.pdf>>
3. Anonym (2004). Mer trä i byggandet – underlag för en nationell strategi att främja användning av trä i byggandet” DS 2004:1, rapport till regeringen.
< <http://www.regeringen.se/sb/d/1070/a/11079> >
4. Anonym (2004). Statistik över nyproduktionen av bostäder 2004, Statistiska centralbyrån.
<http://www.scb.se/Statistik/BO/BO0801/2004A01/BO0801_2004A01_BR_03_BO01SA0401.pdf>
5. Anonym (2004). Prognos över produktionen av bostäder 2004, Boverket.
< <http://www.boverket.se/>>
6. Anonym (2004). Statistik över antal lägenheter som Svensk Trähusindustri producerade under 2003, Svensk Trähusindustri.
< <http://www.husfabrikerna.com/statisti.htm>>
7. Per-Erik Eriksson (2004). Lägenhetsskiljande träbjälklag.
TRÄ INFORMATION, Vol.55, Årg.18, Nr 3, oktober 2004, 26-30.
8. Tomas Worén (1998). Regler och dokumentation vid tillverkning av bärande limträbalk hos Moheds Trä
Examensarbete utfört vid Luleå tekniska universitet, institutionen i Skellefteå, yrkestekniska utbildningsprogrammet 1998. ISSN 1402-1560/ISRN LTU-YTH-EX.- 98/12--SE/NR 1998:12
9. Sigurdur Ormarsson, Hans Petersson och Ola Dahlblom (1998). Förbättrad formstabilitet för sammanlimmade träprodukter.
Lund: Tekniska Högskolan i Lund, Avdelningen för Byggnadsmekanik
Rapport TVSM-3032, ISSN 0281-6679 ; 3032
10. John Eriksson, Sigurdur Ormarsson och Hans Petersson (2001). Datorsimuleringar och experimentella studier av formstabilitet hos virke och sammanlimmade träämnen.
Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för konstruktion och mekanik,
ISSN 0282-5759 ; 01:2
11. Anders Grönlund (1992). Sågverksteknik del II: processen.
Markaryd, Sveriges skogsindustrieförbund, augusti 1992
ISBN 91-7322-150-3

12. Germund Johansson, Robert Kliger, Mikael Perstorper (1993). Inköpsregler för byggnadsvirke: byggbranschens kvalitetskrav
Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för Byggnadsmekanik.
ISSN 1103 – 6346 ; 1993: 20
13. Anonym (2003). Regelsamling för konstruktion - Boverkets konstruktionsregler, BKR, byggnadsverkslagen och byggnadsverksförordningen, 5:442.
Boverket april 2003.
ISBN: 91-7147-740-3
ISSN: 1100-0856
< <http://www.boverket.se/novo/filelib/forfattningar/bkr/nyftextavsn/bkr2003fulltext.pdf>>
14. Anonym (2004). Lim godkjent for produksjon av konstruksjonslimtre (Norska).
Nordisk Limtrenemd, januari 2005
< <http://www.treteknisk.no/Tema/limtre/Limliste.pdf>>
15. Anonym (2003). Regelsamling för konstruktion. Boverkets konstruktionsregler, BKR, byggnadsverkslagen och byggnadsverksförordningen, kapitel 5.
Boverket april 2003.
ISBN: 91-7147-740-3
ISSN: 1100-0856
< <http://www.boverket.se/novo/filelib/forfattningar/bkr/nyftextavsn/bkr2003fulltext.pdf>>
16. Anonym (2003). Hyne edge beam LGL a natural choice, produktkatalog (Engelska).
<<http://www.hyne.com.au/downloads/pdf/spantables/EdgebeamLGL.pdf>>
17. Anonym (2004). Att välja trä, trävaror och träprofiler till bygget.
Träindustrierna, utgåva 8, juni 2004.
ISBN 91-631-3348-2
18. Olle Carling (2001). Limträhandbok 2001.
Print & Media Center i Sundsvall AB, augusti 2001.
ISBN 91-631-1453-4
19. Anonym (2000). Test methods for light composite wood-based beams and columns (Engelska).
European organisation for technical approvals, TR 002 , technical report, oktober 2000.
20. Anonym (2003). SS EN 408: Träkonstruktioner - Konstruktionsvirke och limträ - Bestämning av vissa fysikaliska och mekaniska egenskaper (Engelska).
European Committee for Standardization, ICS 91.080.20, oktober 2003.
21. Anonym (1995). SS EN 392: Träkonstruktioner – Limträ – Skjuvningsprov för limfogar.
European Committee for Standardization, ICS 79.040, januari 1995.
22. Anonym (1997). Regler för tillverkningskontroll av limträ och limmat konstruktionsvirke, L-regler 1997:1. Svensk Limträkontroll, maj 1997.
23. Anonym (1984) SS 23 01 05: Limmade träkonstruktioner – Tillverkning och kontroll.
SIS – Standardiseringskommissionen i Sverige, juni 1984.

Appendix

Fuktkvotsbestämning av lameller och balkar

Fuktkvotsbestämning 041005

Planka [nr.]	Fuktkvot [%] stiftmätare	Planka [nr.]	Fuktkvot [%] stiftmätare
1	10,7	42	9,9
2	6	43	9,8
3	11	44	9,1
4	10,8	45	10,1
5	9,4	46	8,8
6	10,7	47	11,6
7	6,5	48	10,2
8	11,1	49	9,1
9	10,8	50	9,9
10	9,2	51	11,2
11	10,9	52	12
12	9,7	53	10,2
13	14,5	54	9
14	11	55	8,8
15	10,4	56	9,6
16	10,5	57	12,6
17	8,4	58	10
18	8,8	59	6
19	5,9	60	Inget värde
20	9,8	61	5,9
21	11,2	62	Inget värde
22	11,3	63	11,1
23	10,2		
24	8,5	Medelvärde	10,2
25	11,9	Standardavvikelse	1,7
26	9,1		
27	12,2		
28	10,3		
29	8,9		
30	10,6		
31	11		
32	8,4		
33	9		
34	11,3		
35	12,7		
36	10,2		
37	8,7		
38	11		
39	11,6		
40	10,5		
41	12,9		

Fuktkvotsbestämning med torrviktsmetoden samt klyvprov 041006

Provbit nr.	Fuktkvot stiftmätare [%]	Fuktig vikt [g]	Torr vikt [g]	Fuktkvot torrvikts- metoden [%]	Differens stiftmätare - torrviktmetod [%]	Klyv- gap [mm]	Klyv- prov [mm]
1	12,7	132,3	120,2	10,1	2,6	3	1,3
2	11,4	115,7	105,7	9,5	1,9	2,8	1,2
3	10,5	92,4	85	8,7	1,8	2,1	0,9
4	9,4	118,3	109,1	8,4	1,0	1,2	0,5
5	7,3	123,5	114,2	8,1	-0,8	2	0,9
6	19	98,1	85,4	14,9	4,1	1	0,4
7	9,2	105,8	97,8	8,2	1,0	2,8	1,2
8	Inget värde	93	85,7	8,5		2,5	1,1
9	Inget värde	116,3	107,5	8,2		2	0,9
10	Inget värde	115,1	106,6	8,0		1,5	0,7
Medelvärde	11,4			9,3	1,7		0,9
Standardavvikelse	3,8			2,1	1,5		0,3

Fuktkvotsbestämning med torrviktsmetoden 050210

Provbit nr.	Fuktig vikt [g]	Torr vikt [g]	Fuktkvot [%]
1	139,4	129	8,1
2	85,8	80	7,3
3	104,5	96,9	7,8
4	102,5	95,4	7,4
5	100,1	92,8	7,9
6	101,9	94,8	7,5
7	114,7	106,7	7,5
8	107	99,4	7,6
9	102,1	94,7	7,8
10	93,7	86,9	7,8
Medelvärde			7,7
Standardavvikelse			0,2

Deformationsmätning av balkar

Balkdeformationer 041021, mätlängd 4 m

Balk nr.	Flatböj [mm]	Kantkrok [mm]	Kupning [mm]	Vridning [mm]
1	0	5	0	26
2	2	3	0	36
3	1,5	3	0	41
4	7	2,5	0	11
5	3	1	0	22
6	4	3	0	1
7	4	4	0	4,5
8	3	2,5	0	9
9	0	3	0	0
10	10	3	0	0
11	10,5	3,5	0	15,5
Medelvärde	4,1	3,0	0,0	15,1
Standardavvikelse	3,6	1,0	0,0	14,5

Balkdeformationer 041027, mätlängd 4m

Balk nr.	Flatböj [mm]	Kantkrok [mm]	Kupning [mm]	Vridning [mm]
1	5	3	0	27
2	4	3	0	34
3	3	5	0	39
4	7,5	4	0	10
5	3	2	0	23
6	2	3	0	0
7	9	4	0	4
8	3,5	2,5	0	10
9	5	3	0	0
10	8	2	0	0
11	4	3	0	14
Medelvärde	4,9	3,1	0,0	14,6
standardavvikelse	2,3	0,9	0,0	14,1

Balkdeformationer 041110, mätlängd 4 m

Balk nr.	Flatböj [mm]	Kantkrok [mm]	Kupning [mm]	Vridning [mm]
1	3	3	0	25
2	5	3,5	0	35
3	9	5	0	41
4	8	2,5	0	10
5	9	8	0	22
6	4	3	0	0
7	14	2	0	5
8	4	3,5	0	10
9	5	2	0	0
10	2	4	0	0
11	5,5	4	0	14
Medelvärde	6,2	3,7	0,0	14,7
Standardavvikelse	3,5	1,7	0,0	14,3

Balkdeformationer 041124, mätlängd 4 m

Balk nr.	Flatböj [mm]	Kantkrok [mm]	Kupning [mm]	Vridning [mm]
1	10	3	0	25
2	5	3,5	0	35
3	9	5	0	41
4	8	2,5	0	10
5	9	8	0	22
6	4	3	0	0
7	14	2	0	5
8	4	3,5	0	10
9	5	2	0	0
10	2	4	0	0
11	5,5	4	0	14
Medelvärde	6,9	3,7	0,0	14,7
Standardavvikelse	3,5	1,7	0,0	14,3

Balkdeformationer 041202, mätlängd 4m

Balk nr.	Flatböj [mm]	Kantkrok [mm]	Kupning [mm]	Vridning [mm]
1	11	4,5	0	27
2	3	3	0	38
3	0	3	0	44
4	1	4,5	0	11
5	1	1	0	24
6	1,5	3	0	0
7	11	4,5	0	5
8	3	4	0	11
9	5	4	0	0
10	8	3	0	0
11	9	3	0	16
Medelvärde	4,9	3,4	0,0	16,0
Standardavvikelse	4,2	1,0	0,0	15,5

Balkdeformationer 041208, mätlängd 4m

Balk nr.	Flatböj [mm]	Kantkrok [mm]	Kupning [mm]	Vridning [mm]
1	9	3	0	29
2	5	3,5	0	38
3	2	3,5	0,5	47
4	7,5	5	0	11
5	2	3	0	26
6	2,5	3,5	0	2
7	6	5,5	0,5	7
8	7	4,5	0	13
9	3	3	0,5	0
10	10	4	0	0
11	11	4	0	17
Medelvärde	5,9	3,9	0,1	17,3
Standardavvikelse	3,3	0,8	0,2	15,9

Balkdeformationer 041215, mätlängd 4 m

Balk nr.	Flatböj [mm]	Kantkrok [mm]	Kupning [mm]	Vridning [mm]
1	11	4	0	27
2	4	4,5	0,5	38
3	2	3,5	0,5	46
4	5	5	0	12
5	3	3	0	25
6	2	3	0	2
7	6	5,5	0,5	7
8	6	4	0,5	12
9	4	4	0	0
10	10	4	0	0
11	10	4	0	14
Medelvärde	5,7	4,0	0,2	16,6
Standardavvikelse	3,3	0,8	0,3	15,5

Balkdeformationer 041221, mätlängd 4 m

Balk nr.	Flatböj [mm]	Kantkrok [mm]	Kupning [mm]	Vridning [mm]
1	10,5	3,5	0,5	26
2	5	4	0,5	40
3	1	4	1	49
4	5	5	0	13
5	3	3	0,5	27
6	4	3	0	2
7	8,5	6	0,5	5
8	7	5	0,5	13
9	3,5	4	0	0
10	10	4	0	0
11	13	3,5	0	18
Medelvärde	6,4	4,1	0,3	17,5
Standardavvikelse	3,7	0,9	0,3	16,5

Balkdeformationer 050105, mätlängd 4 m

Balk nr.	Flatbøj [mm]	Kantkrok [mm]	Kupning [mm]	Vridning [mm]
1	11	4,5	1	32
2	5	5	1	41
3	2	4	0,5	50
4	5	5	0	12
5	2	3	0,5	28
6	2,5	3	0	2
7	5	5	0,5	8
8	5	4	0	12
9	2	4	0	0
10	10	4	0	0
11	11	4	0	16
Medelvärde	5,5	4,1	0,3	18,3
Standardavvikelse	3,6	0,7	0,4	17,1

Balkdeformationer 050119, mätlängd 4 m

Balk nr.	Flatbøj [mm]	Kantkrok [mm]	Kupning [mm]	Vridning [mm]
1	6,5	3	1	32
2	4,5	4,5	0,5	39
3	2	4	0,5	49
4	8	5	0,5	13
5	2,5	3	0	27
6	2,5	3,5	0	1
7	6	5,5	0,5	7
8	6	4	0	14
9	4	3,5	0	0
10	11	4	0	0
11	10	4,5	0	18
Medelvärde	5,7	4,0	0,3	18,2
Standardavvikelse	3,0	0,8	0,3	16,7

Balkdeformationer 050131, mätlängd 4 m

Balk nr.	Flatböj [mm]	Kantkrok [mm]	Kupning [mm]	Vridning [mm]
1	6	3	1	33
2	3,5	4	0,5	40
3	3	4	0,5	50
4	5	5	0	14
5	2	3	0	28
6	3,5	3	0,5	2
7	8	6	0,5	8
8	6,5	4,5	1	15
9	3,5	4	0	0
10	10	4	0	0
11	11,5	4,5	0	19
Medelvärde	5,7	4,1	0,4	19,0
Standardavvikelse	3,1	0,9	0,4	16,9

Balkdeformationer 050209, mätlängd 4 m

Balk nr.	Flatböj [mm]	Kantkrok [mm]	Kupning [mm]	Vridning [mm]
1	6,5	3	1	34
2	3,5	4	0,5	42
3	2	3,5	1	51
4	8	5	0	15
5	3	3,5	0,5	30
6	3	3,5	0	3
7	7	6	1	8
8	6	5	0,5	16
9	3	4	0,5	0
10	10	4	0	0
11	12	4	0	17
Medelvärde	5,8	4,1	0,5	19,6
Standardavvikelse	3,3	0,9	0,4	17,4

Mätning av E-modul, böjhållfasthet och momentkapacitet hos balkar

Mätningarna utfördes 050125-050126 enligt ”Test methods for light composite wood-based beams and columns” hos:

Statens Provnings och Forskningsinstitut

Brinellgatan 4

501 15 BORÅS

Uppdragsgivare var Derome Såg AB

Bjurumsvägen 14

430 20 Veddige

Uppdragsnummer: BMtP500858

Nominella mått på balken: 45 x 290 mm

Lamellkvalitet: K30 och K24.

Balkände 1

Balk nr.	Virkeskvalitet	Balkhöjd [mm]	Balkbredd uppe [mm]	Balkbredd nere [mm]
1	K30	289,6	45,3	45,2
2	K30	289,7	45,1	44,9
3	K30	290	44,1	44,8
4	K30	289,8	45,2	44,8
5	K30	289,3	44,8	44,7
6	K30	288,6	44,6	44,4
7	K30	289,6	44,6	44,9
8	K30	281,1	44,7	45,1
9	K30	289,8	44,3	44,9
10	K30	291,1	45	44,9
11	K30	289,1	44,9	45,1
12	K30	289,7	44,9	44,9
13	K30	289,2	44,9	44,9
14	K30	290,5	44,9	45
15	K30	289,1	44,7	45
16	K30	289,2	45	44,7
17	K30	290,3	45	44,8
18	K30	288,7	44,9	45,1
19	K30	290,3	44,7	44,9
20	K30	289,5	44,9	44,9
21	K30	289,1	44,8	44,7
22	K30	290,6	43,4	45,1
23	K30	289,2	45	45,1
24	K30	289,7	44,4	44,9
25	K24	290,5	44,5	43,9
26	K24	286,6	44,8	44,6
27	K24	288,7	44,7	44,8
28	K24	289,9	44,7	44,8
	Medelvärde	289,2	44,7	44,9
	Standardavvikelse	1,8	0,4	0,3

Balkände 2

Balk nr.	Balkhöjd [mm]	Balkbredd uppe [mm]	Balkbredd nere [mm]
1	289,4	44,3	44,6
2	289,3	45,3	42,2
3	286,9	44	44,5
4	289,2	44,8	44,7
5	289,9	44,8	44
6	288	42,9	42,8
7	288,1	44,3	44,8
8	288,4	44,6	44,8
9	288,6	44,8	44,7
10	289,2	43,6	44,1
11	288,7	44,7	44,9
12	289,5	43,8	44,8
13	288,9	43,2	44,1
14	289,9	44,6	44,7
15	288,4	44,8	44,4
16	288,3	44,5	44,4
17	288,4	44,6	44,4
18	288	44,5	44,5
19	289,2	44,7	44,5
20	288,5	44,4	44,4
21	287,5	44,7	44,4
22	288,6	44,6	44,2
23	288	44,5	44,2
24	288	44,6	44,4
25	287,1	44,4	44
26	288	43,3	44,1
27	288,2	44,6	44,6
28	288,2	44,6	44,9
Medelvärde	288,5	44,4	44,3
Standardavvikelse	0,8	0,5	0,6

Balk nr.	Max last [kN]	Typ av brott
1	18,2	Brott vid mindre kvist
2	22,61	Dragbrott vid flatsidekvist
3	33,06	Dragbrott
4	19,7	Dragbrott vid 22 mm kvist
5	24,14	Dragbrott vid 16 mm kvist
6	22,79	Dragbrott vid 14 mm kvist
7	20,91	Dragbrott vid 32 mm kvist
8	29,85	Dragbrott vid 12 mm kvist
9	27,98	Brott i fingerskarv
10	23,46	Dragbrott vid 15 mm kvist
11	31,09	Dragbrott
12	20,57	Dragbrott vid 21 mm kantkvist
13	29,87	Tryckbrott i övre fingerskarv
14	21,24	Dragbrott vid 15 mm kvist
15	19,42	Dragbrott i fingerskarv
16	21,01	Dragbrott i 20 mm kvist
17	21,83	Dragbrott i hornkvist
18	23,76	Dragbrott i mindre kvist (10 mm)
19	22,76	Dragbrott i fingerskarv
20	25,75	Dragbrott i 20 mm kvist ca 100 mm från område med max moment
21	37,22	Dragbrott i 10 mm kvist
22	17,42	Dragbrott i 25 mm kantkvist 500 mm från område med max moment
23	21,72	Dragbrott i fingerskarv
24	18,47	Dragbrott i 22 mm kantkvist
25	25,03	Skjuvbrott i övre lamellen
26	18,21	Dragbrott i fingerskarv, eventuellt saknas lim i yttersta finger
27	23,33	Dragbrott i 20 mm kantkvist
28	19,82	Dragbrott i fingerskarv
Medelvärde	23,62	
Standardavvikelse	4,88	

Balk nr.	Medelbalkhöjd [mm]	Medelbalkbredd [mm]	I = Yttröghetsmoment [mm ⁴]
1	289,4	27,03	54585845
2	289,3	28,03	56552058
3	286,9	31,14	61281446
4	289,2	28,30	57042698
5	289,9	29,49	59863835
6	288	28,62	56977551
7	288,1	29,25	58292344
8	288,4	31,81	63591976
9	288,6	31,62	63338766
10	289,2	30,29	61053827
11	288,7	32,92	66016411
12	289,5	30,29	61249081
13	288,9	32,54	65390144
14	289,9	31,14	63213854
15	288,4	30,91	61777918
16	288,3	31,48	62856894
17	288,4	31,96	63881826
18	288	32,69	65074545
19	289,2	32,74	65992153
20	288,5	33,64	67310051
21	287,5	36,83	72934670
22	288,6	32,06	64210125
23	288	33,36	66398331
24	288	32,87	65427886
25	287,1	34,61	68247785
26	288	32,90	65497559
27	288,2	34,88	69583823
28	288,2	34,33	68481693
Medelvärde	288,5	31,7	63433039
Standardavvikelse	0,8	2,3	4281365

Balk nr.	Momentkapacitet [kNm]	Böjhållfasthet [MPa]	Last [kN]
1	16,38	26,15	11,2
2	20,35	32,83	10,1
3	29,75	48,38	10,1
4	17,73	28,29	10,2
5	21,73	34,87	10,3
6	20,51	33,90	10,3
7	18,82	30,31	10,1
8	26,87	44,37	10,1
9	25,18	40,44	10,1
10	21,11	33,89	10,2
11	27,98	44,80	10,4
12	18,51	29,70	10,3
13	26,88	43,60	10,2
14	19,12	30,40	10,2
15	17,48	28,12	10,2
16	18,91	30,48	10,2
17	19,65	31,50	10,3
18	21,38	34,48	10,1
19	20,48	32,75	10,3
20	23,18	37,29	10,2
21	33,50	54,16	10,3
22	15,68	25,30	10,2
23	19,55	31,50	10,4
24	16,62	26,82	10,2
25	22,53	36,66	10,2
26	16,39	26,95	10,1
27	21,00	33,89	10,2
28	17,84	28,63	10,3
Medelvärde	21,3	34,3	10,2
Standardavvikelse	4,4	7,2	0,2
	K24	K24	
Medelvärde	19,4	31,5	
Standardavvikelse	2,8	4,5	
	K30	K30	
Medelvärde	21,6	34,8	
Standardavvikelse	4,6	7,5	
	K24	K24	
Karakteristiskt värde	12,8	20,9	
	K30	K30	
Karakteristiskt värde	13,7	21,9	

Balk nr.	Mitt nedböjning [mm]	Krökning [mm]	E-modul [MPa]
1	32,41	2,70	11 598,9
2	29,22	2,47	11 491,2
3	29,98	2,45	11 776,9
4	27,23	2,20	12 857,9
5	29,66	2,44	11 786,3
6	28,45	2,42	12 347,1
7	27,25	2,17	13 187,1
8	28,33	2,45	12 167,2
9	27,48	2,24	12 692,6
10	27,26	2,12	13 447,8
11	27,17	2,36	12 302,1
12	30,34	2,51	11 565,6
13	28,39	2,27	12 731,0
14	31,92	2,65	10 660,0
15	27,46	2,31	12 523,0
16	28,16	2,35	12 280,3
17	27,82	2,29	12 593,8
18	26,77	2,13	13 476,1
19	27,99	2,33	12 300,6
20	26,41	2,17	13 273,1
21	26,92	2,32	12 629,1
22	30,27	2,38	12 108,0
23	30,59	2,73	10 757,4
24	27,88	2,29	12 593,1
25	31,88	2,58	11 280,5
26	31,94	2,78	10 522,5
27	32,18	2,86	10 048,5
28	35,64	2,97	9 732,5
Medelvärde	29,2	2,43	12 026,1
Standardavvikelse	2,2	0,22	991,2
			K24
		Medelvärde	10396
		Standardavvikelse	673
			K30
		Medelvärde	12298
		Standardavvikelse	745
			K24
		Karakteristiskt värde	8812
			K30
		Karakteristiskt värde	11021

Densitets- och fuktkvotsmätning

Derome Såg AB, Densitet och fuktkvot, BMtP500858

Provkropp [nr.]	Vikt [g]	Volym [cm ³]	Torr vikt [g]	Densitet [kg/m ³]	Torrdensitet rå(0,u) [kg/m ³]	Fuktkvot [%]
1:1	49,2	112,6	44,2	437	393	11,3
1:2	42,1	101,8	38,0	414	373	10,8
1:3	44,7	104,8	40,5	427	387	10,4
2:1	41,9	99,2	37,7	422	380	11,1
2:2	47,9	114,5	43,3	418	378	10,6
2:3	48,2	104,2	43,1	463	414	11,8
3:1	49,8	118,7	44,8	420	377	11,2
3:2	43,1	101,8	38,6	423	379	11,7
4:1	60,4	128,4	54,6	470	425	10,6
4:2	39,2	99,9	35,2	392	352	11,4
4:3	43,4	79,2	39,0	548	492	11,3
5:1	49,4	107,0	43,8	462	409	12,8
5:2	37,3	83,5	33,4	447	400	11,7
5:3	35,1	89,1	31,9	394	358	10,0
6:1	34,8	77,6	31,2	449	402	11,5
6:2	38,8	94,1	35,0	412	372	10,9
7:1	42,1	97,7	37,3	431	382	12,9
7:2	41	82,8	37,0	495	447	10,8
8:1	40,7	84,4	36,6	482	434	11,2
8:2	38,2	91,6	34,0	417	371	12,4
9:1	41,7	90,3	37,4	462	414	11,5
9:2	50,8	123,3	45,5	412	369	11,6
9:3	41	95,0	37,0	432	390	10,8
10:1	44,4	97,1	40,1	457	413	10,7
10:2	50,2	112,0	45,3	448	405	10,8
10:3	43,4	110,9	39,3	391	354	10,4
11:1	51,4	106,5	45,8	483	430	12,2
11:2	58	122,6	51,9	473	423	11,8
11:3	46,8	106,2	42,6	441	401	9,9
12:1	44,1	120,2	39,5	367	329	11,6
12:2	57,6	125,9	51,9	458	412	11,0
12:3	31,1	87,9	28,1	354	320	10,7
13:1	36,6	90,7	33,0	404	364	10,9
13:2	53,6	120,0	47,6	447	397	12,6
13:3	46,5	123,6	42,1	376	341	10,5
14:1	37,5	89,2	33,7	420	378	11,3
14:2	36	97,3	32,3	370	332	11,5
15:1	54,8	112,1	48,7	489	434	12,5
15:2	54,4	112,1	48,4	485	432	12,4
15:3	44,2	105,3	39,2	420	372	12,8
16:1	16,1	38,2	14,6	422	382	10,3
16:2	37,5	99,4	33,7	377	339	11,3
17:1	58,6	146,8	52,9	399	360	10,8
17:2	65,4	136,4	59,1	480	433	10,7
17:3	31	71,6	28,1	433	393	10,3

Provkropp [nr.]	Vikt [g]	Volym [cm ³]	Torr vikt [g]	Densitet [kg/m ³]	Torrdensitet rå(0,u) [kg/m ³]	Fuktkvot [%]
18:1	48,4	108,1	42,9	448	397	12,8
18:2	48,6	126,7	44,1	384	348	10,2
18:3	43,9	92,4	39,0	475	422	12,6
19:1	43	98,8	38,9	435	394	10,5
19:2	39,7	90,9	35,6	437	392	11,5
19:3	43,8	90,5	38,8	484	429	12,9
20:1	55,7	117,3	50,5	475	431	10,3
20:2	59,4	126,4	53,1	470	420	11,9
20:3	44,7	83,0	40,1	539	483	11,5
21:1	30,5	69,1	27,0	441	391	13,0
21:2	38	77,6	33,9	490	437	12,1
21:3	44,2	91,0	39,5	486	434	11,9
22:1	64,9	136,3	57,8	476	424	12,3
22:2	41,9	111,0	38,0	378	342	10,3
23:1	57,6	112,5	51,1	512	454	12,7
23:2	44,7	104,8	39,9	427	381	12,0
23:3	52,3	115,2	47,0	454	408	11,3
23:4	47,4	108,0	42,4	439	393	11,8
24:1	57,3	115,0	50,8	498	442	12,8
24:2	49,6	123,3	44,4	402	360	11,7
24:3	55,2	118,3	49,3	467	417	12,0
25:1	41	111,3	37,0	368	332	10,8
25:2	49,9	132,3	45,1	377	341	10,6
26:1	47,4	111,5	43,6	425	391	8,7
26:2	38,1	86,5	34,6	441	400	10,1
26:3	43,1	114,6	38,6	376	337	11,7
27:1	46,5	115,3	41,6	403	361	11,8
27:2	55,6	152,1	50,3	366	331	10,5
27:3	44,4	115,8	40,3	383	348	10,2
28:1	45,2	109,0	41,1	415	377	10,0
28:2	64,1	148,5	58,2	432	392	10,1
28:3	49,4	120,9	45,0	409	372	9,8
		Medelvärde		436	391	11,3
		Standardavvikelse		42	36	0,9

Skjuvprovning av limfog

Derome Såg AB, Skjuvprovning, BMtP500858

Provad enligt EN 392 050201 av Thomas Claeson, provkroppar numrerade med samma nummer som vid tidigare hållfasthets- styvhetsprovning. Belastningshastighet 6 mm/min.

Prov [nr.]	Last [kN]	Tjocklek [mm]	Bredd [mm]	Skjuvh. [MPa]	Träbrotsandel [%]	Anmärkning
1	17,97	50,0	44,6	8,1	100	Brott utanför fog
2	11,05	50,0	39,6	5,6	80	1)
3	14,68	49,9	39,6	7,4	100	
4	19,93	50,1	44,5	8,9	90	
5	22,34	50,0	44,2	10,1	100	Brott utanför fog
6	19,78	50,3	44,1	8,9	100	
7	17,85	50,0	44,0	8,1	95	
8	14,92	50,1	44,2	6,7	85	
9	15,81	49,7	43,7	7,3	95	
10	17,96	50,0	44,2	8,1	100	
11	17,69	50,0	44,3	8,0	85	
12	9,32	50,0	44,6	4,2	75	2)
13	15,15	50,3	44,5	6,8	100	Brott utanför fog
14	14,4	50,0	44,5	6,5	100	
15	17,36	50,1	44,3	7,8	90	
16	14,88	50,2	43,3	6,8	100	
17	17,61	50,1	44,0	8,0	100	
18	18,14	50,1	44,0	8,2	100	
19	21,31	50,0	44,3	9,6	100	
20	15,03	50,1	44,4	6,8	100	
21	14,87	50,1	39,1	7,6	100	
22	11,13	50,1	39,3	5,7	50	3)
23	10,43	50,1	44,4	4,7	85	
24	19,27	50,0	44,1	8,7	100	Brott utanför fog
25	17,29	50,0	43,5	7,9	95	
26	20,75	50,0	44,1	9,4	100	
27	16,71	50,0	44,5	7,5	100	
28	13,72	49,8	44,0	6,3	100	

Medelvärde 7,5

- 1) Cirka 10 mm av bredden hade dåligt presstryck.
- 2) Dåligt presstryck på cirka 25 % av tvärsnittet.
- 3) Dåligt presstryck på cirka 50 % av tvärsnittet.