



# LUND UNIVERSITY

## Brottmekanik och hållfasthet för trä: Uppfläkningsbrott och bärförmåga vid långtidsbelastning

Gustafsson, Per-Johan

2001

*Document Version:*  
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Gustafsson, P.-J. (2001). *Brottmekanik och hållfasthet för trä: Uppfläkningsbrott och bärförmåga vid långtidsbelastning*. (TV SM-7000; Nr. TVSM-7132). Division of Structural Mechanics, LTH.

*Total number of authors:*

1

### General rights

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

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

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

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

### Take down policy

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

LUND UNIVERSITY

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



**LUND**  
UNIVERSITY

Slutrapport  
med rapportförteckning för  
BFR-projekt nr 19960635  
**BROTTMEKANIK OCH HÅLLFASTHET  
FÖR TRÄ: UPPFLÄKNINGSBROTT  
OCH BÄRFÖRMÅGA VID  
LÅNGTIDSBELASTNING**

PER JOHAN GUSTAFSSON

---

Structural  
Mechanics

---



Structural Mechanics

ISRN LUTVDG/TVSM--01/7132--SE (1-9)

ISSN 0281-6679

Slutrapport med rapportförteckning  
för BFR-projekt nr 19960635  
BROTTMEKANIK  
OCH HÅLLFASTHET FÖR TRÄ:  
UPPFLÄKNINGSBROTT OCH BÄRFÖRMÅGA  
VID LÅNGTIDSBELASTNING

Sammanställd Augusti, 2001 av

PER JOHAN GUSTAFSSON

Copyright © 2001 by Structural Mechanics, LTH, Sweden.  
Printed by KFS I Lund AB, Lund, Sweden, August 2001.

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

## 1. Projektöversikt

Projektet har möjliggjort ett flertal arbeten inom området trä-uppfläkningsbrott-långtidsbelastning. Fem huvuddelar kan identifieras:

- A. Medfinansiering av den del av EU-projektet ”Inlimmade skruvar för träkonstruktioner” för vilket Lunds universitet haft ansvar. Denna del av BFR-projektet har genomförts av P.J. Gustafsson och E. Serrano, Byggnadsmekanik, LTH.
- B. Forskningsarbetet ”Dymlingsförband belastade vinkelrätt träts fiberriktning”. Denna del av BFR-projektet genomföres av P.J. Gustafsson och H.J. Larsen.
- C. Delfinansiering av licentiatarbetet ”Fracture analysis of orthotropic beams”. Forskarstuderande: F. Stefansson med P.J. Gustafsson och H. Petersson som handledare.
- D. Delfinansiering av arbete med sprida kunskap om brottmekaniska metoder för analys av brottfenomen i träkonstruktionselement. Presentationer mm gjorda av P J Gustafsson.
- E. Bidrag till datainsamling avseende fukt i trä i naturligt varierande klimat. Arbetet samordnat av P.J Gustafsson.

## 2. Inlimmade skruvar för träkonstruktioner

BFR-projektet gav finansiering till att utarbeta en ansökan och plan för Lunds universitets del i EU-forskningsprojektet ”Glued-in rods for timber structures”, inom programmet SMT, ”standardization measurement and testing”, proposal no PL97-1420, senare, efter att ansökan beviljats, benämnt no SMT4-CT97-2199. Projektet, förkortat som ”GIROD”, hade följande 5 huvuddeltagare:

- the Swedish National Testing and Reserach Institute,
- University of Stuttgart,
- Lund University,
- University of Karlsruhe och
- TRADA Tecknology, UK.

Projektid 98.02.01-01.01.31, med senare förlängning till 01.04.30. Lunds universitets deltagande skedde genom avdelningen Byggnadsmekanik och med kompletterande finansiellt stöd av resurser från BFR-projektet.

Projektet var organiserat i ett antal ”Workpackage, WP”, varav Byggnadsmekanik hade huvudansvar för WP1, ”Development of a calculation model” och deltog med prov-

ningsarbeten i WP4, "Effect of moisture conditions" och WP5, "Duration of load test of full sized glued-in rod specimens".

Provningsarbetena inom WP4 och WP5 genomfördes vid den försöksanläggning som inom tidigare projekt byggts upp i Asa för provning av långtidsbärförmåga hos konstruktionselement vid naturligt varierande klimatförhållanden, motsvarande "open shelter conditions". Provningsresultaten har tillställts den projektpartner, University of Stuttgart, som har ansvar för WP4 och WP5.

WP1 omfattade fyra delar: "WP1.1, Theoretical work", "WP1.2 Bond line tests of mechanical properties", "WP1.3 Tests for calibration and verification" and "WP1.4 Calibration and verification of model". Provningsarbetet inom WP1.3 genomfördes i huvudsak vid University of Stuttgart. Resulten från WP1 är redovisade i följande 7 publikationer

1. Gustafsson P.J. and Serrano, E.: 'Glued-in rods for timber structures – Development of a calculation model', Report TVSM-3056, Div. of Structural Mechanics, Lund University, Sweden, 2001, 96 pages.
2. Serrano, E.: 'Glued-in Rods for Timber Structures. An Experimental Study of Softening Behaviour', Materials and Structures. 34 (238), May 2001, RILEM Publications, pp.228-234.
3. Aicher, S.: 'Glued-in rods for timber structures (GIROD), WP1.3 – Tests for calibration and verification', Technical Report, Otto-Graf-Institute, University of Stuttgart, Germany, 2001.
4. Aicher, S.: 'Characteristic axial resistance of threaded rods glued-in spruce dependant on adhesive type - A complementary database for the GIROD project', Otto-Graf-Institute, University of Stuttgart, Germany, 2001.
5. Aicher, S., Gustafsson, P.J. and Wolf, M.: 'Load displacement and strength of glued-in rods in timber', In proc. of the 1<sup>st</sup> RILEM Symposium on Timber Engineering, Stockholm 1999, pp 369-378.
6. Serrano, E.: 'Glued-in Rods for Timber Structures. A 3D Model and Finite Element Parameter Studies', Int. J. of Adhesion and Adhesives. 21(2) (2001) pp.115-127.
7. Gustafsson P.J., Serrano, E., Aicher, S., and Johansson, C.J. "A Strength Design Equation for Glued-in Rods", Accepted for presentation at the Symposium on Joints in Timber Structures, 55th RILEM Annual Week, Stuttgart, Germany, Sept. 2001

### **3. Dymlingsförband belastade vinkelrätt träts fiberriktning**

I denna del av BFR-projektet studeras bärförmågan hos mekaniska förband där förbindarna påverkar trät vinkelrätt mot fiberriktningen på sådant sätt att de finns risk för att trät fläks upp genom snabb sprickpropagering längs träts fiberriktning. Arbetet har innefattat ett stort experimentellt program. För provningarna valdes fanerträ (laminated veneer lumber, LVL), som är ett förhållandevis homogent material. Provningsarna innefattade 4 förbandstyper samt provkroppar för provning av sprickpropagerings-

egenskaper (DCB-provkroppar) och draghållfasthetsegenskaper. Provingar avsåg bärförmåga vid kortvarig stegbelastning och vid långvarig belastning vid lastnivåerna 65% och 80%. Klimaten var dels konstant klimat, dels naturligt varierande klimat. Provingar gjordes för de fyra årstiderna vår, sommar, höst och vinter. Arbetet har även, i mindre omfattning, innefattat teoretisk arbete, bl.a. har framkommit ett på brottmekanik rationellt baserat enkelt beräkningsuttryck för uppfläkningsbärförmåga. Provningsarbetet är avslutat. Rapporteringsarbete pågår. Följande 3 publikationer har (hittills) framkommit från denna del av BFR-projektet:

1. Larsen, H.J. and Gustafsson, P.J., "Timber joints loaded perpendicular to the grain - Long-term strength; theory and experiments", In proc. of NATO Advanced Research Workshop: "The Paramount Role of Joints into the Reliable Response of Structures. From the rigid and Pinned Joints to the Notion of Semi-rigidity", Ouranoupolis, Greece, May 2000, 11 pages.
2. Larsen, H.J. and Gustafsson P.J., "Dowel Joints Loaded Perpendicular to Grain", Accepted for presentation at the CIB W18 Meeting, August 2001
3. Gustafsson P.J. and Larsen, H.J., "Dowel Joints Loaded Perpendicular to Grain", Accepted for presentation at the Symposium on Joints in Timber Structures, 55th RILEM Annual Week, Stuttgart, Germany, Sept. 2001

#### **4. Licentiatarbetet "Fracture analysis of orthotropic beams"**

BFR-projektet har gett delfinansiering till detta pågående licentiatarbete. Finansieringen i övrigt har kommit från universitetets fakultetsmedel. Den licentiatstuderande, Fridberg Stefansson, är nu anställd inom byggindustri och planerar att presentera sin avhandling 2001.09.28. Avhandlingen omfattar studier av olika sätt att simulera spricktillväxt och beräkna bärförmågan hos olika typer av träbalkar med detaljutformning som medför risk för brott genom uppsprickning längs balken. Beräkningsmetoderna har genomgående varit baserade på brottmekanik: linjärelastisk brottmekanik, modifierad och utvecklad linjär brottmekanik och olinjär brottmekanik. En värdefull och inte tidigare publicerad del av avhandlingen utgöres av materialprovingar avseende spänning versus deformation i en brottzon i trä. Provingarna visar hur spänningen över brottzonen gradvis minskar med ökande lokal deformation. Provningsresultat redovisas för ren dragbelastning vinkel fiber, ren skjuvbelastning vinkelrätt fiber och för olika kombinationer av dragning och skjuvning. Följande publikationer är kopplade till denna del BFR-projektet:

1. Gustafsson, P.J., Petersson, H. and Stefansson, F., "Fracture analysis of wooden beams with holes and notches", In proc. of the International Wood Engineering Conference, New Orleans, U.S.A., 1996 vol 4, pp. 281-294.
2. Stefansson, F., Gustafsson, P.J. and Petersson, H., "Fracture analysis of beams with stress concentrations", In proc. of the 5th World Conference on Timber Engineering, Montreal, Switzerland, 1998 vol. 1, pp. 856-857.
3. Persson, K., Petersson, H. and Stefansson, F., "Cell structure modelling for determination of mechanical properties of wood.", Proceedings of the Conference on Plant Mechanics, Redding UK, 1997, pp 171-177.

4. Stefansson, F., "Fracture analysis of orthotropic beams. Linear elastic and non-linear methods", Licentiate thesis, Report TVSM-3029, Division of Structural Mechanics, Lund University, to be published in 2001.

## **5. Kunskapsspridning avseende brottmekaniska metoder för rationell analys av brott i träkonstruktionselement.**

Genom erfarenhet är det väl känt att trä är svagt och sprött vinkelrätt fiber. Detta visar sig vid belastning av konstruktionselement och vid egenspanningar som t.ex. kan orsakas av fuktvariation. Erfarenheterna har för dimensionering uttryckts i empiriska samband och regler. Metoder för rationellt analys av brott vinkelrätt fiber saknas till stor del fortfarande. Emellertid har forskning under de senaste 10-20 åren om brottmekanisk analys av kvasispröda materials brott visat på en potentiellt framkomlig väg. För att kunna utnyttja brottmekanikens möjligheter för rationell analys behöver forskare och normskrivare uppmärksammas på möjligheterna och ingenjörer ges möjlighet att ta av hittills framkomna resultat. En del av resurserna från aktuellt BFR-projekt har satsats på sådan informationsverksamhet. Verksamheten har innefattat presentationer vid informationsmöten, konferenser och forskarutbildningskurser. Skriftlig dokumentation finns för

1. Gustafsson, P.J. and Serrano, E., "Fracture mechanics in timber engineering – some methods and applications", In proc. of the 1<sup>st</sup> RILEM Symposium on Timber Engineering, Stockholm 1999, pp 141-150.
2. Gustafsson, P.J., "Svaghet hos trä: brott vinkelrätt fiber", Träforsks FoU-dag I Lund, mars 1999, OH-sammanställning som Träforsk erhållit för publicering.
3. Gustafsson, P.J., "Fracture Perpendicular to Grain – Structural Applications", (uppsats 32 sidor + 30 OH + laborationsanvisning) sammanställd för den nationella forskarkursen "Advanced Timber Engineering". Uppsatsen kommer att tryckas som en del i en bok, accepterad för publicering av förlaget John Wiley & Son.

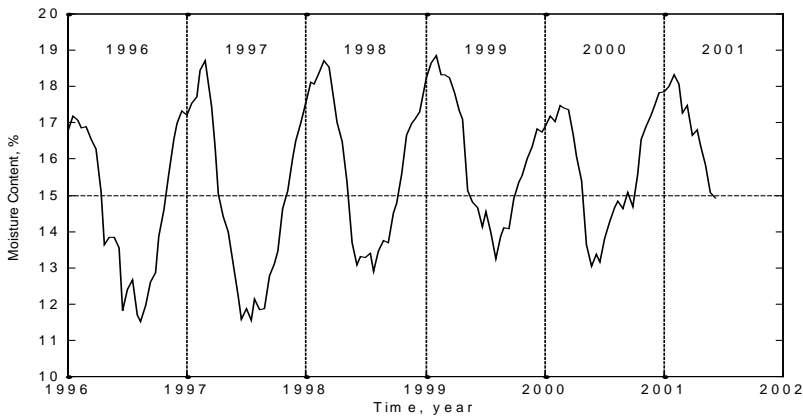
Arbetet med referenserna 1 och 2 var i sin helhet finansierat av BFR-projektet. Arbetet med referens 3 var till del finansierat av forskarskolan "Trämekanik" – "Wood Technology".

## **6. Datainsamling avseende fukt i trä**

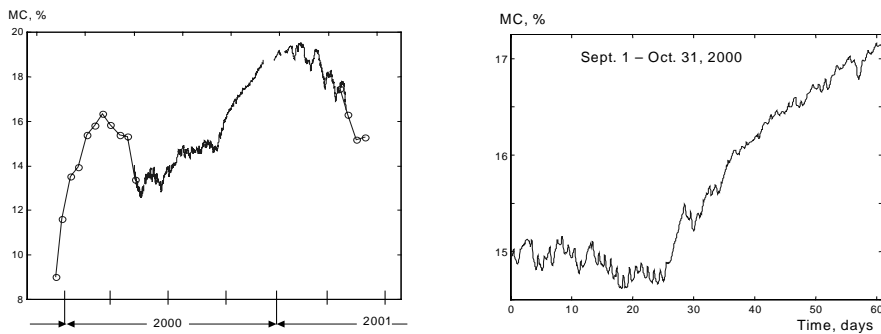
Sedan årsskiftet 1994-95 har det pågått mätningar av klimat och fukt i en ventilerad, icke uppvärmd lokal, belägen i Asa, Småland. Förhållandena motsvarar ungefär det som brukar benämnas "open shelter". Mätningarna har inkluderat kontinuerlig registrering av temperatur och luftfuktighet samt vägning av träprover för bestämning fuktkvot. Mätningarna har under de senaste 2 åren kunnat genomföras tack vare finansiering



genom BFR-projektet och under denna senaste period även kompletterats med kontinuerlig vägning av träprovkroppar som ständigt ligger på tre elektroniska vågar. Under hela tidsperioden 1994/95 till nu, dvs under 6.5 år, ett antal limträbitar med den effektiva storleken  $90 \times 100 \times 800 \text{ mm}^3$  vägts manuellt var 14:e dag. Resultaten från dessa vägning visas för åren 1996-2001 i Figur 1. Materialet placerades i lokalen i september 1994 och det krävdes, uppskattningsvis, 12 månader, för att fuktvariationen skulle komma nära ett långsiktig "steady state" förhållande. I Figur 2 visas fuktkvoten för 40 mm tjockt laminat-trä, LVL. Klimat och fuktmättningsresultaten är av stort värde i kombination med de olika hållfasthetsprovningar som gjorts och även av betydande egenvärde. De har använts och visats i många olika sammanhang. Emellertid har inte ännu resultaten sammanställts i någon publikation som enbart redovisar klimat och fuktresultaten. Figurerna 1 och 2 är från publikationen nummer 3 i avsnitt 3 ovan.



Figur 1. Fuktkvot i träprover med den effektiva storleken  $90 \times 100 \times 800 \text{ mm}^3$



Figur 2. Medelfuktkvoten i LVL med tjockleken 40 mm i naturligt varierande klimat.

## **7. Summering**

Det aktuella projektet BFR-projekt nr 19960635 "Brottmekanik och hållfasthet för trä: uppfläkningsbrott och bärförmåga vid långtidsbelastning" har omfattat knappt 4 år med en finansiering motsvarande 50% av en person inklusive bikostnader. Projektet har gett värdefull stöd till den pågående utvecklingen av rationella metoder för analys av brott i trä och träkonstruktionselement vinkelrätt mot fibrernas riktning. Projektet har helt eller delvis finansierat ett antal studier om uppfläkningsbrott och bärförmåga vid långtidsbelastning som i skriftlig form redovisats 17 publikationer. Projektet visar tydligt på att metoder baserade på rationell brottmekanik har stor utvecklingspotential och att det är inom detta område som forskningsinsatser bör göras för utveckling av bärförmågeberäkningsmetoder från olika rent empiriska samband till samband som kan förstås och förklaras utifrån rationella grunder.

---

## Referat

Projektet har finansierat eller delfinansierat ett antal studier om uppfläkningsbrott i konstruktionselement av trä och deras bärförmåga vid långtidsbelastning, speciellt vid varierande klimat. Med uppfläkningsbrott menas här brott genom sprickpropagering längs fibrerna, orsakat av skjuv- och dragspänningar vinkelrät fiberriktningen. Projektet har innefattat experimentella provningar, både fullskaleprovningar och provningar av trämaterials brottgenskaper. Projektet har även omfattat olika teoriarbeten där den gemensamma nämnaren och strävan varit utveckling av rationella beräkningsmetoder baserade på mekanik, speciellt brottmekanik. De konstruktionselement som studerats är mekaniska förband (dymlingsförband), i limträ inlimmade skruvar och balkar med olika geometriska diskontinuiteter. Projektet har vidare gett stöd till insamling av klimat- och fuktkvotdata. Resultaten redovisas i 17 publikationer, varav flertalet främst vänder sig till normförfattare, forskare och/eller konstruktörer, och någon till studenter på fortsättningskursnivå.

## Abstract

The project has provided financial support to a number of studies of cleavage fracture of structural elements of wood and their load bearing capacity at long duration of the load, in particular at naturally varying climatic conditions. By cleavage fracture is here meant fracture by crack propagation along the grain, caused by shear and tensile stresses perpendicular to grain. The project has comprised experimental tests, both full scale testing and testing of fracture properties of the material. The project has also included theoretical work, where the efforts have been concentrated on development rational methods of calculation based on mechanics, in particular fracture mechanics. The structural elements that have been studied are dowel joints, glued in rods and beams with geometrical discontinuity. The project has moreover given support the collection of data on climatic conditions and moisture content. The results are presented in 17 publications, most of them with a primarily intended audience of code writers, researchers and structural designers and some for advanced level students in structural design.