

# Träbalkar med sprickor

– förstudie om bärförmåga och hållbarhet





Anna Pousette

# Träbalkar med sprickor

– förstudie om bärförmåga och hållbarhet

# **Abstract**

## **Bearing capacity for timber parts with cracks**

Timber parts with cracks can be found now and then at the inspections of timber bridges. The question is how the bearing capacity should be calculated and judged for these parts, as well as how the cracks will develop under different circumstances. Cracks are a consequence of varying moisture content in the wood, and occur most often when the wood is exposed to sun and rainfall. The bearing capacity of timber is usually not directly affected by small cracks. The cracks have primarily influence on the moisture intrusion in the wood, which in course of time can affect durability and bearing capacity. The resistance of joints in timber structures can also be influenced by cracks in the wood.

Structural parts in timber bridges can be protected against direct sunshine and rain by coverings, but in some bridges the wood is protected with surface treatment. Glulam structures with surface treatments that are exposed to weather often receive cracks on the surface, usually close to the glue lines. The cracks make the treatment less tight, which opens the way for water and fungi. A tight treatment makes it difficult for moisture in the wood to dry, and the influence of different treatments on the development of cracks and durability should also be investigated.

The aim of this pilot project is to study the crack formation in timber parts and influencing factors in order to decide the bearing capacity and durability. The project work consists of a literature study, calculations, tests and evaluations of some beams. The result from the study will be presented in a report. The ambition is to form the basis for a continued more comprehensive research project.

Key words: timber bridge, timber beam, check, crack, fracture.

**SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut**  
SP Swedish National testing and Research Institute

SP Rapport 2006:63  
ISBN 91-85533-56-4  
ISSN 0284-5172  
Skellefteå

# Innehållsförteckning

|   |           |
|---|-----------|
| ABSTRACT.....   | 2         |
| INNEHÅLLSFÖRTECKNING.....                                 | 3         |
| FÖRORD.....   | 4         |
| SAMMANFATTNING.....                                       | 5         |
| <b>1 BAKGRUND .....</b>                                   | <b>7</b>  |
| 1.1 SYFTE.....  | 8         |
| <b>2 LITTERATURSTUDIE .....</b>                           | <b>9</b>  |
| 2.1 SPRICKOR I TRÄBALKAR.....                             | 9         |
| 2.1.1 Trämaterialet .....                                 | 9         |
| 2.1.2 Limträ .....  | 10        |
| 2.1.3 Limträ och utomhusexponering .....                  | 10        |
| 2.1.4 Torksprickor.....                                   | 11        |
| 2.1.5 Teorier för sprickutveckling i träbalkar.....       | 11        |
| 2.2 STORLEK, LÄGE OCH PÅVERKAN PÅ HÅLLFASTHETEN .....     | 12        |
| 2.2.1 Bärförmåga för limträ med ofullständig limning..... | 12        |
| 2.2.2 Skjuvhållfasthet för limträbalkar .....             | 13        |
| 2.2.3 Bedömning av träbjälkar med sprickor.....           | 14        |
| 2.2.4 Bedömning av limträbalkar med sprickor.....         | 16        |
| 2.3 FUKTINTRÄNGNING OCH RISK FÖR RÖTA.....                | 23        |
| 2.4 YTBEHANDLING AV STORA LIMTRÄKONSTRUKTIONER.....       | 23        |
| 2.5 REPARATION AV TRÄBALKAR MED SPRICKOR .....            | 24        |
| <b>3 BERÄKNINGAR .....</b>                                | <b>25</b> |
| 3.1 BERÄKNINGSMETODER .....                               | 25        |
| 3.1.1 Förutsättningar.....                                | 25        |
| 3.2 RESULTAT .....  | 27        |
| <b>4 UNDERSÖKNINGAR OCH PROVNINGAR .....</b>              | <b>29</b> |
| 4.1 NÅGRA EXEMPEL PÅ SPRICKOR PÅ TRÄBROAR .....           | 29        |
| 4.2 FÖRSÖKSPLAN PROVNINGAR .....                          | 31        |
| 4.2.1 Balkar och ytbehandlingar.....                      | 31        |
| 4.2.2 Dokumentation av balkar.....                        | 32        |
| 4.2.3 Mätmetoder.....                                     | 33        |
| 4.2.4 Kompletterande provning med mindre balkbitar .....  | 33        |
| <b>5 SAMMANSTÄLLNING OCH REKOMMENDATIONER.....</b>        | <b>34</b> |
| <b>6 REFERENSER.....</b>                                  | <b>35</b> |

## **Förord**

Vid inspektioner av till exempel träbroar påträffas ibland konstruktionsdelar med sprickor. Den här förstudien har genomförts för att ta reda på hur sprickor kan bedömas vad gäller balkars bärförmåga och hållbarhet. Den har finansierats av Vägverket, och beställts av Christine Eriksson vid sektionen för bro- och tunnelteknik på Vägverket.

## Sammanfattning

Vid inspektioner av till exempel träbroar påträffas ibland konstruktionsdelar med sprickor. Frågeställningarna som då uppkommer är hur stora sprickorna kan vara utan att bärförmågan påverkas, hur sprickorna kommer att utvecklas under olika förhållanden, samt hur de ska bedömas när det gäller konstruktionens återstående livslängd.

Överbelastning kan ge sprickor som leder till brott. De flesta sprickor som uppstår i trä beror dock på varierande fuktkvot i träet, och de uppstår oftast vid exponering för sol och nederbörd. Träkonstruktionernas hållfasthet påverkas i regel inte direkt av dessa mindre sprickor. Sprickorna kan framförallt ha betydelse för fuktinträngning i virket, vilket emellertid med tiden kan påverka beständighet och bärförmåga. Hållfastheten för förband i träkonstruktioner kan också påverkas om trävirket spricker.

Konstruktionsdelar i träbroar kan skyddas mot väderexponering med hjälp av intäckning. Om inte intäckning är möjlig eller önskvärd kan de ges ett visst skydd genom ytbehandling. Ytbehandlade limträkonstruktioner som väderexponeras kan med tiden få ytsprickor, ofta i anslutning till limfogarna, vilket kan medföra att färgskiktet spricker och öppnar vägen för fukt. Med tiden kan det ge upphov till svampangrepp. Om fukt kommer in i träet i en ytbehandlad konstruktionsdel så kan uttorkningen försvåras om ytskiktet är tätt. Det kan påverka sprickbildning och därmed beständigheten.

Syftet med projektet var en förstudie av sprickbildning i träbalkar och påverkande faktorer för att bedöma bärförmåga och livslängd. Målet var att ta fram övergripande underlag för en ökad förståelse för sprickor och spricktillväxt och deras påverkan på träbroars livslängd. Projektarbetet har bestått av litteraturstudie, beräkningar, utvärderingar och planering av provningar av några balkar.

Litteraturstudien visade att det finns stor kunskap om trä och hur sprickor uppstår i trä i olika skeden. Det finns mycket provningar gjorda för att ta fram dimensioneringsvärden för limträ, där man tar hänsyn till balkstorlek och förekommande ”naturliga” sprickor, men det finns vissa oklarheter när det gäller skjuvhållfastheten för limträ. Däremot finns inte mycket beskrivet om hur man ska bedöma sprickor som kan uppkomma under en balks livstid. I USA har limträindustrin tagit fram anvisningar för hur sprickor i pelare och balkar ska bedömas och hur stora sprickor som kan tillåtas utan att kontrollberäkningar av hållfastheten behöver utföras. De ger vissa riktlinjer som kan vara till hjälp vid inspektioner. Det finns få studier om hur ytbehandling påverkar sprickbildning på stora tvärsnitt, och få anvisningar för hur en långsiktig hållbarhet ska beräknas för konstruktionerna.

Beräkningar som genomförts för några typer av balkar visar att genomgående sprickors längd har betydelse för balkarnas styvhet. Beräkningsmodellerna var enkla och inga långtgående slutsatser kan dras, men de visar på möjligheter att ta fram underlag för bedömning av balkar med olika sprickor. Modellerna bör utvecklas och förfinas för att ta hänsyn till fler parametrar, och resultera i tabeller eller liknande där bärförmågan anges för balkar som har sprickor med olika storlek och läge, och som kan vara till stöd för till exempel broinspektörer.

En försöksplan har tagits fram för provning av balkar med olika ytbehandlingar för att studera fuktinträngning och fuktillstånd vid olika klimat, till exempel solig södersida. Planen innehåller beskrivning av provobjekt, planerad dokumentation och mätmetod. Planerade fältförsök har ännu inte startats. Balkarna kommer istället, enligt överenskommelse med Vägverket, att ingå i ett annat större provningsprojekt som SP Träteknik ska starta och rapportera separat under 2007.





# 1 Bakgrund

Beständighet har blivit en allt viktigare aspekt för alla typer av utomhuskonstruktioner eftersom en lång livslängd eftersträvas för att hålla kostnaderna nere. Beständigheten för en produkt eller konstruktion av trä beror bland annat på

- trämateriallets naturliga resistens mot röta
- konstruktionsutformning, t.ex intäckningar, detaljer
- ytbehandlingen
- omgivande klimats fuktighet och temperatur
- annan yttre påverkan som UV-ljus
- mekanisk påverkan, till exempel belastning och påkörning.

Vid inspektioner av broar behövs anvisningar om vilka åtgärder som bör utföras och när i tid det är lämpligast för att nå ett optimalt underhåll. Inspektionsanvisningar för träbroar med allmänna instruktioner för bedömning av träbroar har tidigare tagits fram av SP Träteknik ("Broinspektion – Träbroar", Pousette, Fjellström, 2004, samt "Inspektion av träbroar", Pousette et.al., 2002).

Vid inspektioner av träbroar påträffas ofta konstruktionsdelar med sprickor. För bärande träkonstruktioner i utomhusmiljö, till exempel brobalkar, är det viktigt att kunna avgöra hur sprickorna påverkar konstruktionen. Frågeställningarna är hur bärförmågan ska beräknas och bedömas, samt hur sprickorna kommer att utvecklas under olika förhållanden. Bedömningen påverkas av bland annat sprickornas storlek och läge samt belastningen på konstruktionen. Hållfastheten för förband i träkonstruktioner kan också påverkas om trävirket spricker. Det skulle underlätta för inspektörer om det fanns gränsvärden för olika typer av sprickor på olika konstruktionsdelar och för olika förhållanden.

Storleken på sprickor kan anges med bredd, längd och djup. En viss mängd mindre sprickor finns naturligt i trä och limträ. Vid hållfasthetssortering av konstruktionsvirke beaktas inte sprickbredder mindre än en millimeter enligt SS-EN 518. För bredare sprickor finns begränsningar av hur långa de får vara för olika hållfasthetsklasser. Vid tillverkning av limträ enligt SS-EN 386 kontrolleras delaminering, som innebär uppsprickning i själva limfogarna, se vidare i kapitel 2.1.2.

Sprickor i trä är vanligen en följd av varierande fuktkvot i träet som uppstår vid exponering för sol och nederbörd. Träkonstruktionernas hållfasthet påverkas i regel inte direkt av mindre sprickor. Mindre sprickor har framförallt betydelse för fuktinträngen i virket. Det kan med tiden påverka beständighet och bärförmåga eftersom fukten kan ge röta om den inte har möjlighet att torka ut. Röta orsakas av att rötsvampar växer in i träet. De använder vissa ämnen, till exempel cellulosa, som näring för tillväxten och bryter därmed ned vedcellerna eller bindningen mellan cellerna. Rötskadat trä får därför en nedsatt hållfasthet när cellerna skadas. En förutsättning för rötsvamparnas tillväxt är fuktigt virke med fuktkvot på mer än 20 % samt temperatur mellan 0°C och 25 °C.

Konstruktionsdelar i träbroar kan skyddas mot väderexponering med hjälp av intäckning, men i en del broar skyddas virket med ytbehandling. Typen av ytbehandling har betydelse genom att limträ som väderexponeras med tiden kan få ytsprickor, ofta i anslutning till limfogarna. Om färgskiktet spricker så att det inte längre är tätt, så öppnas vägen för fukt och svampangrepp. Om fukt kommer in i träet kan uttorkningen försvåras om det finns ett tätt ytskikt och därmed kan beständigheten påverkas.

I flera andra länder, bland annat USA, har moderna träbroar byggts under en längre tid, och ett flertal projekt om inspektion av träbroar har genomförts. Ritter (1990) ger anvisningar för

inspektioner och lagningar av träbroar med metoder anpassade till förhållandena i USA, där broarna inte täcks in eller målas, utan framförallt skyddas med impregnering med kreosot.

Hur sprickutveckling sker i trä för olika belastningar och konstruktioner har under lång tid undersökts med provningar och teoretiska beräkningsmodeller. Syftet har framförallt varit att hitta bra lösningar för att undvika sprickor och få hållbara konstruktioner. Mekanismer för träets uppfuktning och uttorkning, till exempel kapillärkrafter och diffusion, samt fuktens påverkan på träegenskaper är väl kända. Olika ytbehandlingar för trä och deras livslängd och skador har studerats i många projekt, men framförallt med utgångspunkt från träfasader av bräder på hus. För utomhuskonstruktioner av grova dimensioner saknas studier av olika ytbehandlingssystemens påverkan på fuktupptagning och speciellt om det förekommer sprickor och risk för röta.

## 1.1 Syfte

Projektet är en förstudie av sprickbildning i träbalkar och påverkande faktorer för att bedöma bärförmåga och livslängd. Genom att studera olika faktorer som material, fuktförhållanden, ytbehandling mm undersöks möjligheten att utgående från bland annat uppsprickning, konstruktion, belastning, miljöpåverkan förutsäga en konstruktions återstående livslängd.

Målet är att ta fram övergripande underlag för en ökad förståelse för sprickor och spricktillväxt och deras påverkan på träbroars livslängd, samt inom vilka områden det finns behov av ökad kunskap. Det ska ge riktlinjer för att bestämma fortsatt arbete inom området, och hur fördjupade studier ska utföras. Kommande arbeten förväntas ge rekommendationer för konstruktion, inspektion och underhåll, samt beräkningsmodeller för simuleringar.

Resultatet ska vara ett stöd för till exempel broinspektörer vid undersökning och bedömning av träbroar. Det kan ge bättre och effektivare inspektioner av träbroar, och säkrare underlag för framtida åtgärder vilket kan säkra broarnas livslängd. Det kan också ge information till projektörer om hur träbroar bör utformas och byggas för att bli hållbara. Mer kunskap om hur träbroar utvecklas under olika förhållanden kan även medföra att träbroar kan bli ett alternativ på fler platser.

Projektet har fokuserats kring tre huvudområden, sprickors storlek och läge och påverkan på hållfastheten, fuktinträning och risk för röta, samt ytbehandlingens påverkan på fuktillståndet i stora limträkonstruktioner. Arbetet har bestått av litteraturstudier av existerande kunskap inom området, beräkningar av balkar med sprickor, provning av balkar med olika ytbehandlingar, samt sammanställning, utvärdering och rekommendationer.

## 2 Litteraturstudie

### 2.1 Sprickor i träbalkar

Sprickor i trä kan bildas

- redan under trädets tillväxt
- vid fällningen
- under sågnings-torkningsprocessen till plank och bräder
- vid tillverkning av träprodukter, till exempel dålig limning mellan bräder i limträbalk
- vid konstruktion, till exempel spikning för nära änden
- under användningstiden vid påverkan av yttre fuktvariation
- under användningstiden vid överbelastning som ger brott i fibrer

#### 2.1.1 Trämaterialet

Träets densitet påverkar materialets hållfasthet och hårdhet, samt krympning och svällning mm. Hållfastheten är generellt sett hög i förhållande till vikten jämfört med andra material. Trämaterialet är inte homogent eftersom träden är uppbyggda av vedceller orienterade i längsriktningen och dessutom innehåller hartskanaler och kvistar mm i olika riktningar. Tillväxtstörningar av olika slag kan leda till spänningar, sprickor, kådlåpor och reaktionsved. Liksom kvistar är dessa störningar naturliga variationer i virket.

Materialet är hygroskopiskt, det vill säga det kan ta upp och avge fukt. Över fibermättnadspunkten, ca 30 % fuktkvot, varken krymper eller sväller trä när fuktkvoten ändras. Under fibermättnadspunkten krymper trä när fuktkvoten minskar, och sväller när fuktkvoten ökar. Rörelserna är proportionella mot fuktkvotens förändring. Fuktrörelserna är dock olika stora i olika riktningar, tangentiellt dubbelt så stor som radiellt, som i sin tur är mer än 10 gånger större än i längdriktningen. Gran och furu har ungefär lika stora fuktrörelser. Träkonstruktioner och träprodukter ska alltid utformas med hänsyn till virkets fuktrörelser.

Fukttinnehållet i virket påverkar i hög grad de mekaniska egenskaperna. En ökning av fuktkvoten innebär att hållfasthet och styvhet minskar, vilket man i dimensioneringsnormer tar hänsyn till genom reduktionsfaktorer för olika klimatklasser. Fuktvariationer över fibermättnadspunkten, det vill säga över cirka 30 %, har ingen effekt på de mekaniska egenskaperna. Effekten av fuktförändringar varierar för olika mekaniska egenskaper. Generellt gäller att tryckhållfastheten är mer känslig för fuktändringar än draghållfastheten.

Sprickbildning vid ytan när fuktkvoten minskar till följd av uttorkning är en naturlig egenskap för trä. De yttre fibrerna förlorar fukt till omgivningen och krymper, medan de inre fibrerna förlorar fukt i långsammare takt. Skillnaderna i krympning gör att virket spricker. Snabb uttorkning ökar skillnaderna i fuktkvot och därmed sprickbenägenheten. Vid jämvikt stabiliseras sprickprocessen.

Enligt Virkesmättningsrådet (1999) för sågat virke skiljer man på olika sprickor, det vill säga isärdragningar av fibrer.

- Märgspricka är radiell ändspricka som börjar vid märgen.
- Ringspricka är spricka som följer en årsring.
- Växtspricka är icke radiell spricka hos växande träd, som ofta förekommer mellan tätvuxen ved och ved med breda årsringar, och tillåts inte vid virkesmätningen.

## 2.1.2 Limträ

Jämfört med vanliga träbjälkar är limträbalkar mer formstabila, har högre hållfasthet och finns i större dimensioner. Limträ tillverkas industriellt av trälameller som limmas mot varandra under kontrollerade former till stora konstruktionselement. Med hjälp av fingerskarvning av lamellerna kan stora längder tillverkas. Limträ tillverkning kräver stor noggrannhet vid fingerskarvning, limmets beredning och applicering, samt presstryck och presstid.

Limträ har normalt färre sprickor än solitt trä eftersom de individuella lamellerna har torkats innan de limmas ihop. Limträ har normalt en leveransfuktkvot på ca 12 %, vilket är ganska nära fuktkvoten i inomhusklimat.

Enligt APA (2006) ska torksprickor i virket inte blandas ihop med delaminering, som är separation av lamellerna i limfogen, och inte i trämaterialiet. Delaminering inträffar när själva limfogen inte klarar fuktrörelserna. Vid delaminering har sprickan släta sidor och ofta den mörka färgen av fenol-resorcinol-limmet. Vid ljusare limtyper kan det vara svårare att verifiera frånvaro av träfibrer i sprickytona.

Normernas hållfasthetsvärden utgår från att det finns en viss mängd sprickor och delamineringar i limträbalkarna, se även nedan under avsnitt 2.2.2 om skjuvhållfasthet och avsnitt 2.2.4 om bedömning av hållfasthet.

För att säkerställa en jämn kvalitet vid limträ tillverkning tas provkroppar regelbundet ut för kontroll. Hur mycket delaminering som tillåts för limträ beskrivs i SS-EN 386, där det hänvisas till provmetoder enligt SS-EN 391. Man testar limfogarna i ett helt tvärsnitt, som kapas från en tillverkad balk. Enligt den vanligen använda provmetoden genomgår proven en eller två testcykler. Tillåten delaminering är 4 % efter första cykeln och 8 % efter en eventuell andra cykel, som genomförs om inte kravet för den första uppfylls. Delamineringen mäts som delamineringslängd i förhållande till total limfog i tvärsnittet. Varje testcykel består av en uppfuktning i vatten och snabb torkning vid hög temperatur, en slags åldringsprocess som ger spänningar vid limfogarna som kan orsaka sprickor i limfogarna eller i träet. De flesta limträbalkar som kontrolleras klarar gränsen 4 % efter första cykeln. Ca 15-20 % av balkarna har en delaminering på mer än 4 %, och testas även med en andra testcykel. I allmänhet får dessa balkar sedan en delaminering under 8 % efter den andra cykeln, vilket är godkänt.

## 2.1.3 Limträ och utomhusexponering

Enligt Limträhandbok (2001):

- De viktigaste nedbrytande faktorerna vid utomhusexponering är solstrålning, nederbörd och markfukt.
- En obehandlad träyta eller bristfälligt underhållen ytbehandling kan bli fuktig av nederbörd, smältvatten eller stänkvatten, vilket kan leda till missfärgning och sprickbildning. Långvarig uppfuktning över fibermättnad ger röta. Limträ som är obehandlat eller som har ytbehandlats med en färglös olja eller klarlack blir grått efter en tids utomhusexponering.
- Växlingar mellan regn och solsken innebär stora påfrestningar för ytbehandling och trä. Vid solbelysning kan en yta snabbt få hög temperatur - mörka ytor kan nå uppemot 70 grader. Det ger kraftig uttorkning och rörelser i ytan med risk för att träet och eventuell filmbildande ytbehandling successivt börjar spricka.

Enligt Limträhandbok (2001) är mindre sprickor, så kallade torksprickor, i allmänhet så små och ytliga att de inte utgör någon större olägenhet. Större sprickor däremot ger vatten möjlighet att snabbt tränga in i limträets inre delar. De utgör också fukthållande skräp och smuts som kan påskynda angrepp av mögel eller röta. Särskilt på horisontella ytor och i stora sprickor där vatten kan bli stående är risken stor för röta. Sprickor som uppstått bör fyllas med lämpligt material för att förhindra fortsatt sprickbildning.

Med hjälp av rätt byggnadsutformning och byggnadsteknik kan långvarig uppfuktning minimeras. Ändträytor suger fukt 20 gånger snabbare än övriga träytor och exponerade ändträytor och översidor måste i regel förses med en ventilerad beklädnad, av t ex plåt. Om det inte är möjligt ska de behandlas med ett fuktskydd, t ex penetrerande olja.

### **2.1.4 Torksprickor**

Enligt Trätorkning (1988) torkas trävirke, plank och bräder, för att få en lämplig fuktnivå för användning i konstruktioner. Om trä torkas för hårt kan det ge ytsprickor, ändsprickor eller inre sprickor.

- Ytsprickor orsakas av för hård torkning under den inledande torkfasen. Sprickorna uppkommer då ytan torkats alltför mycket i förhållande till den fuktigare kärnan. Spänningar bildas i träet när ytan vill krympa men hindras av kärnan. När spänningarna överstiger virkets hållfasthet spricker det. Ytsprickorna kan sedan stängas och bli svårare att upptäcka under senare delen av torkningen, men de finns kvar och kan orsaka problem vid användning av virket, särskilt vid ytbehandling eftersom vid framtida uttorkning kommer de att öppnas igen vilket kan medföra att ytbehandlingen spricker.
- Ändsprickor uppkommer vanligen på ändytor av virket och tränger ofta in från några millimeter till flera decimeter. Sprickorna orsakas av att virket torkar mycket snabbare längs fibrerna än tvärs fibrerna.
- Inre sprickor uppkommer under den senare delen av torkprocessen om virket torkats så fort under den inledande torkningen att ytan inte hunnit krympa. När sedan virkets kärna vill krympa under den senare delen av torkprocessen hindras den av ytan. Dragspänningar bildas då som kan orsaka inre sprickor.

Hållfasthetssortering av konstruktionsvirke sker efter torkningen och då beaktas oftast inte sprickbredder mindre än 1 millimeter, och spricklängder mindre än halva virkeslängden.

### **2.1.5 Teorier för sprickutveckling i träbalkar**

Enligt Bodig och Jayne (1982) beskrivs sprickutvecklingen med fyra faser; molekylrörelser, sprickbildning, sprickutveckling och till slut brott eller avslutad sprickutveckling. När en spricka har bildats erhålls spänningskoncentrationer vid sprickans ändar, och om belastningen är tillräckligt stor får man en sprickutveckling från sprickans ände.

När sprickor har bildats är det intressanta att veta hur stor last som behövs för att sprickan ska utvecklas vidare. Det finns flera teorier som används för att beräkna sprickutveckling. Griffiths kriterium anger vilken minsta längd på sprickan som erfordras för att sprickan ska utvecklas vidare, och den beror på E-modulen, sprickkraften och dragspänningen. Sprickkraften motsvarar den energi som frigörs när sprickan får större yta. En faktor kallad spänningsintensitetsfaktorn ( $K$ ) beror av sprickkraften och E-modulen, och kan även beräknas utifrån spänningen och spricklängden samt en faktor för geometri, sprickans läge och lasten.

Sprickbildning i material beskrivs med olika moder, mod 1 är öppning, dvs materialet dras isär vid sprickan, mod 2 är att materialet skjivas längs en spricka och mod 3 är skjuvning tvärs sprickan.

## 2.2 Storlek, läge och påverkan på hållfastheten

Enligt Bodig och Jayne (1982) är det störst risk för torksprickor vid balkändarna där också skjuvspänningarna är störst vid upplagen med maximala värdet i neutrala lagret. För träbalkar anses dock att skjuvspänningarna i regel är låga och sprickorna därför inte är kritiska. Men det beror också på spännvidd.

Torksprickor delar virket tvärs fibrerna och kan därför reducera styvhet och bärförmåga. Draghållfastheten längs fibrerna påverkas inte av sprickorna. Däremot vid tryckbelastning kan kraftigt sprucket trä fungera som sammansatt av flera konstruktionsdelar, vardera med lägre slankhet än en hel balk, och bärligheten kan reduceras kraftigt.

Sprickans läge och orientering är kritisk för bedömningen av dess inverkan på bärligheten. Påverkan beror på närheten till och hur nära riktningen sammanfaller med neutrala lagret. Om sprickan sammanfaller med neutrala lagret minskar skjuvhållfastheten och tröghetsmomentet väsentligt. Tröghetsmomentet för ett rektangulärt tvärsnitt är  $I=bh^3/12$ , men vid en helt genomsprucken balk vid neutrala lagret blir det istället  $I=2*(b*(h/2)^3/12)=bh^3/48$ , det vill säga en fjärdedel av det ursprungliga värdet. Det ger betydligt större nedböjning och lägre bärförmåga.

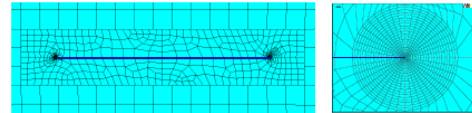
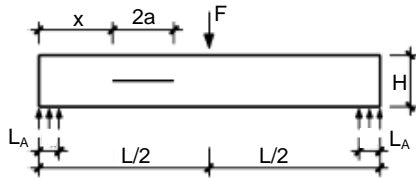
Det är dock sällan som sprickorna går igenom hela tvärsnittet. En balk med en spricka genom en del av tvärsnittet på ena sidan analyseras ibland som tre balkar, två delar på spruckna sidan och en del på ospruckna sidan. Det är också vanligast med sprickor nära ändarna och då påverkas inte böjfastheten nämnvärt. Det är inte heller vanligt att sprickorna förekommer vid neutrala lagret, utan hellre en bit ovanför eller nedanför och med en riktning diagonalt mot neutrala lagret. Slutsatsen blir att sprickorna bara i undantagsfall har inverkan på bärligheten, och de måste i så fall vara relativt stora och ha en kritisk placering.

### 2.2.1 Bärförmåga för limträ med ofullständig limning

Enligt Kessel och Guenther (2006) kan ofullständig limning förekomma på vissa ställen i en limträbalk trots väldefinierade krav på limträtillverkning. Ofullständig limning mellan lamellerna motsvarar sprickor mellan lamellerna. För att undersöka hur en bristfällig limning kan påverka balkarnas bärförmåga studerade man olika geometriers och hållfasthetsparametrars inverkan.

Felaktig limning mellan lamellerna har betydelse för tvärdragsspänningar men även skjuvspänningar vilka framförallt har betydelse för korta balkar. I artikeln beskrivs beräkningar med FE-programmet ANSYS av en tvådimensionell modell av en tvåstödsbalk. Balken delas in i flera delar och beräknas med kvadratiska element, samt en finare elementindelning med triangulära element vid sprickan för att få fram spänningar vid sprickans ändar. En känslighetsanalys genomfördes för olika variabler: punktlastens storlek, längden på sprickan, avstånd till balkände, balkens geometri, balkens styvhet och Poisson's tal.

Beräkningarna visade att sprickor vid änden var mycket allvarligare för sprickutvecklingen än sprickor en bit från änden. Balkens styvhet hade mycket mindre inverkan på sprickutvecklingen än en ökning av last eller spricklängd, vilka hade en tydlig inverkan på sprickintensitetsfaktorn  $K$ . Fortsatta studier ska även ta hänsyn till friktion i sprickan, olika lastställningar, sammanlagda inverkan av flera områden med sprickor och statistiska beräkningar ska utföras för olika områden med sprickor. Det ska resultera i tabeller och diagram för dimensionering.



a) hela sprickområdet      b) högra sprickspetsen

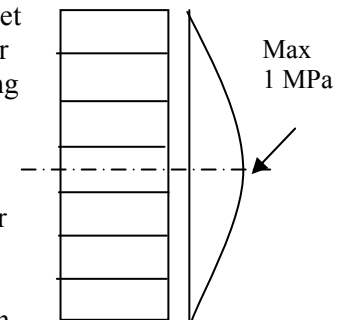
Simulering av böjbelastad balk med punktlast  $F$

Exempel på modell

## 2.2.2 Skjuvhållfasthet för limträbalkar

Klapp och Brüninghoff (2005) menar att man inte har kunnat visa att skjuvhållfastheten beror av lamellernas draghållfasthet, så i tysk standard är värdet konstant  $3,5 \text{ N/mm}^2$ . De flesta tester är utförda på små balkar. Osäkerheten när det gäller skjuvhållfasthet samt några nyligen inträffade olyckor där limträkonstruktioner rasat har lett till mer forskning inom området. Eftersom stora serier med fullstora balkar är kostsamma vad gäller resurser och arbete, så valdes en simuleringsmodell med varierande materialegenskaper. Modellen baserades på att limträbalkarnas egenskaper beror på lamellernas egenskaper, på deras skjuvhållfasthet. Sprött brott antas genom att brott anges när lamellernas skjuvhållfasthet har överskridits. Rätt skjuvhållfasthet för lamellerna krävs då, och den beror enligt tidigare tester på densitet, men inte på kvistar och inte heller skjuvhållfasthet för lamellerna. Tester på lameller gav medelvärde  $3,5 \text{ N/mm}^2$  och 5 % -kvartil på  $3,8 \text{ N/mm}^2$ .

Tvärsektionen hade 35 mm lameller med slumpvis vald skjuvhållfasthet från en normalfördelning. Skjuvspänningen beräknades i tvärsnittet för varje lamell utifrån maxvärde på  $1 \text{ N/mm}^2$  vid neutrala lagret. Spänning och hållfasthet jämfördes och angav var brott inträffar. I modellen ingick tvärsnittshöjden men inte balklängden. Man gjorde många beräkningar och fick fram samband mellan hållfasthet och balkhöjd. Beräkningarna jämfördes med tester av Schickhofer (2001) av I-balkar med trepunktstest. Tvärsnittet valdes för att få skjuvbrott och inte böjbrott. Skjuvbrottet kom alltid i flänsen. En lamell kan vara fingerskarvad av flera bräder med olika egenskaper. Därför måste även längden tas med. Brädernas längd valdes slumpmässigt från kapade och ej kapade bräder, med och utan kvistar och defekter. Resultatet jämfördes med tidigare beräkningar och skillnaderna var små. De testade balkarna var bara 3 m långa. Resultatet var att volymen har betydelse för skjuvhållfastheten. Eventuellt överskattar Eurocode skjuvhållfastheten som skulle behöva reduceras med en faktor som beror av höjd och längd om man utgår från en referensbalk med höjd 600 mm och längd 6 m.



En kommentar till studien var att man funnit en minskning av skjuvhållfastheten när draghållfastheten ökade, och att mikro- och makropåverkan av defekter som årsringar och kvistar kan påverka skjuvhållfastheten. För limträ bör man därför inte använda små felfria provkroppar. Metod enligt EN 408 användes, och brottet kom vid limfogarna. Även skjuvhållfasthet vid balkände borde undersökas eftersom balken där kan påverkas av

torksprickor. En annan kommentar var att i Kanada ingår reducering av skjuvhållfastheten vid större tvärsnitt.

Schickhofer (2001) har undersökt limträbalkars skjuvhållfasthet vid böjbelastning. Ett I-tvärsnitt med bredare flänsar studerades. Visuellt och maskinellt hållfasthets sorterade lameller användes i olika konfigurationer, och balkarna testades med centrisk last för enkelspänd balk och med centrisk last för kontinuerlig balk med två spann. Balkarna hade höjd/längd-förhållande 5:1, och två typer med 320 mm och 608 mm höjd testades. Resultatet var att skjuvhållfastheten snarare minskade med ökad lamellhållfasthet, till skillnad mot EN-standard där det motsatta används. Resultatet förklarades med att lameller med lägre hållfasthet har mer kvistar, och att kvistarna kan ha en gynnsam effekt på skjuvhållfastheten genom att verka som dymlingar och hålla ihop balken. Rekommendationen blev att en konstant skjuvhållfasthet för alla hållfasthetsklasser på  $3,5 \text{ N/mm}^2$  bör användas. En kommentar till provningen var att det finns en annan enkel, standardiserad testmetod.

Yeh och Williamson (2001) från USA testade limträbalkar för att ta reda på skjuvhållfastheten. De beskriver att när tillåten skjuvspänning bestäms ska man även beakta de sprickor som kan uppkomma under balkens livslängd. Limträindustrin i USA tillämpar till exempel 10 % reduktion av skjuvhållfastheten. Oftast uppkommer sprickor vid nedersta lamellen som har störst exponerad yta, men där är skjuvspänningen för ett rektangulärt tvärsnitt lägre än vid neutrala lagret. Därför borde sprickor djupare än 10 % av tvärsnittet kunna tillåtas vid nedersta limfogen. Torksprickor, som det här är fråga om, uppkommer också oftast i radiella riktningen, vilket inte är samma som skjuvytan som oftast följer årsringarna. Därför anser man att 10 % reducering för sprickor är konservativ. De föreslår högre tillåtna värden på skjuvhållfastheten, men anger att de inte utvärderat stöt- och cyklisk last, som kan uppkomma på till exempel broar, och där bör de lägre värdena användas tills vidare.

### 2.2.3 Bedömning av träbjälkar med sprickor

Colorado Department of Transportation (2002) använder ett dataprogram för att beräkna träbroars bärighet och klassning, som gäller för trä och trädäck, men inte limträ mm. Vid kontrollberäkningar bestäms ett effektivt tvärsnitt för träbalken, som beror på olika typer av sprickor och skador som förekommer. Här redovisas deras figurer med de engelska benämningarna.

- En skadad balk med virket helt sprucket och separerat, minst  $\frac{1}{4}$  av balkbredden anses inte ha någon bärighet.

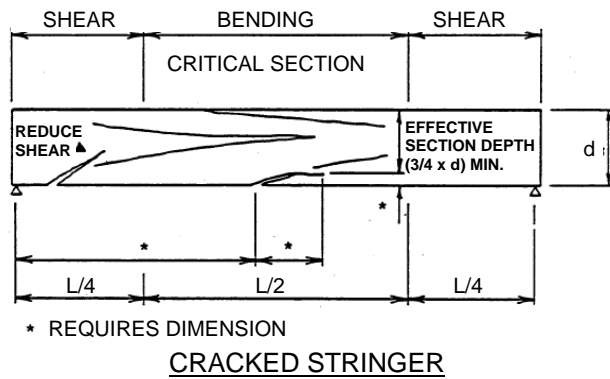


BROKEN STRINGER

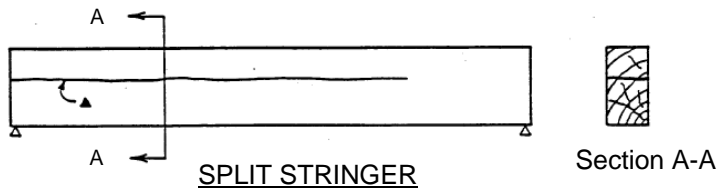
- En sprucken balk med sprickor helt igenom balken i riktning tvärs balkens längdriktning, men vertikalt max  $\frac{1}{4}$  av bredden klassas beroende på sprickans läge i balken. Inom  $\frac{1}{4}$  av spännvidden från upplaget beräknas bärigheten för skjuvspänningen. I mitthalvan av



spännvidden beräknas ett effektivt reducerat tvärsnitt för beräkning av momentkapacitet.

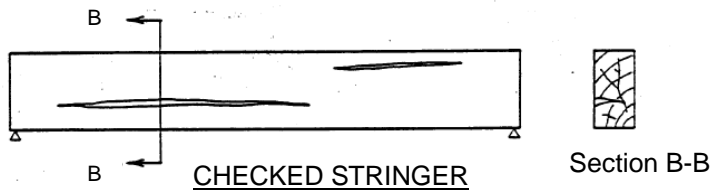


- En spricka som går helt igenom och klyver balken längs hela eller delar av spännvidden reducerar inte momentkapaciteten.

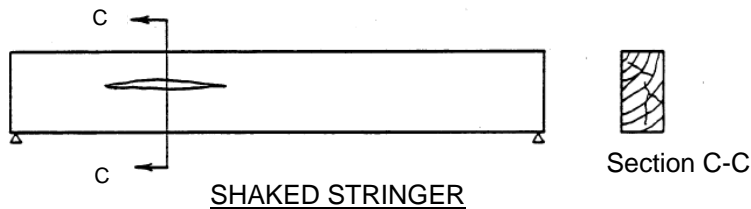


▲ Use allowable shear value ( $F_v$ ) without 1.33 increase in these areas.

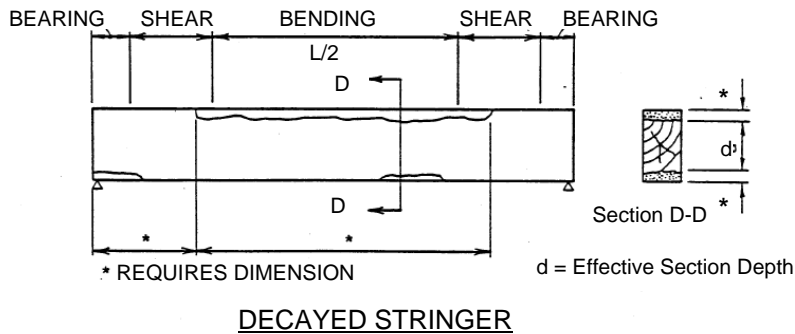
- Torksprickor längs fibrerna och tvärs årsringarna som finns på ena eller båda sidorna av en balk antas inte reducera bärförmågan för balken.



- Växtspricka från trädets tillväxt kan misstas för små sprickor från torkning. De antas inte påverka bärrigheten.

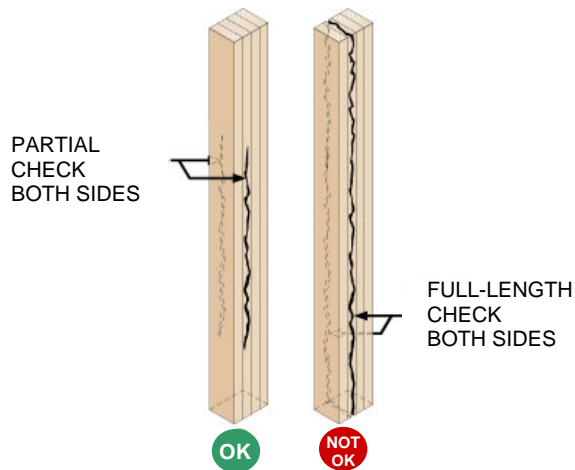


- Röta kan minska balkens bärrighet, och ett reducerat tvärsnitt ska användas för att beräkna skjuv- och böjmomentkapaciteten.



## 2.2.4 Bedömning av limträbalkar med sprickor

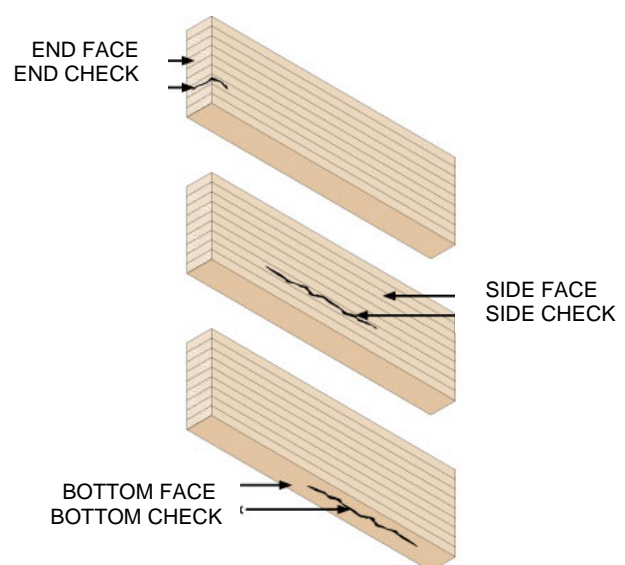
Enligt APA (2006) ska man identifiera sprickor parallellt med fibrerna. Torksprickor finns ofta nära limfogarna, oftast vid yttre lamellen, vilken har mest exponerad yta och får största uttorkningen. Här redovisas deras figurer med de engelska benämningarna.



Påverkar sprickorna limträns hållfasthet? Limträkomponentens användning har betydelse för sprickans inverkan på hållfastheten. För pelare och stolpar har sprickorna bara betydelse om de finns längs hela längden och är genomgående. Det är mycket ovanligt att det inträffar. Slankheten (förhållandet  $L/d$ ) för pelare kommer att ändras och måste kontrollberäknas. En spricka utefter en del av längden påverkar däremot inte hållfastheten.

Sprickor i balkar uppträder oftast vid änden, på sidorna eller på undersidan av den nedersta lamellen.

- Ändsprickor med en längd mindre än halva balkhöjden har inte någon inverkan på hållfastheten enligt tester.
- Sidosprickor som inte är större än en tredjedel av balkbredden och en tredjedel av balklängden har försumbar inverkan på hållfastheten enligt tester vid APA Research Center. Sidosprickor kan finnas på vilken höjd som helst av balken.
- Sprickor på undersidan som är parallella med fiberriktningen anses inte ha betydelse för hållfastheten, även om de går igenom hela den yttre lamellen.



Om spännvidden är mindre än 10 gånger höjden gäller ovanstående sprickbegränsningar för att balken ska klara utbredd last för ett eller flera spann. Om sprickorna inte begränsas enligt ovan eller om balkens spännvidd är större än 10 gånger balkhöjden bör den spruckna balken kontrollberäknas.

För att undvika sprickor bör balkarna inte utsättas för extrem kyla eller fukt under transport, lagring och installation. Efter inbyggnad bör limträbalkarna ha möjlighet att långsamt anpassa sig till det omgivande klimatet. Ytbehandling kan också bidra till minskat fuktutbyte med omgivningen.

Enligt APA Technical Note (2001) inträffar sprickor i lamellerna vanligen parallellt med fiberriktningen och följer fibrerna runt kvistar. Sprickorna i träet uppvisar trasiga träfibrer på båda sidorna av sprickytorna. Även om sprickorna ofta uppträder längs limfogarna ska de inte blandas ihop med delaminering som uppkommer när limfogen inte håller.

Sprickor på undersidan av en balk har ingen betydelse om balken belastas på högkant. Sprickor på sidorna kan ha betydelse om de är djupa och finns vid mitten av balkhöjden vid upplag eller om det är långa sprickor som är genomgående och startar vid balkändan. För enkelspända balkar är den skjuvkänsliga zonen tre gånger höjden in från upplag och i mittersta balkdelen  $h/2$ . För kontinuerliga balkar är det en kritisk zon även vid inre upplag. Sprickor utanför dessa zoner kan vara större än de inom zonerna utan att det påverkar hållfastheten.

Om limträbalkar ska placeras i väldigt torra utrymmen bör det anges vid tillverkningen för att få en lämplig fuktkvot anpassad till användningen, så att balken inte krymper och spricker efter installation.

Enligt APA Technical Note (1999) sväller och krymper trä när det upptar eller avger fukt när omgivningens fuktighet och temperatur ändras. Om fuktskillnaden mellan det inre och ytan är tillräckligt stor kan de interna spänningarna som uppstår bli så stora att dragspänningarna tvärs fibrerna medför att virket spricker tvärs årsringarna. I stora sågade balkar är detta ett tydligt fenomen. I limträ är de individuella lamellerna relativt tunna och torkar därför mer lika över hela tvärsnittet. Maximalt får lamellerna ha 16 % fuktkvot vid limningen. Limträ har därför färre sprickor än sågat trä. Torksprickor i virket ska skiljas från delaminering i limförbanden. Delaminering kan uppstå i vilken limfog som helst, medan torksprickor vanligen förekommer nära eller vid den yttersta limfogen, på grund av klimatets påverkan på den yttre lamellens stora exponerade yta.

För böjbelastade konstruktionsdelar anges att sprickorna i regel bara påverkar den horisontella skjuvkapaciteten, och i regel inte har någon betydelse utanför den skjuvkritiska zonen. Böj- och dragspänningar är i stort opåverkade. Den skjuvkritiska zonen definieras som området vid upplagen med längden tre gånger balkhöjden och halva balkhöjden vid balkmitt.

Skjuvvärden för limträ enligt amerikanska standarder ASTM ansågs av APA vara konservativa. Därför utförde man provningar. Baserat på dessa provningar av APA av fullstora balkar har nya värden tagits fram. De är 1,25-1,35 gånger högre än tidigare värden. De gäller för rektangulära tvärsnitt och typiska belastningar på byggnader, som egentygnd, snö, vind och jordbävning. Värden från provningar har reducerats med 10 % för att ta hänsyn till viss uppsprickning av balkarna. Det tillåter torksprickor upp till 10 % av balkbredden, även inom det skjuvkritiska området. Om konstruktören är säker på att inga sprickor kommer att uppstå i den skjuvkritiska zonen kan hållfasthetsvärdena ökas med 10 %.

Man räknar med två typer av sprickor, sido- och ändsprickor.

- Sidosprikkors storlek är medeldjupet vinkelrätt mot balken sida.
- Ändsprickor går igenom hela balktvärsnittet vid änden. Storleken är en tredjedel av medelvärdet av längden mätt på båda sidor av balken.

Tillåten storlek för sprickor i skjuvzonen kan beräknas med ekvation 1 och 2.

Resultat av beräkning av tillåtna sprickstorlekar anges i tabeller.

Ekvation 1:

Tillåten sprickstorlek för sidosprickor (djup) i den skjuvkritiska zonen = balkbredden $\cdot$ 0,10

Ekvation 2:

Tillåten sprickstorlek för ändsprickor (längd) i den skjuvkritiska zonen = balkbredden $\cdot$ 0,10 $\cdot$ 3

Tabell. Tillåten sprickstorlek i skjuvzonen enligt APA (1999), ursprungligen i inches (men här även omräknat till mm).

| Balkbredd                     |         | Sidosprickor (djup)           |        | Ändsprickor (längd)           |        |
|-------------------------------|---------|-------------------------------|--------|-------------------------------|--------|
| in.                           | (mm)    | in.                           | (mm)   | in.                           | (mm)   |
| 2½                            | (63,5)  | ¼                             | (6,3)  | ¾                             | (19)   |
| 3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> | (79,4)  | ¾                             | (9,5)  | 1                             | (25,4) |
| 3½                            | (88,9)  | ¾                             | (9,5)  | 1                             | (25,4) |
| 5 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> | (130,1) | ½                             | (12,7) | 1½                            | (38,1) |
| 6¾                            | (171,4) | 5/8                           | (15,8) | 2                             | (50,8) |
| 8¾                            | (222,2) | 7/8                           | (22,2) | 2 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> | (66,7) |
| 10¾                           | (273,0) | 1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> | (28,6) | 3¼                            | (82,5) |

Tabell. Tillåten sprickstorlek i skjuvzonen för svenska dimensioner på limträbalkar, beräknat enligt APA (1999)

| Balkbredd | Sidosprickor (djup) | Ändsprickor (längd) |
|-----------|---------------------|---------------------|
| mm        | mm                  | mm                  |
| 42        | 4,2                 | 12,6                |
| 56        | 5,6                 | 16,8                |
| 66        | 6,6                 | 19,8                |
| 78        | 7,8                 | 23,4                |
| 90        | 9,0                 | 27,0                |
| 115       | 11,5                | 34,5                |
| 140       | 14,0                | 42,0                |
| 165       | 16,5                | 49,5                |
| 190       | 19,0                | 57,0                |
| 215       | 21,5                | 64,5                |

Utanför den skjuvkritiska zonen kan sprickstorleken bestämmas i linjär proportion till skjuvspänningens fördelning. Generellt ökar tillåten sprickstorlek med avståndet från balkmitt.

Ekvation 3:

Tillåten sprickstorlek för sidosprickor (djup) utanför skjuvkritiska zonen = balkbredden $\cdot$ C

Ekvation 4:

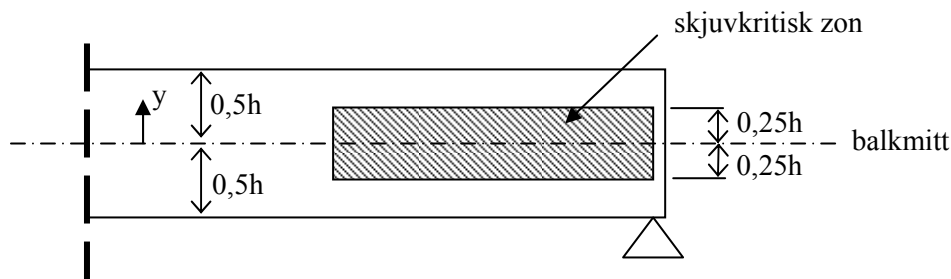
Tillåten sprickstorlek för ändsprickor (längd) utanför skjuvkritiska zonen = balkbredden $\cdot$ C $\cdot$ 3

där

$$C = 3,6 \cdot (y/h) - 0,8 \leq 0,85$$

h = balkhöjd

y = avstånd från balkmitt,  $0,25h \leq y \leq 0,5h$



Tabell. Tillåten sprickstorlek för sidosprickor utanför skjuvzonen enligt APA (1999), ursprungligen i inches men här omräknat till mm.

| Balkbredd | Sida (djup) |          |          |          |
|-----------|-------------|----------|----------|----------|
|           | y/h=0,30    | y/h=0,35 | y/h=0,40 | y/h=0,45 |
| mm        | mm          | mm       | mm       | mm       |
| 63,5      | 19          | 28,6     | 41,2     | 50,8     |
| 79,4      | 22,2        | 38,1     | 50,8     | 66,7     |
| 88,9      | 25,4        | 41,2     | 57,2     | 73,0     |
| 130,1     | 34,9        | 60,3     | 82,5     | 107,9    |
| 171,4     | 47,6        | 79,4     | 111,1    | 139,7    |
| 222,2     | 63,5        | 101,6    | 142,9    | 180,9    |
| 273,0     | 76,2        | 127,0    | 174,6    | 225,4    |

Tabell. Tillåten sprickstorlek för ändsprickor utanför skjuvzonen enligt APA (1999) ursprungligen i inches men här omräknat till mm.

| Balkbredd | Ände (längd) |          |          |          |
|-----------|--------------|----------|----------|----------|
|           | y/h=0,30     | y/h=0,35 | y/h=0,40 | y/h=0,45 |
| mm        | mm           | mm       | mm       | mm       |
| 63,5      | 54,0         | 88,9     | 120,6    | 155,6    |
| 79,4      | 66,7         | 111,1    | 152,4    | 196,8    |
| 88,9      | 76,2         | 123,8    | 171,4    | 219,1    |
| 130,1     | 107,9        | 180,9    | 250,8    | 320,7    |
| 171,4     | 142,9        | 238,1    | 330,2    | 422,3    |
| 222,2     | 187,3        | 307,9    | 425,4    | 546,1    |
| 273,0     | 228,6        | 377,8    | 523,8    | 673,1    |

### Exempel 1.

En sidospricka med medeldjup 2 inches (50,4 mm) finns nära balkänden och 1,5 inches (38,1 mm) upp från undersidan av en limträbalk med dimensionerna 5-1/8 x 24 inches (130,1 x 609,6 mm) (det vill säga mellan yttersta dragna och den närliggande lamellen). Balken har inga andra hållfasthetsreducerande defekter vid sprickområdet. Påverkas balkens hållfasthet av sprickan?

$$y/h = (609,6/2 - 38,1) / 609,6 = 266,7 / 609,6 = 0,4375 \geq 0,25 \Rightarrow \text{utanför skjuvkritisk zon}$$

$$\text{Ekvation 3, } C = 3,6 \times 0,4375 - 0,8 = 0,775 < 0,85 \text{ ger tillåten sprickstorlek (djup) = } 0,775 \times 130,1 = 101,5 \text{ mm} > 50,4 \text{ mm OK!}$$

Balkens hållfasthet påverkas inte av sprickan.

### Exempel 2.

Samma sidosprieka med medeldjup 2 inches (50,4 mm) finns nära balkänden men nu 7,5 inches (190,5 mm) upp från undersidan av limträbalken med dimensionerna 5-1/8 x 24 inches (130,1 x 609,6 mm). Balken har inga andra hållfasthetsreducerande defekter vid sprickområdet. Påverkas balkens hållfasthet av sprickan?

$$y/h = (609,6/2 - 190,5) / 609,6 = 114,3 / 609,6 = 0,1875 < 0,25 \Rightarrow \text{innanför skjuvkritisk zon}$$

Ekvation 1, tillåten sprickstorlek (djup) =  $130,1 \times 0,1 = 13,01 \text{ mm} < 50,4 \text{ mm}$  ej OK!

Balkens hållfasthet påverkas av sprickan. Den måste kontrolleras för aktuell belastning med reducerat tvärsnitt utifrån sprickdjup 50,4 mm.

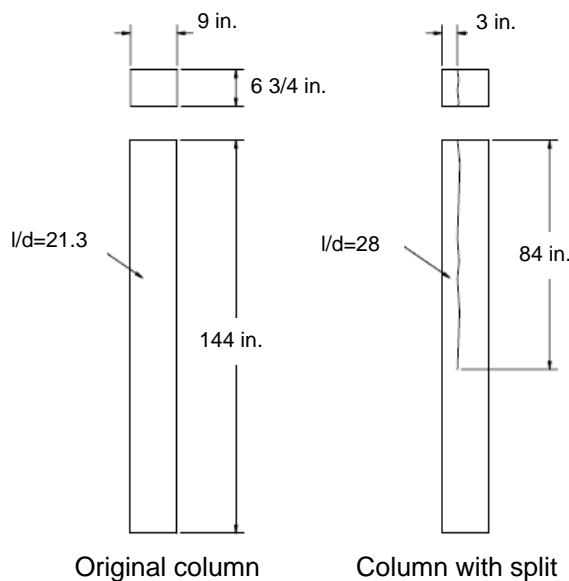
Tillåtna sprickstorlekar enligt ovan avser böjbelastade konstruktionselement som balkar. Även om en spricka utanför skjuvkritiska zonen tillåts vara ganska stor, så bör man tänka på att en sådan spricka kan vara en indikation på extrema fukt- och temperaturförhållanden. Därför bör orsaken till sprickan utredas så att man kan förhindra att sprickan utvecklas och så småningom kan påverka hållfastheten. Om sprickor uppkommer är de dock ofta framförallt av estetisk betydelse och kan fyllas med elastomeriskt medel.

Liknande beskrivning för bedömning av sprickor för limträ beskrivs i AITC (2004). Trä anpassar sig till omgivande luftfuktighet och temperatur. Ändringar i träets fuktkvot kan därför ge sprickor.

- I böjbelastade konstruktionsdelar påverkar sprickor skjuvhållfastheten, och sprickorna kan ha betydelse om de är speciellt djupa eller förekommer nära balkmitt vid upplag.
- För tryckta komponenter har sprickor bara betydelse om de är genomgående längs hela längden.

Vid dessa två fall ska en noggrann beräkning av bärigheten göras.

Vid inspektion rekommenderas att använda ett bladmått eller annan mätutrustning för att undersöka alla sprickor som kan tänkas ha inverkan på hållfastheten. En skiss bör göras för att markera alla sprickor med längd, djup och bredd. Markera ändarna av sprickorna på balken och ange datum för att möjliggöra framtida jämförelser. Mät fuktkvoten i balken och jämför med ursprunglig fuktkvot och förväntad jämviktsfuktkvot. Mätning bör utföras på ytan samt en bit in i virket för att få en fuktgradient. Omgivande klimat bör undersökas för att kunna bedöma framtida utveckling av sprickor.



### Tryckta konstruktionsdelar

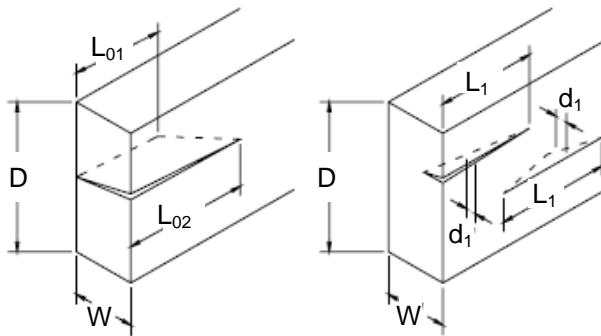
Det är mycket ovanligt att sprickor utvecklas till en delning längs hela längden. Vanligtvis finns de på en del av längden. Antag att en spricka som är 2,1 m (84 in.) lång utvecklas tvärs bredden av en 171 x 229 mm ( $6 \frac{3}{4} \times 9$  in.) limträpelare, så att det minsta måttet vid sidan av sprickan är 76 mm (3 in.). För den ursprungliga tvärsektionen med en längd 3,6 m (144 in.) är  $l/d = 3600/171 = 21$ , men efter sprickdelningen gäller för den mindre spruckna delen  $l/d = 2100/76 = 28$ . Därför har bärigheten för stolpen reducerats, och den verkliga bärigheten ska jämföras med aktuell last för att bestämma om den klarar sig, eller behöver förstärkas eller bytas ut.

### Böjbelastade konstruktionsdelar

Sprickor kan reducera skjuvhållfastheten, genom att minska den effektiva skjuvarean. Baserat på erfarenhet, bedömning och forskning rekommenderar limträindustrin att skjuvkapaciteten inte behöver reduceras för sprickor upp till 15 % av balkbredden. För att bedöma sprickor ska sprickstorleken bestämmas, och jämföras med tillåten sprickstorlek för det aktuella läget för sprickan. Om sprickan är större än det tillåtna värdet, ska en skjuvreduktionsfaktor användas vid kontrollberäkning av om balken klarar aktuella laster.

Effektiv sprickstorlek för en ändspricka är en tredjedel av medelvärdet för spricklängden på vardera sidan av balken,  $L_0 = 1/3 \cdot (L_{01} + L_{02}) / 2$ .

Effektiv sprickstorlek vid sidosprickor definieras med medeldjupet ( $d_1$ ), som bedöms vid inspektionen.



Tillåten effektiv sprickstorlek för oreducerad skjuvhållfasthet bestäms med ekvationerna

Ändsprickor: tillåten spricklängd =  $0,15 \cdot$  balkbredd

Sidosprickor: tillåtet sprickdjup =  $0,15 \cdot$  balkbredd, längden begränsas inte

Skjuvkritisk zon är mittdelen av balken där spänningen överstiger 50 % av max skjuvspänning från belastningen. För en enkelspänd balk med utbredd last är den zonen inom en fjärdedel av balklängden från upplaget. Tabellen visar max sprickstorlek inom skjuvkritisk zon som inte kräver reduktion av skjuvhållfastheten. Överstiger sprickstorleken dessa värden ska en reduktion av tillåten skjuvspänning göras.

Tabell. Tillåten sprickstorlek i skjuvzonen enligt AITC (2004), ursprungligen i inches (men här även omräknat till mm).

| Balkbredd |                     | Sprickstorlek |        |
|-----------|---------------------|---------------|--------|
| in.       | (mm)                | in.           | (mm)   |
| 2½        | (63,5)              | ¾             | (19,1) |
| 3, 3¼, 3½ | (76,2, 79,4, 88,9)  | ½             | (12,7) |
| 5, 5¼, 5½ | (127, 130,1, 139,7) | ¾             | (19,1) |
| 6¾        | (171,4)             | 1             | (25,4) |
| 8½, 8¾    | (215,9, 222,2)      | 1¼            | (31,8) |
| 10½, 10¾  | (266,7, 273,0)      | 1½            | (38,1) |

Tillåten effektiv sprickstorlek utanför skjuvzonen får ökas till 0,8 x balkbredden vid ovan- och underkant av balken enligt figuren.

**Exempel 1:** Balk 130,1 x 609,6

Spricka på sidan, djup = 50,8 mm, 76,2 mm från undersidan (under neutrala lagret)

Bestäm: Håller sig sprickan inom gränserna, så att bärligheten inte behöver reduceras?

Sprickans läge bestäms som avstånd från neutrala lagret i förhållande till balkens höjd:  $y/D = -228,6/609,6 = -0,375$

Värdet markeras på vertikala axeln i diagrammet, och gå horisontellt till kurvan, och ned till horisontella axeln som anger tillåten spricka i förhållande till balkbredden. Värdet blir 0,56. Beräkna tillåtet sprickdjup för sidospricka i detta läge.

$$d\text{-tillåtet} = 0,56 \cdot W = 0,56 \cdot 130,1 = 72,8 \text{ mm.}$$

Jämför med aktuell spricka:

$$D = 50,8 \text{ mm} < 72,8 \text{ mm. OK!}$$

Sprickan påverkar inte balkens bärrighet.

Om sprickans storlek överstiger tillåten sprickstorlek, ska tillåten skjuvspänning reduceras. Skjuvreduktionsfaktorn kan beräknas som

$$C_{vc} = (1-s/W)/(1-F_w) \leq 1$$

där

$C_{vc}$  = skjuvreduktion för spricka

s = effektiv sprickstorlek, djup eller längd

W = balkbredd

$F_w$  = tillåten sprickstorlek utan reduktion

$$F_w = 0,15 \quad \text{för } 0 \leq y/D \leq 0,25$$

$$F_w = 3,25 \cdot (y/D) - 0,66 \quad \text{för } 0,25 \leq y/D \leq 0,45$$

$$F_w = 0,8 \quad \text{för } 0,45 \leq y/D \leq 0,50$$

**Exempel 2:** Balk 130,1 x 609,6, längd = 8,534 m

Spricka på sidan, max djup = 76,2 mm, min djup = 0 mm, längd = 406,4 mm, avstånd från undersidan 266,7 mm (under neutrala lagret)

Bestäm: Skjuvreduktionsfaktorn

Effektiva sprickstorleken:  $d_1 = (76,2+0)/2=38,1 \text{ mm}$

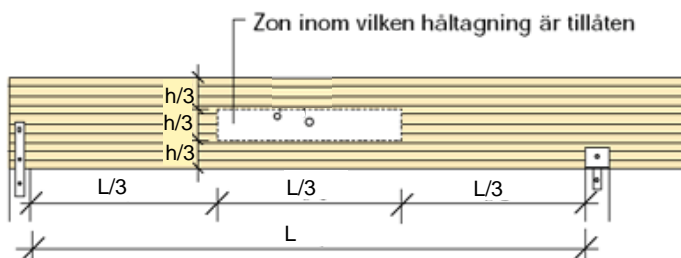
Sprickans läge  $y/D = 38,1/609,6 = 0,0625 \Rightarrow$  tillåten sprickstorlek  $d = 0,15 \cdot W = 19,5 \text{ mm}$

Jämför sprickstorlek med tillåten sprickstorlek:  $38,1 \text{ mm} > 19,5 \text{ mm} \Rightarrow$  skjuvhållfastheten måste reduceras

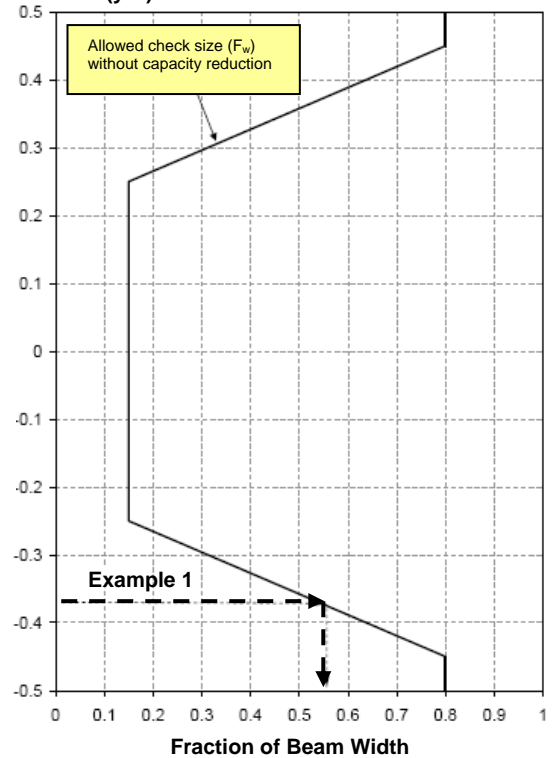
Skjuvreduktionsfaktor  $C_{vc} = (1-s/W)/(1-F_w) = (1-38,1/130,1)/(1-0,15) = 0,83$ .

Vid en given belastning ska maximala skjuvspänningen i tvärsnittet vid sprickan jämföras med den reducerade skjuvhållfastheten.

Enligt Limträhandbok (2001) kan håltagning utföras i träbalkar. Större hål utgör plötsliga tvärsnittsförändringar som stör kraftflödet i en konstruktion. Därigenom uppkommer betydande extraspänningar intill hålet, vilket kan nedsätta konstruktionens bärförmåga. Om hål inte kan undvikas, bör de placeras kring neutrallagret. Runda hål utan förstärkning tillåts i begränsad zon, se figur. Hål  $> h/3$  och rektangulära hål eller urtag ska kontrolleras av konstruktören.



Fractional Distance of Beam Width (y/D)





## 2.3 Fuktinträning och risk för röta

Marteinsson (2003) har studerat faktormetoden, som kan användas för att beräkna livslängden för olika produkter. Livslängden kan vara svår att bestämma, eftersom den beror både på materialet och på det omgivande klimatet. För trä anges att hållfastheten beror på fuktkvoten, liksom risken för röta. Materialets hållfasthetsegenskaper påverkar nedbrytningshastigheten och livslängden, eftersom ett svagt material går sönder snabbare än ett starkt. Det gäller både för mekanisk belastning och påverkan av miljö, som temperatur och fukt. Nedbrytning av röta beror på temperatur och fuktkvot. De hänvisar till Scheffer's klimatindex som beräknas utifrån månadens medeltemperatur och medelantal av dagar i månaden med minst 0,25 mm nederbörd. Indexet togs fram i USA efter tester utomhus, men är inte anpassat till andra regioner. De verkliga faktorerna för utveckling av röta är materialets temperatur och fuktkvot, och de beror på mikroklimatet intill konstruktionen. Det är ett komplicerat samband mellan olika faktorer som samverkar när det gäller klimat och material. Det vore därför bättre att ha en dos-respons-funktion eller en skade-funktion som direkt kopplar en skada till något mätbart värde. Hållfastheten för trä utan större sprickor beror på densiteten, och fuktabsorptionen beror också på densiteten. Hållfastheten för trä kan därför ses som en indikator för hållbarheten och har antagligen samma fördelning som hållfasthetsegenskaperna. Hållfastheten för trä beror av fuktkvoten, och i dimensioneringsstandarder brukar man ta hänsyn till det genom en faktor med storleken 0,6-1, och man kan anta att effekten för hållbarhet är ungefär densamma. I standarder har fördelningen för hållfasthetssorterat virke en variationskoefficient 0,15, och en 20 %-fraktil kan då beräknas till 87,4 % av medelvärdet, vilket man anger är lite större variation än för betong.

Leicester et. al. (2005) har studerat en modell för träkonstruktioner där klimatfaktorer ingår som regn, temperatur, relativ fuktighet, vindhastighet, vindriktning, solstrålning, havsvattens egenskaper, avstånd till kust och industriell nedsmutsning. Utifrån konstruktionens läge detaljutformning mm är det tänkt att man ska kunna beräkna till exempel ytans fuktighet, regnets inträngning, träs fuktkvot mm. Det skulle kunna användas vid bedömningar av träbalkars hållbarhet och risken för att röta utvecklas för en konstruktion om den placeras på olika ställen.

Häglund och Thelandersson (2005) beräknade fuktfördelningen i trä med 2-D finit element program. Fukttransport i trä kan beskrivas med diffusion och ekvationer där diffusionskoefficienten ingår. Årliga maxvärden för en konstruktion kan då beräknas om klimatdata är kända för en ort. För träkonstruktioner med stora tvärsnitt kommer snabba fuktändringar vid ytan inte att påverka de inre delarna, medan långsamma ändringar som årsvariationer påverkar hela balken.

## 2.4 Ytbehandling av stora limträkonstruktioner

Enligt Limträhandbok (2001) uppstår redan något år efter en målning synbara defekter i färgskikt och defekterna tilltar med åren. Yttre påverkan varierar kraftigt mellan inland och kust. Även väderstrecken ger olika påverkan och sydsidor är mest utsatt för klimatets påverkan. Höjdläget kan också ge olika påverkan. Växlingar i omgivningens luftfuktighet kan ge betydande fuktrörelser som i sin tur kan orsaka sprickor i träet och krackeleringar i färgskiktet.

Underhållsbehovet för olika färgsystem varierar lika mycket som klimatet, och utomhusexponerade material utsätts också för nedsmutsning från luftföroreningar. Målade ytorna bör därför ses över regelbundet med avseende på förekomst av missfärgning, blåsbildning och sprickbildning. Grova genomgående sprickor i limträ är olämpligt

målningsunderlag för täckande färg varför sådant virke skall bytas ut i samband med underhåll. Springor, som släpper in fukt och som är omöjliga att ”måla igen”, bör inte heller förekomma i utomhusexponerat limträ.

Målning ska inte utföras på limträ som har rötskador eller grova sprickor. Mindre sprickor finns alltid och de brukar normalt inte ge problem om man behandlar med grundolja och grundfärg. Vid underhåll skall limträ som är skadat eller i övrigt olämpligt som målningsunderlag bytas ut innan målningsarbetet kan påbörjas. Ytor som är angripna av missfärgande svamp skall rengöras. Ommålning kan i regel utföras på befintligt färgskikt förutsatt att färgskiktet är väl förankrat mot träunderlaget. Vid alltför tjocka och krackelerade färgskikt, det vill säga efter ett antal underhållsmålningar, bör man överväga att ta bort den gamla färgen innan ommålning. Valet av ytbehandling är även estetiskt betingat.

Enligt TräGuiden är syftet med ytbehandling att färgsätta träet samt att skydda det mot krympning, svällning, fiberresning och mikrobiologiska angrepp. Valet av ytbehandling beror på produkt och i vilken miljö den ska placeras. Vissa utomhusprodukter skyddas mot regn och solstrålar av ett utskjutande tak medan andra produkter som altaner och staket är helt exponerade för vädrets makter. Vissa horisontellt liggande produkter som trallen på en altan exponeras intensivt för solljus och vatten under långa perioder.

Vatten påverkar nedbrytningen mest och gör att färgen lossnar. Fukt gör att trä sväller och krymper vilket påfrestar färgfilmen när den måste röra sig med träet. I konstruktioner som är horisontellt liggande kan vatten fångas under det färgfilmbildande skiktet. Störst risk för vatteninträning är i ändträ, till exempel vid skarvar och sammanfogade delar, och därför ska ändträ ytbehandlas. Vid val av färgtyp är det alltid viktigt att också följa leverantörens rekommendationer.

## **2.5 Reparation av träbalkar med sprickor**

Enligt APA (2006) kan reparation av sprickor göras genom att de fylls med ett elastomeriskt fyllmedel, som även kan vara färgat. De bör appliceras först efter att balkarna har genomgått en säsongsvariation av klimatet. Styva epoximedel ska inte användas, då de snarare kan förvärra sprickorna vid fuktförändringar.

Ett annat sätt att fylla igen sprickor kan vara att fräsa ur ett spår i balken och limma i en ny tillpassad bit. Det är då viktigt att det utförs vid jämviktsfuktvoten, så att det inte uppstår nya sprickor. Lagningarna ska behandlas med grundolja och grundfärg.

En metod att reparera en sprucken balk som riskerar nedsatt hållfasthet, kan vara att sätta bultar genom balken tvärs fiberriktningen för att hålla ihop sprickor så att de inte utvidgas.

Förstärkning av träbalkar med glasfiberförstärkt polymer har också testats. Gomez och Svecova (2006) testade balkar i laboratorium för skjuvning och böjning. De provade både att limma skivor på utsidan av balkarna och att sätta in stänger som dymlingar. De sattes i 30, 45 eller 90 graders vinkel mot balkens längdaxel. Balkarna var 30-40 år gamla träbalkar från broar. De delades på mitten för att få en artificiell spricka att testa på. Skivorna gav större hållfasthet med samma mängd förstärkningsmaterial.

## 3 Beräkningar

### 3.1 Beräkningsmetoder

Det finns många möjligheter att simulera sprickor och röta på träbalkar.

Röta kan till exempel modelleras genom att i de påverkade områdena används låga värden på styvheterna (eventuellt ingen styvhet alls).

Sprickor kan modelleras på olika sätt.

- Ett sätt att modellera individuella sprickor är att modellera så att elementen intill varje spricka inte sitter ihop. Med en linjär körning fås då rätt värde på uppförandet när sprickan vidgas men man missar att styvheten blir högre när sprickan trycks ihop (vid tryckbelastning).
- Med en olinjär körning med kontaktelement tvärs sprickan kan man realistiskt simulera både att sprickan sluts och vidgas.
- Ett annat sätt att approximativt modellera en eller flera sprickor är att modellera sprickområdet på vanligt sätt med ihopkopplade element. Däremot så reducerar man styvheterna i de relevanta riktningarna (främst tvärs sprickorna) i någon lämplig proportion med hänsyn till hur många och stora sprickor som finns i sprickområdet.

Resultaten av simuleringarna kan presenteras som den inverkan på balkens globala styvhet som defekterna har relativt en helt opåverkad balk. Möjligen kan man också bedöma i vilken grad spänningarna har ökat i balken för en viss given last och eventuellt uttala sig om hur stora sprickor som balken egentligen klarar.

Fuktkvoten i balken kan man i simuleringarna sätta till vad man vill, till exempel den fuktkvot som balken har efter tillverkning eller till en annan godtycklig fuktkvotsfördelning (till exempel från en uppmätning).

I den här förstudien används enkla modeller för beräkningar av spänningar och deformationer för balkar för några balkdimensioner med en spricka med varierande storlek och läge.

#### 3.1.1 Förutsättningar

Några enkla simuleringar med finita-element-metoden (FEM) har gjorts för olika balkar med programmet CosmosWorks (SolidWorks), för att utvärdera sprickors inverkan på nedböjning och spänningar.

Beräkningarna har utförts för en balk med tvärsnitt 140 mm x 450 mm och längd 9 m.

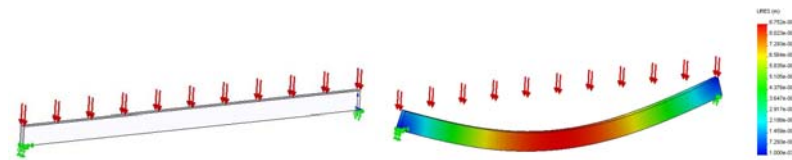
- Balken beräknades med en enkel 3D-modell med upplag i två ändar, och samma elementstorlek i hela balken.
- Balken modellerades som två längsgående delar, en övre och en undre, hopkopplade genom gemensamma noder där balken inte var sprucken.
- Sprickan simulerades genom att de två balkdelarna var hopkopplade med kontaktelement, som ger kontakttryck när sprickan stängs, friktion medräknades inte.
- Laster var egentyngd:  
Egentyngd limträbalk:  $0,14 \cdot 0,45 \cdot 6 = 0,4 \text{ kN/m}$   
Syllar, plank och räcke antas =  $1,0 \text{ kN/m}$   
Totalt:  $1,4 \text{ kN/m}$  (införs som yttryck på 140 mm breda balkens ovansida som  $10 \text{ kN/m}^2$ ).

Materialet var ortotropt med värden utifrån BKR. I koordinatsystem med z-axeln längs balken var  $E_x = E_y = 450 \text{ MPa}$ ,  $E_z = 13000 \text{ MPa}$ ,  $\nu_{xy} = 0,4$ ,  $\nu_{xz} = \nu_{yz} = 0,4$ ,  $G_{xy} = 850 \text{ MPa}$ ,  $E_{xz} = E_{yz} = 85 \text{ MPa}$ .

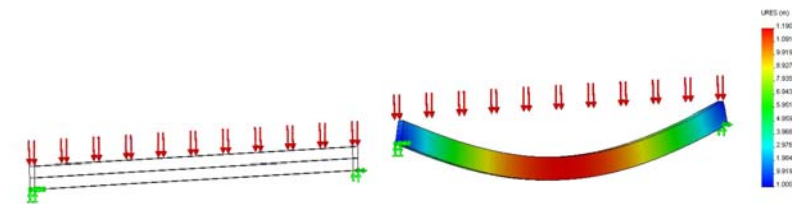
För att kontrollera modellen studerades först en hel balk utan sprickor (inte två-delad). Resultatet jämfördes också med beräkning för en balk med isotropt material med värden för limträ enligt BKR, med  $E = 13000 \text{ MPa}$  och  $G = 850 \text{ MPa}$ , samt med en balk beräknad teoretiskt enligt balkteori. Teoretisk nedböjning blir för en balk:

$$y_{\max} = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 1400 \cdot 9^4 \cdot 12}{384 \cdot 13000 \cdot 10^6 \cdot 0,14 \cdot 0,45^3} = 0,00865 \text{ m}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W} = \frac{1400 \cdot 9^2 \cdot 6}{8 \cdot 0,14 \cdot 0,45^2} = 3 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 3 \text{ MPa}$$



Balk hel (nedböjning förstorad)



Balk två-delad (nedböjning förstorad)

Tabell. Beräkningsresultat för balkar 140x450 utan sprickor belastade med egentvingd

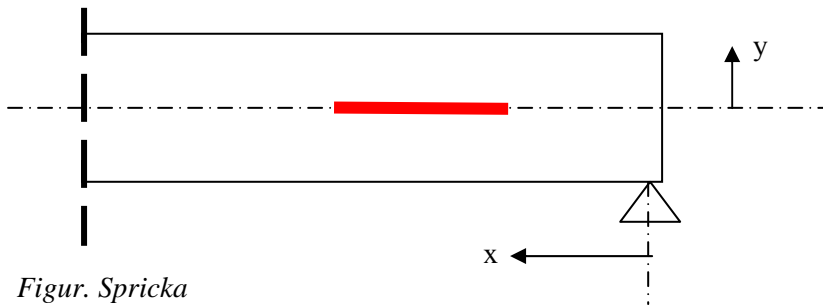
| Balk                                      | Nedböjn.<br>(mm) | Böjssp.<br>(MPa) |
|---|------------------|------------------|
| Teoretisk balk                            | 8,65             | 3,00             |
| Balk (isotropt mtrl)                      | 8,75             | 3,00             |
| Balk (ortotropt mtrl)                     | 11,89            | 3,24             |
| Balk (ortotropt mtrl)<br>(två-delad balk) | 11,90            | 3,39             |

Som jämförelse beräknades även nedböjningen för en balk med samma totala höjd, men bestående av två balkar med halva höjden var som inte sitter ihop.

Teoretisk nedböjning blir för balken:

$$y_{\max} = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 1400 \cdot 9^4 \cdot 12}{384 \cdot 13000 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 0,14 \cdot 0,225^3} = 0,0346 \text{ m} = 34,6 \text{ mm}$$

## 3.2 Resultat



Figur. Spricka

Fyra typer av balkar med sprickor redovisas:

Balk 0 har ingen spricka.

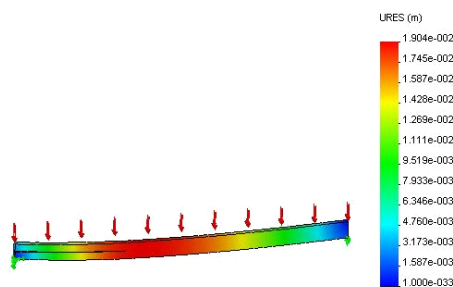
Balkar 1 har en genomgående spricka från änden på halva balkhöjden.

Balkar 2 har en genomgående spricka från änden på undre delen av balkhöjden.

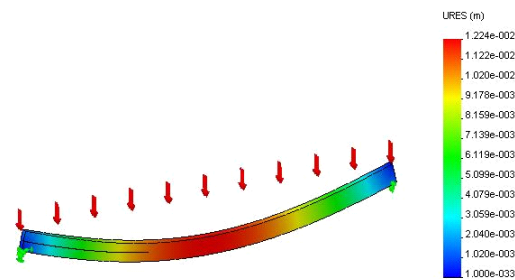
Balkar 3 har en spricka med djupet som halva balkbredden som går från änden på halva balkhöjden.

Tabell. Beräkningsresultat för balkar 140x450 med sprickor, belastade med egentvngd

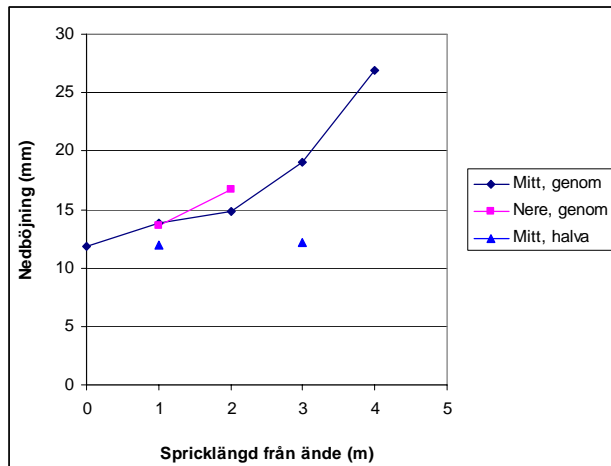
| Balk | Spricklängd (mm) | Sprickdjup (mm) | Läge x (mm) | Läge y (mm) | Nedböjn. (mm) | Böjsp. z (MPa) |
|------|------------------|-----------------|-------------|-------------|---------------|----------------|
| 0-0  | 0                | 0               | 0           | 0           | 11,9          | 3,39           |
| 1-1  | 1000             | 140             | 0           | 0           | 13,8          | 8,3 (lokalt)   |
| 1-2  | 2000             | 140             | 0           | 0           | 14,8          | 11,4 (lokalt)  |
| 1-3  | 3000             | 140             | 0           | 0           | 19,0          | 13,7 (lokalt)  |
| 1-4  | 4000             | 140             | 0           | 0           | 26,9          | 20,5 (lokalt)  |
| 2-1  | 1000             | 140             | 0           | -150        | 13,6          | 6,29 (lokalt)  |
| 2-2  | 2000             | 140             | 0           | -150        | 16,7          | 34,3 (lokalt)  |
| 3-1  | 1000             | 70              | 0           | 0           | 12,0          | 3,26           |
| 3-3  | 3000             | 70              | 0           | 0           | 12,2          | 3,27           |



Balk 1-3



Balk 3-3



*Balkens nedböjning i förhållande till spricklängden*

Beräkningarna har utförts med en enkel modell och ger inga exakta värden, men visar att nedböjningen ökar med ökad sprickstorlek.

För mer detaljerade studier bör modellen förbättras genom till exempel

- Bättre modellering av sprickan
- Möjlighet att modellera flera sprickor samtidigt
- Bättre elementindelning vid sprickan för att analysera spänningarna
- Modellering av friktion i sprickan
- Lamellerna modelleras var för sig

När provningarna av balkarna utförts kan beräkningsmodeller kalibreras mot provningarna. De kan då användas för att jämföra styvheten, och sedan utnyttjas för att studera vad som händer för olika utvecklingar av de uppkomna sprickorna.

Man kan också utgå från några balkar som har inspekterats och beräkna till exempel nedböjning för last utan sprickor, med uppmätta sprickor enligt inspektion och med ytterligare sprickor samt eventuellt röta inom vissa områden för att se skillnader för olika grader av påverkan.

## 4 Undersökningar och provningar

### 4.1 Några exempel på sprickor på träbroar

Vid inspektioner har en del sprickor funnits på träbalkar. Här visas några exempel på broar med sprickor och en bedömning av sprickan och sprickutvecklingen görs.

**Fällforsbron** är en fackverksbro för gång- och cykeltrafik. Trämaterialet är tryckimpregnerad furu och är behandlat med slipersolja, en mörkbrun olja med inslag av trätjära. Bron har sprucken över- och underram.



Brons ålder: 2 år

Balkdimensioner i över- och underram: 215 x 233 mm

Fuktkvot i överram 10 mm från ytan: 11-14 %

Fuktkvot i överram 35-40 mm från ytan: 14,5-16,5 %

Sprickornas storlek: längd = 1-3 m för enskilda sprickor

Sprickornas läge: Mest i balkmitt och ovanför, men även över hela tvärsnittet, vid limfogar

Bedömning:

Sprickorna beror på att ytan har torkat. Eftersom balken saknar tätt färgskikt är risken att fukt stängs inne i balken relativt liten. Sprickorna kommer att finnas kvar i framtiden och eventuellt kommer antalet och storleken att öka något, men inte på något avgörande sätt. Brons bärighet kommer inte att påverkas av sprickorna.

**Engarnsbron** är en balkbro för gång- och cykeltrafik. Trämaterialet är tryckimpregnerad furu och är behandlat med ett varv oljegrund med fungicid, ett varv oljetäcklasyr och ett varv falu fasadfärg. Bärande balkar är i gott skick men har en del mindre sprickor och delamineringar på utsidorna. Ytbehandlingen på balkarnas utsidor är något sliten men på insidan är den så gott som opåverkad.



Brons ålder: 7 år

Balkdimensioner: 215 x 1035 mm

Fuktkvot i balkkände 5 mm från ytan: 14,6-20 %

Fuktkvot i balkkände 35 mm från ytan: 13,7-19,4 %

Sprickornas storlek: längd = 0,5-2 m, djup 1-2 cm

Sprickornas läge: Mest vid balkkände i nedre halvan, vid limfogar

Bedömning:

Sprickorna beror på fuktrörelser. Vid regnigt väder syns att fukt kryper in i sprickan. Det finns viss risk för röta i framtiden, och eventuellt kommer sprickorna att påverka infästningarna.

Brons bärighet kommer inte att påverkas av sprickorna inom de närmaste åren.

**Klockarbergsbron** är en plattbro på bågar och pelare. Den är en vägbro. Balkar, pelare och bågar är av tryckimpregnerad furu och målade med två varv röd alkydoljebaserad täcklasyr samt ett varv faluröd alkydoljebaserad fasadfärg. De yttersta långa pelarna samt bågar har nedtill inget skydd av broplattan, utan utsätts för direkt nederbörd och solsken. Båge och pelare på den södra sidan har en del sprickbildning nedtill på utsidan.

Brons ålder: 10 år

Dimensioner: pelare: 215 x 450 mm, båge: 215 x 990 mm

Fuktkvot i pelare: medelvärde ca 15,5 % vid ytan och ca 16,5 % några cm in i träet

Fuktkvot i bågar: 13,7-19,4 %

Sprickornas storlek: längd = pelare: 40-100 cm, bågar: upp till 2 m långa, djup pelare: ca 40-55 mm, bågar: 15-40 mm

Sprickornas läge: Mest vid ändar, vid limfogar

Bedömning:

Sprickorna beror på fuktrörelser. Vid regnigt väder syns att fukt kryper in i sprickan. Det finns viss risk för röta i framtiden, och eventuellt kan sprickorna påverka infästningarna. Brons bärighet kommer inte att påverkas av sprickorna inom de närmaste åren.





## 4.2 Försöksplan provningar

Försöksplanen beskriver provning av balkar med olika ytbehandlingar för att studera fuktinträngning och fukttillstånd i balkar vid olika klimat, till exempel solig södersida.

### 4.2.1 Balkar och ytbehandlingar

**Trämateriäl** i broar är oftast impregnerad furu alternativt oimpregnerad gran.

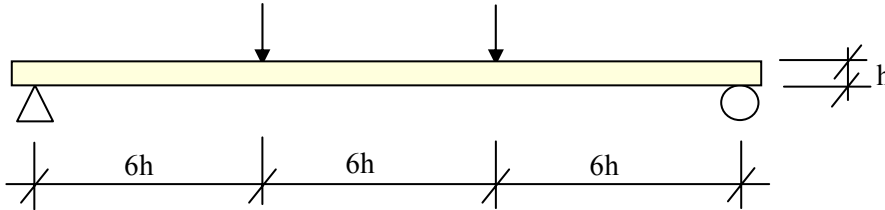
Enligt Bro 2004 gäller krav på **impregnering** för konstruktionsdelar som ingår i huvudkonstruktionen. Om en konstruktionsdel kan definieras till olika miljöer gäller den strängaste miljön.

- Konstruktionsdelar som är belägna i vägmiljö eller marin miljö ska hänföras till riskklass 4 enligt SS-EN 335-2 och ska skyddas mot angrepp av röta och virkesförstörande insekter enligt SS-EN 351-1 (**impregnering**).
- En brobaneplatta ska dock utföras av **oimpregnerat barrträ** eller av annat virke med erforderlig naturlig beständighet i riskklass 2 enligt SS-EN 335-2. Undersidan ska ytbehandlas.
- Konstruktionsdelar som inte befinner sig inom det område som skyddas av brobaneplattan eller av tak och inte heller skyddas av intäckning ska hänföras till riskklass 4 enligt SS-EN 335-2 och ska skyddas mot angrepp av röta och virkesförstörande insekter enligt SS-EN 351-1 (**impregnering**).
- Pelare av trä som inte är belägen i vägmiljö eller marin miljö och som befinner sig inom det område som skyddas av brobaneplattan eller av tak ska utföras av **oimpregnerat barrträ** eller av annat virke med erforderlig naturlig beständighet i riskklass 2 enligt SS-EN 335-2. Ytbehandling ska utföras.
- Övriga konstruktionsdelar, såsom balkar och bågar, som inte är belägna i vägmiljö eller marin miljö och som befinner sig inom det område som skyddas av brobaneplattan eller av tak eller skyddas av intäckning ska utföras av **oimpregnerat barrträ** alternativt hänföras till riskklass 2 enligt SS-EN 335-2. Beroende på träslag kan impregnering fordras i riskklass 2.

**Ytbehandling** utförs enligt till exempel Svenska Träbroar med målning tre varv, varav ett varv grundning och två varv toppfärg, och det ska bli totalt 60 µm.

- Enligt Bro 2004 ska limträ och limmat konstruktionsvirke som utsätts för direkt solstrålning eller nederbörd skyddas med en pigmenterad ytbehandling som
  - utförs enligt SS-EN 927-1, **strängaste exponeringsklassen** (oskyddat i extremt klimat),
  - skiktjockleken ska uppfylla kraven i **klass hög** ( $\geq 60$  µm torkad färg),
  - om inte annat anges i den tekniska beskrivningen ska ytbehandlingen uppfylla kraven för **högsta täckande förmåga**. (opak=träets färg syns inte igenom, men dess struktur).
- Synliga ytor av trä som inte ytbehandlas enligt ovan ska förses med en pigmenterad ytbehandling
  - enligt SS-EN 927-1, **strängaste exponeringsklassen** (oskyddat i extremt klimat),
  - skiktjockleken ska uppfylla kraven i **klass medel** ( $\geq 20$  och  $< 60$  µm torkad färg),
  - om inte annat anges i den tekniska beskrivningen ska ytbehandlingen uppfylla kraven för **högsta täckande förmåga** (opak=träets färg syns inte igenom, men dess struktur).

Balkarna bör vara så långa i förhållande till höjden att de kan böjprovas enligt standardmetoder. Balklängden ska vara  $L=3 \times 6h + 2h = 20h$ .

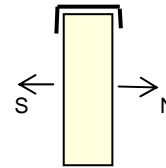


En dimension som kan användas till balkbroar för gång- och cykeltrafik är 140 mm x 450 mm, och det ger erforderlig balklängd 9 m.

Tabell. Balkdimensioner och material

| Balk | Dimension    | Material    | Ytbehandling | Kulör    | Antal |
|------|--------------|-------------|--------------|----------|-------|
| B1   | 140x450-9000 | Furu, impr. | Oljad        | -        | 5     |
| B2   | 140x450-9000 | Furu, impr. | Målad        | Ljus-vit | 5     |
| B3   | 140x450-9000 | Furu, impr. | Målad        | Mörk-röd | 5     |
| B4   | 140x450-9000 | Gran        | Målad        | Mörk-röd | 5     |

- Balkarna placeras på ställningar utomhus i Skellefteå i norra Sverige, och bör följas upp under minst 5 år.
- Den horisontella översidan täcks.
- Det fria avståndet mellan träkonstruktionen och markytan ska vara minst 800 mm enligt Bro 2004.
- Balkarna placeras med ena sidan mot söder.
- Klimat, temperatur och fukt, följs upp under provningen.
- Balkarna belastas med egentyngd.



Dessutom kommer trästolpar med dimensioner ca 100x100 att sättas ut, och följas upp på samma sätt.

#### 4.2.2 Dokumentation av balkar

Provningen kommer att startas under våren 2007, då balkarna sätts ut. Dokumentation om balkarna kommer då att redovisas i en separat rapport.

Innan balkarna ytbehandlas dokumenteras sprickor, kvistar och andra defekter, och balkarna fotograferas från alla sex sidorna.

Tabell. Exempel på dokumentation av balkar innan ytbehandling

| Balk | Sprickor | Kvistar | Defekter |
|------|----------|---------|----------|
| B1   |          |         |          |
| B2   |          |         |          |
| B3   |          |         |          |
| B4   |          |         |          |

Innan balkarna sätts ut, dokumenteras de vad gäller mått, fuktkvot, färgtjocklek och E-modul. Måtten mäts vid ändarna och i balkmitt, och på varje ställe nedtill, mitt i balken och upptill. Mätpunkterna markeras på balken eller med mätstift.

Tabell. Exempel på dokumentation av balkar

| Balk | Bredd (m) |      |      | Höjd (m) | Längd (m) | Fuktkvot (%) |   |   |   | Färg (µm) | E-modul (MPa) |
|------|-----------|------|------|----------|-----------|--------------|---|---|---|-----------|---------------|
|      | nerre     | mitt | uppe |          |           | 1            | 2 | 3 | 4 |           |               |
| B1   |           |      |      |          |           |              |   |   |   |           |               |
| B2   |           |      |      |          |           |              |   |   |   |           |               |
| B3   |           |      |      |          |           |              |   |   |   |           |               |
| B4   |           |      |      |          |           |              |   |   |   |           |               |

### 4.2.3 Mätmetoder

Balkarna följs upp två gånger per år, på våren och sent på hösten. Uppföljning vid två tidpunkter på året ger möjlighet att se när nya sprickor uppstår, och att följa befintliga sprickors variation i storlek.

Vid dessa tillfällen inspekteras balkarna visuellt och fotograferas vad gäller sprickor och andra synliga defekter. Dessutom görs följande mätningar:

- Balkarnas bredd, höjd och längd mäts
- Sprickors bredd, längd och djup mäts manuellt och ritas in på skiss, samt markeras på balkarna.
- Fuktkvot mäts i bestämda lägen, samt aktuell lufttemp och fukt antecknas. Mätning av temperatur på ytan och inuti balken
- E-modulen provas.

### 4.2.4 Kompletterande provning med mindre balkbitar

Fuktinträngen i sprickor testas också för mindre balkbitar. De mindre bitarna görs inte större än att de kan användas i tomografen för att studera hur fukten tränger in i sprickor och fördelar sig i olika delar av balktvärsnittet. Uttorkningsförloppet kan också vara intressant att studera.

Balkbitarna dokumenteras på samma sätt som balkarna ovan. De utsätts sedan för uppfuktning, och följs upp genom att dimensioner, sprickor och fuktkvoter mäts.

Tabell. Mindre balkar, dimensioner och material

| Balk | Dimension    | Material    | Ytbehandling | Kulör    | Antal |
|------|--------------|-------------|--------------|----------|-------|
| MB1  | 140x315-2000 | Furu, impr. | Oljad        | -        | 5     |
| MB2  | 140x315-2000 | Furu, impr. | Målad        | Ljus-vit | 5     |
| MB3  | 140x315-2000 | Furu, impr. | Målad        | Mörk-röd | 5     |
| MB4  | 140x315-2000 | Gran        | Målad        | Mörk-röd | 5     |
| MB5  | 140x315-2000 | Gran        | Målad        | Mörk-röd | 5     |
| MB6  | 90x315-2000  | Gran        | Målad        | Mörk-röd | 5     |
| MB7  | 215x315-2000 | Gran        | Målad        | Mörk-röd | 5     |

## 5 Sammanställning och rekommendationer

Sprickor förekommer i trä och träbalkar, men de påverkar i de flesta fall inte bärförmågan. Men det kan uppstå situationer då sprickor har betydelse. Vid inträngning av vatten i sprickor kan det ge upphov till röta, vilket kan ge allvarliga skador. Bedömningen av resterande bärighet är svår att göra för inspektörer då klara regler saknas i Sverige. För att sätta samma ett regelverk rekommenderas

- att man tar fram hjälpmedel eller handledning. I USA har man tagit fram hjälpmedel med vilka man kan kontrollera om en spricka med viss storlek och läge påverkar balkens hållfasthet. De behöver anpassas till svenska förhållanden och kompletteras med flödesscheman för olika alternativ och fler tabeller med anvisningar för hur mycket hållfastheten reduceras om man har större sprickor eller sprickor på andra ställen än de som tillåts utan reduktion mm.
- projekteringsverktyg, riktlinjer för simulering av balkar. För att på ett kvantifierbart sätt kunna bedöma träbroars livslängd och framtida bärförmåga behövs beräkningsmodeller för livslängden för en balk med hänsyn till makro- och mikroklimat där bron byggs och med hänsyn till nedbrytningshastigheten för olika fall. Värden på nedbrytningshastigheter behövs då.
- att förhållandena för fukt och sprickor följs upp med försök som kommer att påbörjas. De bör pågå under minst 5 år för att kunna följa utvecklingen.
- fortsatt inspektion och instrumentering av broar, som kan ge ytterligare erfarenheter. För inspektioner bör man definiera hur sprickor ska mätas, vilka instrument och mätpunkter som är lämpliga, samt definiering av sprickstorlek för dokumentation och kommande uppföljningar. Vid slutbesiktning bör man vid färdigt bygge kontrollera fuktkvoten på viktiga punkter för att ha som en referens för framtiden, och anvisningar för dokumentation av fuktkvoter behöver då tas fram.

## 6 Referenser

AITC, 2004, (American Institute of Timber Construction) Technical Note 18, Evaluation of checking in glued laminated timbers, March 2004

APA, 1999, Evaluation of check size in glued laminated timber beams, APA Technical Note EWS R475C, June 1999

APA, 2001, Checking in glued laminated timber, APA Technical Note EWS R465E, November 2001

APA, 2006, Understanding Checking in Glulam, [www.apawood.org](http://www.apawood.org), 2006-06-28  
Bodig J., Jayne B. A., 1982, Mechanics of Wood and Wood Composites, Van Nostrand Reinhold Company Inc., USA

Colorado Department of Transportation, 2002, Bridge Rating Manual, Section 13 – Timber Structures, Staff Bridge, April 2002

Gomez S.M., Svecova D., 2006, The use of glass fibre-reinforced polymer for retrofitting split timber stringers, Proceedings from 7<sup>th</sup> Conference on Short and Medium Span Bridges, Montreal, Canada, 2006

Häglund M., Thelandersson S., 2005, Consideration of moisture exposure of timber structures as an action, Proceedings from meeting CIB-W18/38-11-1, Karlsruhe, Germany, August, 2005

Kessel, M. H., Guenther, M., 2006, Assessment of the load bearing capacity of defectively glued laminated timber, WCTE 2006, Portland, Oregon, USA, August 2006

Klapp H., Brüninghoff H., 2005 Shear strength of glued laminated timber, Proceedings from meeting CIB-W18/38-6-3, Karlsruhe, Germany, August, 2005

Leicester R.H., Wang C-H, Nguyen M. and Foliente G.C., 2005, Design Specifications for the durability of timber, Proceedings from meeting CIB-W18/38-11-1, Karlsruhe, Germany, August, 2005

Limträhandbok, 2001, Olle Carling, Svenskt Limträ AB

Marteinsson B., 2003, Assessment of Service Lives in the Design of Buildings – Development of the Factor Method, Licentiate thesis, KTHs Research School, University of Gävle, BMG-MT Tr01-2003

Pousette A., Jacobsson P., Gustafsson M., Fjellström P.-A., 2002, Inspektion av träbroar, Träteknik Rapport P 0211039

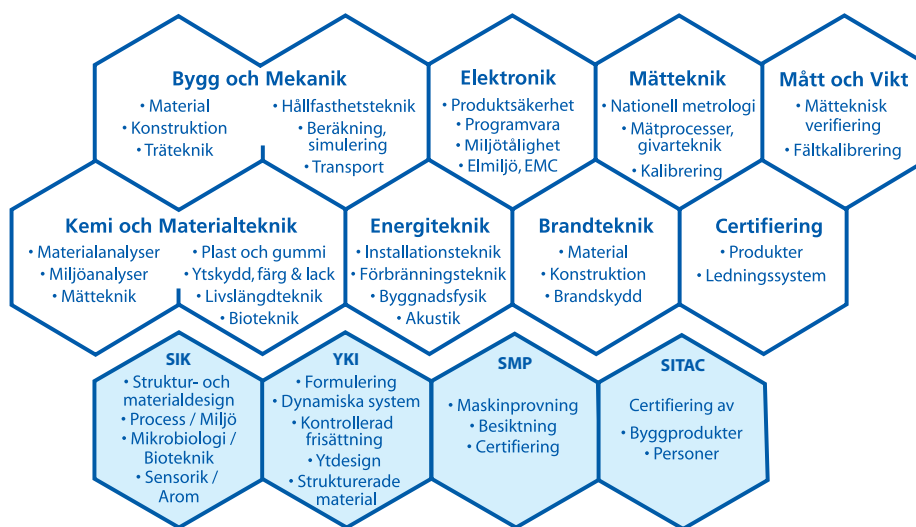
Pousette A., Fjellström P.-A., 2004, Broinspektion – Träbroar, SP Rapport 2004:41

Ritter M.A., 1990, Timber Bridges – Design, Construction, Inspection and Maintenance, Washington DC

- Schickhofer, G., 2001 Determination of shear strength values for GLT using visual and machine graded spruce laminations, Proceedings from meeting CIB-W18/34-12-6, Venice, Italy, August, 2001
- SS-EN 335-2, Träskydd - Definition av användningsklasser - Del 2: Massivt trä, 2006
- SS-EN 351-1, Träskydd - Träskyddsbehandlat massivt trä - Del 1: Klassificering av inträngning och upptagning av träskyddsmedel, 1995
- SS-EN 386, Träkonstruktioner – Limträ – Funktions- och produktionskrav, 2003
- SS-EN 391, Träkonstruktioner - Limträ - Delamineringsprov för limfogar, 2003
- SS-EN 408, Träkonstruktioner - Konstruktionsvirke och limträ - Bestämning av vissa fysikaliska och mekaniska egenskaper, 2003
- SS-EN 518, Träkonstruktioner – konstruktionsvirke – Utformning av standarder för visuell hållfasthetssortering, 1995
- SS-EN 927-1, Färg och lack - Färger och färgsystem för målning på trä utomhus - Del 1: Klassificering och urval, 1997
- Trälimning, 1988, Eirik Raknes, 2:a utgåvan 1986, Träteknik, Publ. Nr. 8805036, 1988
- Travis A. B., Gutkowski R. M., Radford D. W., Balogh J., Composite Repair of Full-Scale Timber Bridges Chord Members through the Process of Shear Spiking, MPC Report No. 05-173, December 2005, Mountain-Plains Consortium, [www.mountain-plains.org](http://www.mountain-plains.org)
- Virkesmättningsrådet, 1999, Mätinstruktioner för rundvirkessortiment rekommenderade av Virkesmättningsrådet, VMR-cirkulär Nr 1-99,
- Yeh B., Williamson T.G., 2001, Evaluation of glulam shear strength using a full-size four-point test method, Proceedings from meeting CIB-W18/34-12-2, Venice, Italy, August, 2001
- Träguiden, [www.traguiden.se](http://www.traguiden.se), Skogsindustrierna



**SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut** utvecklar och förmedlar teknik för näringslivets utveckling och konkurrenskraft och för säkerhet, hållbar tillväxt och god miljö i samhället. Vi har Sveriges bredaste och mest kvalificerade resurser för teknisk utvärdering, mätteknik, forskning och utveckling. Vår forskning sker i nära samverkan med högskola, universitet och internationella kolleger. Vi är drygt 830 medarbetare som bygger våra tjänster på kompetens, effektivitet, opartiskhet och internationell acceptans.



SP är organiserat i åtta tekniska enheter och fyra dotterbolag.

SP Träteknik  
 SP RAPPORT 2006:63  
 ISBN 91-85533-56-4  
 ISSN 0284-5172



**SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut**

Box 857  
 501 15 BORÅS  
 Telefon: 033-16 50 00, Telefax: 033-13 55 02  
 E-post: info@sp.se, Internet: www.sp.se

A Member of

 **United Competence**