

# Svenska Mekanikdagar 2007

Program och abstracts

<https://docplayer.se/23549650-Research-report-svenska-mekanikdagar-2007.html>

Sammanställt av  
Niklas Davidsson och Elianne Wassvik

Luleå tekniska universitet

Research report  
Institutionen för Tillämpad fysik, maskin- och materialteknik  
Avdelningen för Strömningslära

# SMD07

Svenska Mekanikdagar  
Luleå 13-15 juni 2007

## Svenska Mekanikdagar 2007

Forskningsrapport  
Luleå tekniska universitet  
Institutionen för tillämpad fysik, maskin- och materialteknik

Sammanställt av Niklas Davidsson och Elianne Wassvik, Avdelningen  
för strömningslära. Detta dokument finns även tillgängligt på

<http://epubl.ltu.se/1402-1528/2007/10/>

ISSN: 1402-1528  
ISRN: LTU-FR--07/10--SE

This document was typeset in  $\text{\LaTeX} 2_{\epsilon}$

---

# SPONSORER

---



**SCANIA**

**VATTENFALL**



**KUNGL.  
VETENSKAPSAKADEMIEN**  
THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES



**COMSOL**

**LKAB**



---

# FÖRORD

---

Här presenteras abstract till 20:e upplagan av Svenska mekanikdagar (SMD07) som arrangeras av Svenska nationalkommittén för mekanik. Svenska mekanikdagarna anordnas vartannat år och ger ett unikt tillfälle för svenska mekaniker inom olika forskningsområden att träffas.

Årets upplaga av Svenska mekanikdagar innehåller drygt 100 presentationer, uppdelade i kategorierna modeller och metoder, energi, tillverkning/process, fordon/infrastruktur samt biomekanik och naturmaterial. Förutom dessa ges även ett antal plenarföreläsningar, vars ämnen valts med viss lokal anknytning. Konferensens höjdpunkt är Folke Odqvist-föreläsningen, som i år handlar om strömning i köket såväl som i långa rör.

/Organisationskommittén

## Organisationskommittén

- Staffan Lundström
- Niklas Davidsson
- Theresa Gustafsson
- Lennart Karlsson
- Roland Larsson
- Mats Oldenburg
- Marie-Louise Palmblad
- Angelica Svanbro

## Programkommittén

- Mikael Sjö Dahl
- Jan-Olov Aidanpää
- Rikard Gebart
- Håkan Gustavsson
- Anders Holmberg
- Erik Höglund
- Lars-Erik Lindgren
- Per Ståhle
- Karl-Gustav Sundin
- Janis Varna

## Doktorandgruppen

- Jesper Eman
- Fredrik Forsberg
- Gunnar Hellström
- Erik Isaksson
- Martin Karlsson
- Erik Olsson
- Elianne Wassvik



---

# INNEHÅLL

---

1	Sponsorer	3
2	Förord	5
3	Program	9
4	Folke K.G. Odqvist-föreläsning	19
5	Sessioner	21
6	Föredragshållare	133





---

# PROGRAM

---

Onsdag 13/6	Torsdag 14/6	Fredag 15/6
Restid	09.00 Plenarföreläsning <b>Simon Töyrä</b> LKAB	09.00 Plenarföreläsning <b>Lars Lidgren</b> LUS
09.30 Fika	09.45 Fika	09.45 Fika
10.00 Välkommen	10.00 Parallellsessioner	10.10 Plenarföreläsning <b>Peter Rohlin</b> Energimyndigheten
10.10 Plenarföreläsning <b>Wing Kam Liu</b> NWU		
11.00 Parallellsessioner	11.00 SNM-föreläsning <b>Henrik Alfredsson</b> KTH	11.00 Parallellsessioner
12.00 Lunch	12.00 Lunch	12.00 Lunch
13.30 Parallellsessioner	13.30 Plenarföreläsning <b>Hasse Johansson</b> Scania	13.30 Paneldebatt 15.00 Officiell avslutning
14.30 Fika	14.15 Fika	Restid
15.00 Parallellsessioner	14.45 Parallellsessioner	
16.00 Parallellsessioner	15.45 Parallellsessioner	
Kvällsaktiviteter 18.00 Mingel 19:00 Avfärd, aktiviteter	Kvällsaktiviteter 19.30 Fördrink 20:00 Konferensmiddag	

## Onsdag 13 juni

09:30	Morgonfika.
10:00	Lilla salen, officiellt öppnande. <b>Mikael Jonsson</b> , Pro-rector LTU. <b>Staffan Lundström</b> , Organisationskommittén. <b>Mikael Sjödhall</b> , Programkommittén.
10:10	Lilla salen, plenarföreläsning inom Modeller och metoder <b>Wing Kam Liu</b> , Northwestern University, Evanston IL, USA <i>Multiresolution Mechanics for Heterogeneous Materials</i>
11:00	Sessioner, pass 1.
12:00	Lunch.
13:30	Sessioner, pass 2.
14:30	Fika.
15:00	Sessioner, pass 3.
16:00	Sessioner, pass 4.

### Session 1: Modeller och metoder, rum Lilla salen

Pass 1	11.00-12.00
1:1	<b>Etienne Mfoumou</b> , C Hedberg, S Kao-Walter, <i>Remote Acoustic Monitoring of Materials: Application to Thin Sheets having no Bending Stiffness</i>
1:2	Kristian Haller, <b>Claes M Hedberg</b> , Oleg V Rudenko, <i>Olinjär akustisk vågmodulations-spektroskopi för oförstörande materialprovning</i>
1:3	<b>Claes Hedberg</b> , Kristian Haller, Oleg Rudenko, <i>Separation av snabb och långsam dynamik hos fasta material</i>
Pass 2	13.30-14.30
1:4	<b>Pär Olsson</b> , Solveig Melin, Christer Persson, <i>Atomiska böjsimuleringar av nanobalkar bestående av BCC-järn</i>
1:5	<b>Fredrik Larsson</b> , Kenneth Runesson, <i>Time-sequential adaptive technique for the visco-plasticity problem</i>
1:6	<b>Håkan Johansson</b> , Fredrik Larsson, <i>Identification of viscoelastic relaxation spectra from quasi-static test data</i>
Pass 3	15.00-16.00
1:7	<b>Johannes Eitzenberger</b> , <i>Sprickstolekens (COD) beroende av blandningsförhållande och elastiska egenskaper hos fiber och matris i kontinuerliga och enhetsriktade (UD) kolfiberkompositier</i>
1:8	<b>Andreas Almqvist</b> , Peter Wall, <i>Homogenization Applied in Rough Surface Hydrodynamic Lubrication</i>
1:9	<b>Christina Bjerken</b> , <i>Spänningskorrosion - modellering av utveckling från ytojämnheter via gropar till sprickor</i>
Pass 4	16.00-17.00
1:10	<b>Marco Rapetto</b> , R Larsson, A Almqvist, P.M Lugt, <i>On the influence of surface roughness on real area of contact in normal, dry, friction free, rough contact by using a neural network</i>
1:11	<b>Samuel Cuppillard</b> , M Cervantes, S Glavatskih, <i>Pressure Build-up mechanism in a textured inlet of a slider bearing</i>
1:12	<b>Mathias Wallin</b> , <i>Linking discrete dislocation plasticity to continuum plasticity</i>

Session 2: Energi, rum VIP-rum

Pass 1	11.00-12.00
2:1	<b>Henrik Wiinikka</b> , <i>CFD simulering, konstruktion och utprovning av startuppbrännare till en svartlutsförgasare</i>
2:2	<b>Ida Jansson</b> , Michel Cervantes, <i>Dynamic load measurements on a 10MW Kaplan runner - design and evaluation of a pressure measurement system at the Porjus Hydropower Centre</i>
2:3	<b>Michael Thomas</b> , <i>Transient growth in the asymptotic suction boundary layer</i>
Pass 2	13.30-14.30
2:4	<b>Pontus Jonsson</b> , M. Cervantes, M. Finnström, <i>Numerical investigation of the Gibson's method</i>
2:5	<b>Berhanu Mulu</b> , M. Cervantes, <i>Effects of inlet boundary conditions in spiral casing simulation</i>
2:6	<b>Walter Gyllenram</b> , <i>Turbulensmodellering för instationär virvlande strömning i sugrör</i>
Pass 3	15.00-16.00
2:7	<b>Daniel Marjavaara</b> , <i>CFD Driven optimering av vattenvägarna i ett vattenkraftverk med hjälp av surrogatmodeller</i>
2:8	<b>Håkan Nilsson</b> , <i>Strömningsberäkningar för vattenkraft med OpenFOAM</i>
2:9	<b>Martin Karlsson</b> , Håkan Nilsson, <i>Strömningsexciterade svängningar i vattenkraftturbiner - Hur ska strömningen genom en turbin modelleras i en rotordynamisk modell?</i>

Session 3: Tillverkning/Process, rum Konferensrum 1

Pass 1	11.00-12.00
3:1	<b>Malte Kjellander</b> , <i>Hög energikoncentration vid stötvägsfokusering</i>
3:2	<b>Jessica Strömbro</b> , Peter Gudmundson, <i>Mikromekanisk modellering av papper utsatt för tryckbelastning och fuktvariationer</i>
3:3	<b>Göran Lindkvist</b> , <i>Simulering av formblåsning</i>
Pass 2	13.30-14.30
3:4	<b>Jens Hardell</b> , Elisabeth Kassfeldt, Braham Prakash, <i>Högtemperatur-tribologi för verktygsstål och höghållfast borstål</i>
3:5	<b>Paul Håkansson</b> , <i>Modellering av värmegenerering i polykristallina material vid cyklisk belastning</i>
3:6	<b>Sofia Ebermark</b> , Daniel Marjavaara, Staffan Lundström, <i>Pressning av SMC: Numeriska tryckfältsberäkningar med hjälp av inversmodellering</i>
Pass 3	15.00-16.00
3:7	<b>Kouros Tatar</b> , <i>Vibrationsmätning på roterande fräsverktyg med laservibrometri</i>
3:8	<b>Timmy Sigfrids</b> , Monika Fällman, Fredrik Lundell, L Daniel Söderberg, <i>Tidsupplösta turbulensmätningar i flerfasströmning med mikrokonduktivitetssond</i>
3:9	<b>Pär Jonsén</b> , <i>Tensile fracture in high velocity compacted metal powder</i>

Session 4: Fordon/Infrastruktur, rum Olga Bardh

Pass 1	11.00-12.00
4:1	<b>Markus Burak</b> , <i>Prediction of flow induced noise for a mixer-ejector engine configuration using LES</i>
4:2	<b>Sinisa Krajonovic</b> , <i>Aerodynamisk optimering av höghastighetståg med CFD och surrogatmodeller</i>
4:3	<b>Fredrik Wallin</b> , L-E Eriksson, <i>Endwall Shape Optimization of an Intermediate Turbine Duct</i>
Pass 2	13.30-14.30
4:4	<b>Mikael Nybacka</b> , Tobias Larsson, <i>Distribuerad simulering och visualisering av fordonsdynamik i realtid</i>
4:5	<b>Susann Boij</b> , Mats Åbom, Sabry Allam, <i>Akustiska egenskaper för strypningar i rör</i>
4:6	<b>Eric Setterqvist</b> , <i>Stabilitetsanalys av flygmotorkomponenter med beaktande av tillverkningsdefekter</i>
Pass 3	15.00-16.00
4:7	<b>Anna Runnemalm</b> , <i>Validering i produktutveckling ur ett industriperspektiv</i>
4:8	<b>Jesper Eman</b> , <i>Brottöjningar vid hål i ultrahöghållfast stål för olika håltagningsmetoder</i>
4:9	<b>Magnus Hofwing</b> , E Gustafsson, N Stömberg, <i>Simulering och mätning av restspänningar i spänningsharpor</i>
Pass 4	16.00-17.00
4:10	Per Salomonsson, <b>Mats Oldenburg</b> , P Åkerström, G Bergman, <i>Utveckling av mikrostruktur och mekanisk respons vid presshårdning</i>
4:11	<b>Anders Biel</b> , <i>Inverkan av inhomogena materilegenskaper i ett limskikt belastad i modus I</i>
4:12	<b>Pär Nyman</b> , <i>Litteraturstudie våta kopplingar och bromsar</i>

Session 5: Biomekanik och naturmaterial, rum Konferensrum 2

Pass 1	11.00-12.00
5:1	<b>Anders Gavelin</b> , <i>Seat Integrated Safety Belts: A Parametric Study Using Finite Element Simulations</i>
5:2	<b>Ulf Hejman</b> , Per Ståhle, C Bjerken, <i>Experiment och simulering av materialupplösningsspricka</i>
5:3	<b>Torbjörn Green</b> , Elianne Wassvik, Staffan Lundström, Håkan Gustavsson, <i>Helfältsmätning av strömning genom lockvattenanordning</i>
Pass 2	13.30-14.30
5:4	<b>Erik Marklund</b> , <i>Mikromekanisk modell för beräkning av fiberegenskaper i träfiberkompositer</i>
5:5	<b>Allan Carlsson</b> , J Fjellgren, F Lundell, <i>Fiberorientering i skjuvströmning över en solid yta</i>
5:6	<b>Shiho Tanaka</b> , S Dvinskikh, F Lundell, S Furó, L D Söderberg, <i>Flow measurements in fiber suspension by NMR</i>
Pass 3	15.00-16.00
5:7	<b>Lars Berglund</b> , Carl S Moden, Andrey Shipsha, <i>Trä som kompositmaterial</i>
5:8	<b>Per Ståhle</b> , Lelie Banks-Sills, <i>Belastningsstimulerad tillväxt av kortkalt ben</i>
5:9	<b>Roland Gårdhagen</b> , Johan Renner, Dan Loyd, Matts Karlsson, <i>Väggskevspänning i individspecifika modeller av aorta</i>

### Torsdag 14 juni

09:00	Lilla salen, plenarföreläsning inom Process och tillverkning <b>Simon Töyrä</b> , LKAB <i>Underjordslagring av pellets, en design för att upprätthålla produktkvalité</i>
10:00	Sessioner, pass 4-5
11:00	Lilla salen, Folke Odqvistföreläsningen <b>Henrik Alfredsson</b> , Mekanik KTH <i>Kulinarisk strömningsmekanik och andra godbitar</i>
12:00	Lunch.
13:30	Lilla salen, plenarföreläsning inom Fordon och infrastruktur <b>Hasse Johansson</b> , forsknings- och utvecklingschef på Scania <i>Lastbilen - en pålitlig transportmaskin</i>
14:15	Fika
14.45	Sessioner, pass 5-7

### Session 1: Modeller och metoder, rum Lilla salen

Pass 5	10.00-11.00
1:13	<b>Erik Olsson</b> , <i>Selektiv avbildning av primära ljudkällor</i>
1:14	<b>Lars Jacobsson</b> , Christer Persson, Solveig Melin, <i>Mätning av deformationsfältet längs utmattningsprickor ur in-situ SEM bilder</i>
1:15	<b>Mateuz Stec</b> , Jonas Faleskog, <i>Mikromekanisk modellering av sprickpropagering över korngräns i ferritiska stål</i>
Pass 6	14.45-15.45
1:16	<b>Niclas Strömberg</b> , <i>En implicit metod för kontakt och stötproblem med stora rotationer</i>
1:17	<b>Janna Jiang</b> , Niklas Järvstråt, <i>Mesoscale FE-simulation of dissipative but reversible mechanical behaviour in MAX-phase materials</i>
1:18	<b>Imad Barsoum</b> , Jonas Faleskog, <i>Mikromekanisk analys av duktilt brott i kombinerad drag- och skjvbelastning</i>
Pass 7	15.45-16.45
1:19	<b>Magnus Ekh</b> , Mikkel Grymer, Kenneth Rundesson, <i>Computational Aspects on Multiscale Modeling of Polycrystals with Gradient Crystal Plasticity</i>
1:20	<b>Eleonora Lind</b> , Peter Göransson, <i>Parametric relations of porous foams and their use in optimization of structural acoustical performance of multilayer trim components</i>
1:21	<b>Lars Davidson</b> , <i>HYBRID LES-RANS: Inlet Boundary Conditions for Flows Including Recirculation</i>

Session 2: Energi, rum VIP-rum

Pass 5	10.00-11.00
2:10	<b>Tobias Tivert</b> , <i>Wind-driven rivulet over an edge with break-up</i>
2:11	<b>Martin Olausson</b> , <i>Nonlinear Rotor Wake/Stator Interaction Calculations by using Time Domain Chorochronic Solver</i>
2:12	<b>Magnus Marklund</b> , <i>Comprehensive CFD Model Predictions in High Temperature Black Liquor Gasification</i>
Pass 6	14.45-15.45
2:13	<b>Rikard Gebart</b> , <i>The importance of mechanics in black liquor gasification</i>
2:14	<b>Johan Revstedt</b> , <i>Strömningsinducerade vibrationer hos en kort cirkulär cylinder i en kanal</i>
2:15	<b>Gunnar Hellström</b> , Staffan Lundström, <i>Flöde genom poröst material vid varierande Reynolds tal</i>

Session 3: Tillverkning/Process, rum Konferensrum 1

Pass 4	10.00-11.00
3:10	<b>Gabriele Bellani</b> , Fredrik Lundell, L Daniel Söderberg, <i>PIV study on a multiphase flow: the formation of a fibre network</i>
3:11	<b>Peter Mannberg</b> , Gunnar Bergman, Stefanie Römhild, <i>Kopplade fukt, temperatur och mekaniska simuleringar för att förutsäga blåsbildning i glasfiberarmerad esterplast (GAP)</i>
3:12	<b>Anna-Lena Ljung</b> , T Staffan Lundström, <i>Strömningsmekaniken för torkning av järnmalmspelletts</i>
Pass 5	14.45-15.45
3:13	<b>Erik Gustafsson</b> , Niclas Strömberg, <i>Strukturoptimering av gjutgods med hänsyn tagen till gjutspänningar</i>
3:14	<b>Gustaf Gustafsson</b> , <i>Simulering av järnmalmspellettsflöde med SPH</i>
3:15	<b>Outi Tammisola</b> , Fredrik Lundell, L Daniel Söderberg, <i>Numerisk stabilitetsanalys av en plan vattenstråle i luft</i>

Session 4: Fordon/Infrastruktur, rum Olga Bardh

Pass 5	10.00-11.00
4:13	<b>Marika Torbacke</b> , <i>Tribologiska hänsyn vid utveckling av en miljöanpassad propellerhylsolja</i>
4:14	<b>Christian Johansson</b> , Andreas Larsson, Tobias Larsson, <i>Knowledge Enabled Engineering - Knowledge Lifecycle Approach</i>
4:15	<b>Magnus Svanberg</b> , <i>Formförändringar i svepta kompositbalkar</i>
Pass 6	14.45-15.45
4:16	<b>Magnus MackAldener</b> , <i>Forskarutbildad på Scania</i>
4:17	<b>Henrik Wentzel</b> , <i>Industriforskning och kvartalsrapporter på Scania - skruvförband</i>
4:18	<b>Anders Jonsson</b> , <i>Termisk utmattning av cylinderhuvuden</i>
Pass 7	15.45:16.45
4:19	<b>Hassan Hemida</b> , Simisa Krajnovic, <i>Flow Around Vehicles Under The Influence of Side Winds</i>
4:20	<b>Johan Tillberg</b> , Fredrik Larsson, Kenneth Runesson, <i>Elastoplastic Fracture Mechanics With Application to Fatigue Crack Propagation in Rails</i>
4:21	Timm Pieper, <b>Gunilla Efraimsson</b> <i>Numerisk simulering av utbredningen av plana akustiska vågor i en kanal med strypning</i>

Session 5: Biomekanik och naturmaterial, rum Konferensrum 2

Pass 4	10.00-11.00
5:10	<b>Jonas Stålhand</b> , Anders Klarbring, Gerhard A Holzappel, <i>Mekanisk modell för muskelkontraktionen i artärer</i>
5:11	<b>Sofie Högberg</b> , Hans O Åkerstedt, T Staffan Lundström, <i>Deposition av nanopartiklar i luftvägarna: analys med CFD</i>
5:12	<b>Johan Renner</b> , Roland Gårdhagen, Dan Loyd, Matts Karlsson, <i>Hastighetsvalidering av en CFD-baserad estimeringsmetod för väggsjuvspänningen i individualspecifika mänskliga artärer</i>
Pass 5	14.45-15.45
5:13	<b>Carl S Moden</b> , Lars A Berglund, <i>Trä som cellulärt kompositmaterial - en förenklad mikromekanisk analys</i>
5:14	<b>Carl-Johan Thore</b> , <i>Tryckestimering i artärer</i>
5:15	<b>Patrik Isaksson</b> , <i>Simulering av smörjfilmsuppbyggnad i glidlager</i>



## Fredag 15 juni

09:00	Lilla salen, Plenarföreläsning inom Biomekanik och naturmaterial <b>Lars Lidgren</b> , Department of Orthopedics, Lund University Hospital <i>New Methods for Bone and Tissue Repair</i>
09:45	Fika
10:10	Lilla salen, Plenarföreläsning inom Energi <b>Peter Rohlin</b> , Energimyndigheten <i>Mekanisk energi eller mekanik i energin? Forskning och ny teknik för framtidens energisystem</i>
11:00	Sessioner 1-5, pass 6-8
12:00	Lunch
13:30	Lilla salen, Paneldebatt kring mekanikforskningens framtidsfrågor <i>Vart är mekaniken på väg?</i>  Inleds med föredrag av <b>Arne Johansson</b> , huvudsekreterare VR Debattledare: <b>Jan Nyberg</b> , Plan sju AB Deltagare: <b>Arne Johansson</b> , Huvudsekreterare VR <b>Olof Johansson</b> , KK-stiftelsen <b>Ewa Hedqvist-Petersen</b> , Vindkraftssamordnare <b>Lars Lidgren</b> , Professor i Ortopedi, Lunds universitet <b>Anders Lundström</b> , Head of Feasibility Studies, Scania <b>Peter Rohlin</b> , Energimyndigheten <b>Anders Lundqvist</b> , energiansvarig, LKAB
15:00	Officiellt avslut

### Session 1: Modeller och metoder, rum Lilla salen

Pass 8	11.00-12.00
1:22	<b>Andreas Mark</b> , <i>A Novel Immersed-Boundary Method for Multiple Arbitrary Moving and Interacting Bodies</i>
1:23	<b>Per Sjövall</b> , <i>Systemidentifiering på komponentnivå och syntes av tillståndsvektormodeller</i>
1:24	<b>Anders Johansson</b> , <i>Thomas Abrahamsson, Jämförande studie av felmått för modelluppdatering</i>

### Session 2: Energi, rum VIP-rum

Pass 6	11.00-12.00
2:16	<b>Lisa Prahl</b> , Johan Revstedt, Laszlo Fuchs, <i>Interaktion mellan partiklar i ett tidsberoende flöde</i>
2:17	<b>Fredrik Forsberg</b> , <i>Optimeringsstudie av datortomografisystem för användning inom 3D bildkorrelation</i>
2:18	<b>Anne-Marie Schreyer</b> , Alessandro Talamelli, Henrik Alfredsson, <i>Avlösning kring en vass, kilformig framkant</i>

Session 3: Tillverkning/Process, rum Konferensrum 1

Pass 6	11.00-12.00
3:16	<b>Bijish Babu</b> , Andreas Lundbäck, <i>Dislocation density based constitutive model for Ti-6Al-4V used in simulation of Metal Deposition</i>
3:17	<b>Martin Fisk</b> , <i>FEM simulering av induktionsvärmningsprocess</i>
3:18	<b>Henrik Lycksam</b> , Per Gren, Mikael Sjö Dahl, <i>Digital holographic interferometry in a disturbed environment</i>

Session 4: Fordon/Infrastruktur, rum Olga Bardh

Pass 8	11.00-12.00
4:22	<b>Carl Dahlberg</b> , Peter Gudmundson, <i>Längdskaleberoenden för plastisk deformation av laminat</i>
4:23	<b>Christopher J Cameron</b> , P Wennhage, P Göransson, <i>Development of a representative component FE model from a complete vehicle FE model for structural and acoustic optimization</i>
4:24	<b>Hans Bodén</b> <i>The effect of flow and high acoustic excitation levels on the acoustic properties of perforates</i>

Session 5: Biomekanik och naturmaterial, rum Konferensrum 2

Pass 6	11.00-12.00
5:16	<b>Karin Almgren</b> , Kristofer Gamstedt, <i>En tomografisk undersökning av lastöverföring i kompositmaterial baserade på träfibrer</i>
5:17	<b>Patrik Pettersson</b> , <i>Fluid flow in wood fiber networks</i>



---

# FOLKE K.G.

## ODQVIST-FÖRELÄSNING

---

### **Kulinarisk strömningsmekanik och andra godbitar**

**P. Henrik Alfredsson**

Linné Flow Centre  
KTH Mekanik

Strömningsmekaniska fenomen kan observeras i många naturliga och tekniska sammanhang utanför laboratorierna. Molnformationer, vattenvågor, strömmar i vattendrag, virvlar bakom flygplan och bilar observeras och dessa är alla exempel på strömningsmekaniska fenomen. Det finns också många intressanta observationer som kan göras i samband med matlagning och andra övningar i köket. Föredragets första del kommer att illustrera ett antal sådana fenomen som också har teknisk och/eller naturvetenskaplig betydelse.

En skillnad mellan de experimentella observationer som kan göras i köksmiljö (och för övrigt i de flesta laboratoriemiljöer) och de tekniska och naturliga strömningsfält som nämns ovan, är att

Reynolds tal i köket är litet medan det i tekniska och naturliga sammanhang ofta är mycket stort. Höga Reynolds tal ger turbulent strömning och att åstadkomma höga Reynolds tal och samtidigt ha möjligheten att i mätningar kunna bestämma turbulensens struktur är svårt. Föredragets andra del kommer att beskriva ett nytt experiment som går under namnet CICLOPE (Center for International Cooperation in Long Pipe Experiment, se också [www.ciclope.unibo.it](http://www.ciclope.unibo.it)) som är under uppbyggnad i Italien med bland annat svensk medverkan. Utgångspunkten är här att åstadkomma ett experiment vid höga Reynolds tal och ändå ge möjlighet att mäta de minsta skalorna i turbulensen.

### **Motivering**

Svenska nationalkommittén för mekanik har utsett Henrik Alfredsson till Folke Odqvist föreläsare 2007. Henrik har dels genom excellent forskning och dels genom ett trevligt sätt bidragit till strömningsmekanikens utveckling i Sverige. Han har också tagit ledaransvar och verkat internationellt.

Henrik blev doktor 1983, vid institutionen för mekanik på KTH, med en avhandling med titeln "Experimental studies of turbulent channel flow". Han är sedan 1989 professor i strömningsfysik vid KTH.

Henriks forskningsfokus är stabilitet, transition och turbulensstruktur i kanaler och gränsskikt, men han har också, bland annat, jobbat med termokapillär instabilitet, vakar med vindkraft som applikation och experimentell metodutveckling. Allt som allt har detta resulterat i ett stort antal publicerade vetenskapliga artiklar, samt att många studenter avlagt licentiat- eller doktorsexamen. Vidare har Henrik varit prodekanus och dekanus på Teknisk Fysik på KTH. Han är nu föreståndare för kompetenscentret CICERO på KTH.



---

# SESSIONER

---

## Session 1: Modeller och metoder



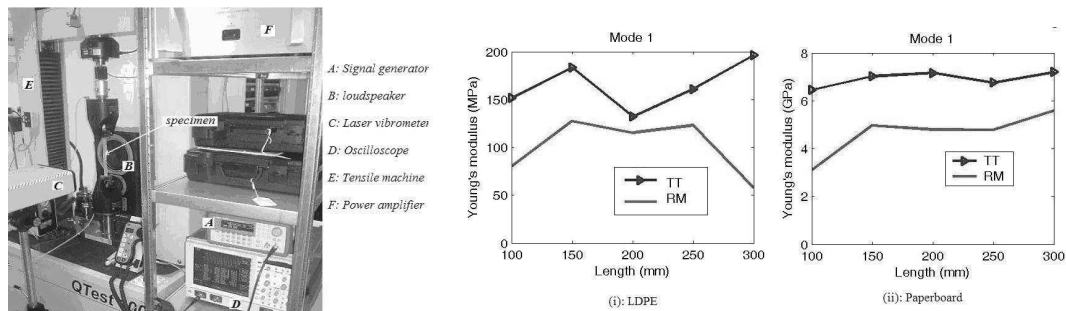
# Remote Acoustic Monitoring of Materials: Application to Thin Sheets having no Bending Stiffness

E. Mfoumou, C. Hedberg, & S. Kao-Walter

School of Engineering  
Blekinge Institute of Technology  
etienne.mfoumou@bth.se

The feasibility of low frequency Non-Destructive Testing for dynamic characterization and acoustical weighing on thin sheets was recently presented theoretically and experimentally<sup>1,2</sup>. The methods, through the experimental set-up in the left figure, use a remote acoustic excitation from a loudspeaker, and output measurement through a laser vibrometer. A resonance frequency of the specimen under test is excited, which helps estimating Young's modulus of the material, as well as illustrating any change in form of added mass on the specimen. For material characterization and because the frequency measurement is known to be one of the most accurate physical measurement<sup>3,4</sup>, a longitudinal extension of 2mm on a specimen length of 100 to 300mm is shown to be enough for the estimation. The results are compared with tensile test and show, for

the frequency range investigated (below 400Hz), the gap existing between dynamic and static Young's moduli. The literature reports the estimation of dynamic Young's modulus only for bulk materials, showing that it is higher than static Young's modulus<sup>5,6</sup>. The current work is the first investigation using a dynamic method with a remote acoustic excitation, on thin films, showing, in opposition to bulk materials, that the result from dynamic measurement is slightly lower than the one from static method. The presented technique enhances the feasibility of testing and condition monitoring of real structures in their operating environment, rather than laboratory tests of representative structures. Some comparison results between tensile test and vibration measurement are presented in the figures.



<sup>1</sup>Mfoumou E., Hedberg C., and Kao-Walter S., Static versus Low Frequency Dynamic Elastic Modulus Measurement of Thin Films, *Electronic Journal "Technical Acoustics"*, <http://www.ejta.org>, 2006, 17.

<sup>2</sup>Mfoumou E., Hedberg C., Kao-Walter S., Vibration-Based Damage Detection and Evaluation of Sheet Material using a Remote Acoustic Excitation. In print journal *Acoustical Physics*, 2006.

<sup>3</sup>Sauerbrey, G., Use of Vibrating Quartz for thin Film Weighting and Microweighting, (in German), *Z. Phys.*, 155, 206-222, 1959.

<sup>4</sup>King, W. H., Piezoelectric Sorption Detector, *Anal. Chem.*, 36(9), 1735-1739, 1964.

<sup>5</sup>Frederick Wilson, Lord A. E., Young's Modulus Determination via Simple, Inexpensive static and dynamic Measurements, *American Journal of Physics*, Vol. 41, No1, pp 653-656 (1973).

<sup>6</sup>Casper O, Fabricius I., Krogsboll A., Prasad A., Static and Dynamic Young's Modulus for Lower Creaceous Chalk. A Low Frequency Scenario, *AAPG International Conference: October 24-27, 2004, Cancun, Mexico*.



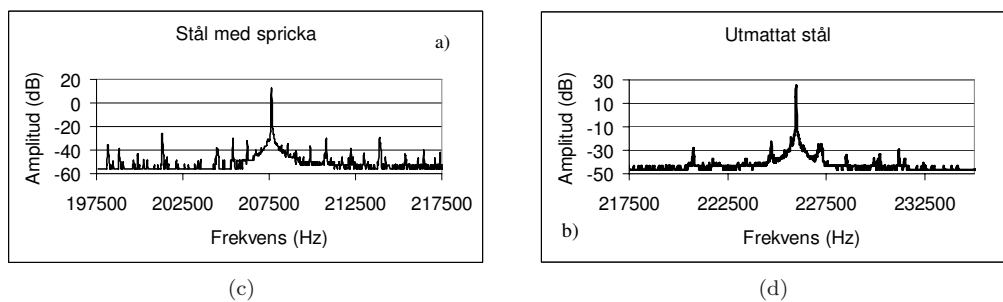
# Olinjär akustisk vågmodulations-spektroskopi för öförstörande materialprovning

Kristian C.E. Haller, Claes M. Hedberg & Oleg V. Rudenko

Avdelningen för Maskinteknik, Sektionen för Teknik  
Blekinge Tekniska Högskola  
kristian.haller@bth.se

En relativt ny metod för sprickdetektering har utprovats<sup>1,2</sup>. Metoden bygger på en stark koppling mellan sprickförekomst och olinjäritet hos ett objekt. Detta kan utnyttjas vid Olinjär Akustisk VågModulationsSpektroskopi där metoden bygger på att en ultraljudsvåg med frekvensen  $w_0$  skickas genom mätobjektet med en relativt låg amplitud. Samtidigt skickas en lågfrekvent puls genom mätobjektet. Defekter som sprickor och delamineringar detekteras omedelbart genom att sidband i responssignalen uppkommer. Om det inte finns defekter så sker ingen blandning av frekvenserna och inga sidband uppkommer. Om mätobjektet har resonansfrekvenserna  $W_0, W_1, W_2$ , osv. så har sidbanden frekvenserna  $W_0 \pm w_0, W_1 \pm w_0, W_2 \pm w_0, W_0 \pm w_1, W_1 \pm w_1, W_2 \pm w_1$ , osv. Metoden fungerar oberoende av materialtyp och geometri. Plika sorts stål, plexiglas, sten, sintrat hårdmetall, grönkroppar (innan sintring), i form av inredningar till bilar,

verktygsdelar, kugghjul, balkar, valsar, valssidor. Alla dessa uppvisar samma resultat då de har förekomst av skador. Olika typer av skador som provats är sprickor från utmattning, böjning samt delaminering samt naturligt förekommande sprickor som tex. i granit. Resultaten påverkas inte av den geometri som objektet har och som man önskar att produkten skall ha. Sprickan alternativt sprickorna hittas även om de finns bakom radier, hål eller andra konstruktionsgeometrier. Tiden det tar för en sådan här mätning och utvärdering av resultaten ligger i genomsnitt för dessa mätningar på mellan 1 och 2 sekunder, då standardlaboratorieinstrument som digitalt oscilloskop, LeCroy Lt262, och vågformsgenerator, Agilent 33250A, används. Resultat från mätningar kan ses i figurerna 1 a,b där sidbanden på båda sidor om ultraljudsfrekvensen visar på skada hos mätobjektet.



Figur 1: Exempel på resultat från mätningar, (a), stål med spricka, (b), stål med utmattningsspricka.

<sup>1</sup>Van Den Abeele, K.E.-A., Johnson, P.A. and Sutin, A., "Micro-damage diagnostics using nonlinear elastic waves spectroscopy", Res.NondestructiveEvaluation,12,17-30 (2001)

<sup>2</sup>Donskoy, D, Sutin, A.and Ekimov, A, "Nonlinear acoustic interaction on contact interfaces and ist use for nondestructive testing" NDE international, 34, 231-238, (2001)

# Separation av snabb och långsam dynamik hos fasta material

Claes Hedberg, Kristian Haller & Oleg Rudenko

Avd. för Maskinteknik, Blekinge Tekniska Högskola  
claes.hedberg@bth.se

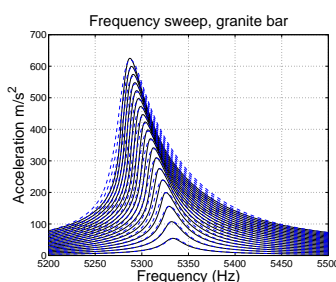
Vid akustiska mätningar på fasta material finns olika slags olinjaritet påverka mätningarna. De kan delas in i först en snabb olinjaritet som ger en vågformsdistortion resulterande i nya frekvenser, och dels en mer bestående förändring av materialtillståndet. Den långsamma materialförändringen kallas långsam dynamik (eng. "Slow Dynamics") och är ett osymmetriskt svar på en störning av materialets termodynamiska jämvikt med en efterföljande långsam logaritmisk återgång. Störningen kan vara exempelvis ändring i temperatur, tryck eller luftfuktighet, eller en mekanisk påverkan vilken inkluderar de akustiska signaler varmed mätningen görs. Begreppet långsam dynamik definierades först i experiment<sup>1</sup>, där det noterades att relaxation och svephastighet hade stort inflytande på resultaten.

De akustiska moderna uppvisar resonansfrekvensskift med varierande töjning. Detta beror på att elasticitetsmodulen ändras, och därmed också ljudhastigheten. Resonansfrekvensskiftets linjaritet har observerats i mätningar<sup>2,3</sup>.

I ett vanligt frekvenssvep hålls insignalen på konstant nivå, och man får kurvor som i Figur 2. Resultatet är olika uppåt och nedåt i svepet vilket beror på den långsamma dynamiken. Töjningsnivån i materialet beror på resonansegenskaperna hos objektet, och på frekvensen. Resonansfrekvensen finns när vågens amplitud i objektet har ett maximum. Men i ett vanligt experiment är det svårt att skilja mellan den snabba och den långsamma olinjariteten just på grund av de varierande töjningsnivåerna eftersom de olika töjningsnivåerna påverkar materialets jämviktstillstånd.

Med långsam dynamik frånvarande kan materialets snabba olinjaritet studeras i sig självt i form av frekvensskift som funktion av töjning<sup>4</sup>. Detta är fallet i experiment där töjningen hålls konstant genom att variera inamplituden. Inamplituden har ett minimum vid resonans.

Mätningarna har gjorts i en klimatkammare med konstant temperatur och luftfuktighet så att dessa parametrar inte skulle påverka materialens termodynamiska jämvikt.



Figur 2: Resonanstoppar från vanlig mätning på granit. Heldragen linje: första svepet, uppåt i frekvens; streckad linje: andra svepet, nedåt i frekvens.

<sup>1</sup>TenCate, J.A. and Shankland, T.J., Slow dynamics in the nonlinear elastic response of Berea sandstone, *Geophysical Research Letters*, 23(3), 3019 - 22 (1996).

<sup>2</sup>Guyer, R.A. and Johnson, P.A., Nonlinear mesoscopic elasticity: evidence for a new class of materials, *Physics Today*, April, 1999, 30-36.

<sup>3</sup>Johnson, P., and Sutin, A., Slow dynamics and anomalous nonlinear fast dynamics in diverse solids, *J.Acoust.Soc.Am.* 117(1), 124-130 (2004).

<sup>4</sup>TenCate, J., Pasqualini, D., Habib, S., Heitmann, K., Higdon, D., and Johnson, P., Nonequilibrium and nonlinear dynamics in geomaterials, *Phys.Rev.Lett.* 93. 06551-06555, 2004.

## Atomistiska böjsimuleringar av nanobalkar bestående av BCC-järn

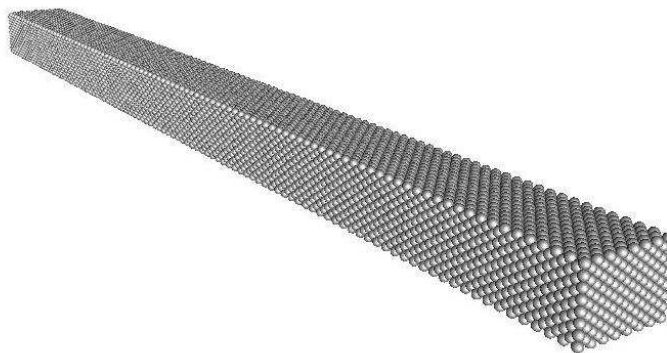
Pär Olsson<sup>1</sup>, Solveig Melin<sup>1</sup> och Christer Persson<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Avd. för Mekanik, <sup>2</sup>Avd. för Materialteknik  
Lunds universitet  
Par.Olsson@mek.lth.se

På senare år har användandet av NanoElektro-Mekaniska System (NEMS) ökat radikalt och således har även intresset för deras mekaniska egenskaper ökat. NEMS är strukturer som karakteriseras av sina små dimensioner, från hundratals ner till ett par nanometer, vilket resulterar i strukturer med hög kraftkänslighet, låg massa och höga egenfrekvenser. Detta gör NEMS lämpliga att använda som sensorer i tillämpningar som kräver hög känslighet, exempelvis vid detektion av virus. De små dimensionerna innebär låga defektdensiteter och höga yt/volyms förhållande, vilket resulterar i mekaniska egenskaper som avviker avsevärt från makroskopiska. Således bör man använda makroskopisk kontinuum-mekanik med stor försiktighet. I denna undersökning studeras defektfria nanobalkar bestående av BCC-järn med hjälp av molekylodynamiksimuleringar. Balkarna, se Figur 3, med rektangulära tvärsnitt med sidlängder mel-

lan ca 10Å och 75Å och med olika kristallografiska orienteringar, är fast inspända i ena änden och belastade i transversell led i den andra, med en last fördelad på de yttersta atomplanen. För att undvika våldsamma vågutbredningsfenomen är simuleringarna utförda vid temperaturen 0 K och pålastningarna är långsamma. Interaktion mellan de olika atomerna beräknas med hjälp av en flerkroppspotential som är speciellt framtagen för BCC-järn och som speglar de metalliska bindningarna avsevärt mycket bättre än parpotentialer, såsom exempelvis Lennard-Jones-potentialen.

Jämförelser mellan simuleringarna och Bernoullis balkteori tyder på ett beroende hos elasticitetsmodulen av dimensionerna. Dock varierar beroendet mellan olika kristallografiska orienteringar. Även tvetydigheter i definitionen av tvärsnittsstorheter leder till elasticitetsmodulsvariationer.



Figur 3: Nanobalk bestående av 22500 järnatomer.

# Time-sequential adaptive technique for the visco-plasticity problem

Fredrik Larsson & Kenneth Runesson

Department of Applied Mechanics  
Chalmers University of Technology  
fredrik.larsson@chalmers.se

We consider the initial-boundary-value problem representing quasi-static equilibrium in a material governed by an elastic-viscoplastic constitutive model of the Perzyna type. For simplicity, small strain kinematics is adopted. The use of conventional Galerkin finite elements in space is combined with the Discontinuous Galerkin method in time in order to construct a space-time finite element approximation. The a posteriori error control is based on the appropriate dual problem in space-time. One key ingredient is to introduce a hierarchical decomposition in space-time of the discrete space of dual solutions. As a result, it is possible to decompose the error generation and transport from the discretization in space and time in a unified fashion within the same algorithm. This decomposition of error contributions allows for efficient adaptive mesh-

refinement in space and time. Moreover, other sources of error (model and solution errors) are identified.

Traditionally, controlling the global error in space-time problems involves storing the complete solution and, when adopting an adaptive algorithm, complete re-computation of the solution for each mesh-iteration. The main idea put forward in the paper is to increase the computational efficiency of the adaptive scheme by avoiding recursive adaptations of the whole time-mesh; rather, the space-mesh and the time-step defining each finite space-time slab are defined in a truly sequential fashion. The performance of the proposed strategy and the pertinent approximations are investigated with the aid of a numerical example in 2D (in space).

# Identification of viscoelastic relaxation spectra from quasi-static test data

Håkan Johansson & Fredrik Larsson

Institutionen för tillämpad mekanik  
Chalmers tekniska högskola  
hakan.johansson@chalmers.se

In order to accurately describe the (linear) viscous response of materials, typically polymers, under deformation, the so-called relaxation spectrum plays a key role. In this context, the rheological model is an infinite number of Maxwell elements connected in parallel. The relaxation times for the chains cover the full spectrum from zero to infinity and the spring stiffnesses are given by a distribution function of the relaxation time. The total stress response is then obtained by integrating over all relaxation times. For example, in the case of with only one chain, the distribution function is a Dirac pulse at the single relaxation time. Additionally, fractional order models, where the time derivative in the evolution law may be of non-integer order, correspond to a normal distribution with the standard deviation associated with the order of the derivative and the mean at the “most probable” relaxation time.

We note that, in the case of a pure relaxation test, the relaxation spectrum can be obtained by directly applying a numerical inversion formula for the Laplace-type transform on the stress-relaxation response. However, in this contribution, we will consider the general case of an unknown distribution to be determined from a test with an arbitrary quasi-static loading history. We introduce an FE-type discretization of the relaxation spectrum such that the identification problem is reduced to determining a set of discrete nodal values. Additionally, the total stress is computed using numerical quadrature over the spectrum; thus, in practice we actually obtain a generalized Maxwell model with a finite number of parallel chains, where each chain corresponds to a quadrature point. Ideally, the discretization and quadrature points could be chosen such that a minimal number of discrete Maxwell elements can be used while retaining an acceptable quality of the model predictions.

# Sprickstorlekens (COD) beroende av blandningsförhållande och elastiska egenskaper hos fiber och matris i kontinuerliga och enhetsriktade (UD) kolfiberkompositer

Johannes Eitzenberger

Avdelningen för Polymerteknik  
Luleå tekniska universitet  
joheit@ltu.se

En kompositens elastiska egenskaper försämras vid förekomst av sprickor. Hur stor denna försämring är beror till stor del på hur mycket sprickorna öppnas vid belastning. Det är rimligt att tro att storleken på denna spricköppning (COD) vid en viss belastning beror på blandningsförhållandet av fiber och matris (polymer) och de elastiska egenskaperna hos dessa. Sprickstorleken påverkas rimligen även av dålig vidhäftning (debonding) mellan fiber och matris i närheten av sprickan.

En parameterstudie har gjorts med hjälp av Finita Elementmetoden (FEM) i syfte att vid belastning studera hur storleken på en spricka ändras i en kolfiberkomposit när blandningsförhållandet av fiber och matris ändras samt när de elastiska materialegenskaperna hos dessa ändras. Olika fall av dålig vidhäftning har även studerats. Modellen har varit en kolfiber med omgivande matris som i sin tur har varit omgiven av en komposit. Detta till skillnad mot tidigare studier där

modellen enbart har bestått av en fiber och omgivande matris. Sprickan som studerats har varit på tvären genomgående i fibern och omgivande matris och komposit har varit fri från skador. Kompositens egenskaper har varit egenskaperna hos fiber och matris.

Det har visat sig att det som mest påverkar spricköppningens storlek vid belastning är kolfibers längsgående elastiska modul och blandningsförhållandet av fiber och matris samt storleken på området med dålig vidhäftning. Spricköppningens storlek ökar med minskad andel fibrer och ökad längsgående elastisk modul samt med ökad storlek på området med dålig vidhäftning. Spricköppningens storlek påverkas i mindre utsträckning även av kolfibers skjuvmoduler och tvärgående elastiska modul. Spricköppningens storlek ökar med minskade skjuvmoduler och minskad tvärgående elastisk modul.

# Homogenization Applied in Rough Surface Hydrodynamic Lubrication

Andreas Almqvist<sup>1</sup> & Peter Wall<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Division of Machine Elements  
Andreas.Almqvist@ltu.se

<sup>2</sup> Department of Mathematics  
Luleå University of Technology

It is clear surface roughness influence on lubrication of many types of machine elements. It is, however, a delicate problem to tell how much a small change in the surface machining process will affect the performance of the lubricated interface, in terms of load carrying capacity, frictional losses, etc. This work regards modeling of the effects caused by the surface roughness in hydrodynamically lubricated conjunction by means of the, linear incompressible and isoviscous Reynolds equation;  $\nabla \cdot (h_\varepsilon^3(x) \nabla p_\varepsilon(x)) = \Lambda \nabla \cdot (\mathbf{e}_1 h_\varepsilon(x))$  where  $p_\varepsilon$  is the pressure. For small values of  $\varepsilon$ , the function  $h_\varepsilon$  oscillates rapidly, implying a time consuming numerical solution. For sufficiently small values of  $\varepsilon$  it is even impossi-

le. In these situations the concept of homogenization constitutes a valuable tool. In ref.<sup>1</sup> it has been shown that a branch within homogenization devoted to finding upper and lower bounds<sup>a</sup> is also applicable to the problem studied here. In ref.<sup>2</sup> these ideas were utilized to perform numerical simulations of rough hydrodynamically lubricated contacts. Figure 4 illustrates convergence (left) and the preciseness of the the bounds (right). Similar to the work in ref.<sup>2</sup> the objective of this work is to demonstrate how the ideas of homogenization may be used to efficient analyze the influence of surface roughness on hydrodynamic performance.

<sup>a</sup>The ideas of finding bounds have proved to be useful in different physical applications, such as composite engineering.

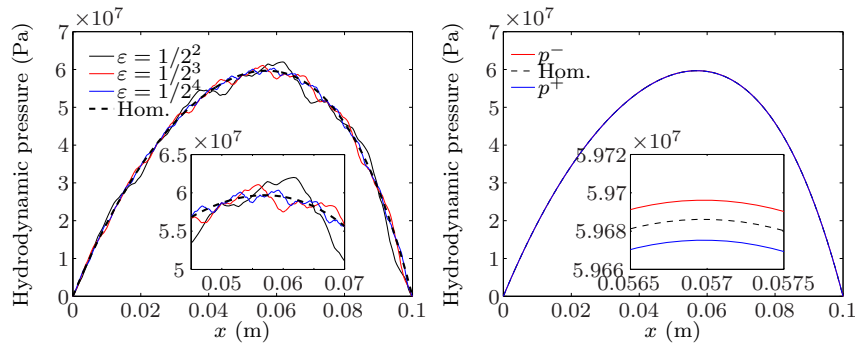


Figure 4: A series of pressure solutions  $p_\varepsilon$  solutions and the corresponding homogenized pressure solution (left). Lower and upper bounds pressure solutions compared with the homogenized solution (right).

<sup>1</sup>D. Lukkassen, A. Meidell, and P. Wall. Bounds on the effective behavior of a homogenized reynold-type equation. *Research Report, No. 3, ISSN 1400-4003, Department of Mathematics, Luleå University of Technology, Accepted for publication in Journal of Function Spaces and Applications*, 2006.

<sup>2</sup>A. Almqvist, D. Lukkassen, A. Meidell, and P. Wall. New concepts of homogenization applied in rough surface hydrodynamic lubrication. *International Journal of Engineering Science*, In Press, Corrected Proof, Available online 6 December 2006.

# Spänningskorrosion - modellering av utveckling från ytojämnheter via gropar till sprickor

C. Bjerken

Avd. materialvetenskap  
Malmö högskola, 205 06 Malmö  
christina.bjerken@ts.mah.se

Den kombinerade effekten av mekanisk belastning och en korrosiv miljö kan leda till spänningskorrosion. Vid anodisk spänningskorrosion löses materialet upp och bildar korrosionsprodukter. I vissa fall bildas en ytbeläggning, t ex en oxidfilm, som verkar skyddande och därmed bromsar korrosionsprocessen. Om en dylik film inte skapas, eller om den kontinuerligt bryts ned, kan korrosionsprocessen fortgå. I en plan yta kan gropar bildas, och någon eller några av dessa kan i sin tur utvecklas till en kritisk spricka.

I denna studie undersöks utvecklingen av korrosionssprickor med hjälp av en modell där korrosionshastigheten är proportionell mot den elastiska töjningsenergin och kurvaturen i varje punkt på ytan. Det är känt sedan tidigare att kurvaturen påverkar benägenheten för atomer att lossna från eller binda vid en yta, vilket

leder till att en obelastad yta planar ut vid t ex etsning. Om ytan däremot är belastad kommer en ytojämnheter med ett specifikt frekvensinnehåll att utvecklas. Vågor med längder kortare än en viss kritisk våglängd kommer att avklinga. På detta sätt leder korrosionen till att gropar bildas i ytan och vissa av dessa fördjupas allt mer tills de blir sprickliknande. Dessa spänningskorrosionssprickor kommer dock att ha en finit radie i spetsen som är given av det lokala spänningstillståndet.

Simuleringar är gjorda med en adaptiv metod. För varje tidsinkrement beräknas töjningarna i ytan i en finita element-analys, därefter bestäms ytevolutionen och sedan genereras ett nytt elementnät för den uppdaterade geometrin. Resultat från simuleringarna visar utvecklingen från en plan yta, med en initiell perturbation, via gropbildning till sprickor.



# On the influence of surface roughness on real area of contact in normal, dry, friction free, rough contact by using a neural network

M. Rapetto<sup>1</sup>, R. Larsson<sup>1</sup>, A. Almqvist<sup>1</sup>, P.M. Lugt<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Division of Machine Elements  
Luleå University of Technology, Luleå, SE-97187 Sweden

<sup>2</sup>SKF Engineering and Research Centre  
P.O.Box 2350, 3430 DT Nieuwegein  
marco.rapetto@ltu.se

A model previously developed at LTU was used in order to perform numerical simulations of normal, dry, friction free, linear elastic contact of rough surfaces. A variational approach was followed and the FFT-technique was used to speed up the numerical solution process.

Five different steel surfaces were measured using a Wyko optical profilometer and several 2-D profiles were taken. The real area of contact and the pressure distribution over the contact length were calculated for all the 2-D profiles. A new slope parameter was defined.

An artificial neural network (ANN) was applied to determine the relationship between the roughness parameters and the real area of con-

tact. The roughness parameters were the inputs for the neural network, the target was the real area of contact computed through the model. An ANN model was built using a feedforward neural network made of 2 hidden layers. In parallel another neural network was trained, considering standard parameters and the new roughness parameter. The trained model was able to capture the dependence of the real area of contact on the roughness parameters. The ability of the neural network to generalize on unseen data was tested. The neural network was able to prove the correlation between the roughness parameters and the real area of contact.

# Pressure build-up mechanism in a textured inlet of a slider bearing

Samuel Cupillard<sup>1</sup>, Michel J. Cervantes<sup>2</sup> & Sergei Glavatskih<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Division of Machine Elements, <sup>2</sup>Division of Fluid Mechanics  
Luleå tekniska universitet  
samcup@ltu.se

A computational fluid dynamics (CFD) analysis is performed on a lubricated textured contact in order to study performance of textured surfaces. The work encompasses simulations of a slider bearing with dimples. The bearing is mo-

delled with a two-dimensional geometry. The full Navier-Stokes equations are solved under steady state conditions for a laminar and isothermal flow. The results are presented and the surface texture effects are analysed.

# Linking discrete dislocation plasticity to continuum plasticity

**Mathias Wallin**

Division of Solid Mechanics  
Lund University, Box 118,  
S-221 00 Lund, Sweden

Numerical solution procedures for discrete dislocation simulations requires an enormous amount of computer power. So far, simulations have been restricted to consider very small samples (order micro-meters). In order to extend the applicability of discrete dislocation simulations the current investigation aims towards a method for connecting discrete dislocation with less computer demanding continuum plasticity models, i.e. crystal plasticity. In order to do this, an interface law connecting the two regions needs to be developed. In addition to the displacement

and the traction the dislocation density must be balanced at the interface between the discrete dislocation region and the continuum region. Moreover, due to the long-range interaction effect of the dislocations the dislocations in the continuum region must be taken into account when calculating the Peach-Koehler force. The need for the Peach-Koehler calculation implies that the (smeared) slip in the crystal plasticity model must be interpreted in terms of discrete dislocations.

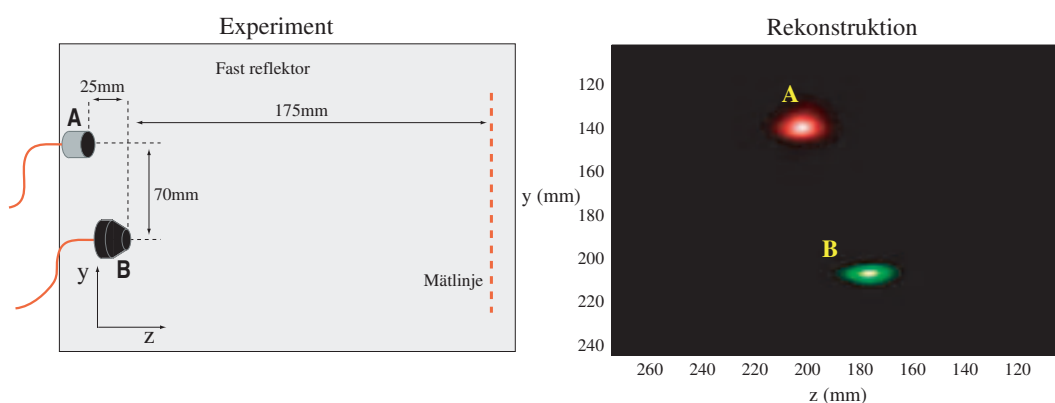
## Selektiv avbildning av primära ljudkällor

Erik Olsson

Avd. för Experimentell mekanik  
Luleå tekniska universitet  
erik.olsson@ltu.se

Primära ljudkällor kan vara elektriskt drivna sändare eller mekaniskt drivna vibrationer. Ett annat exempel på primära ljudkällor är objekt som vibrerar på grund av ett energiutbyte med ett externt elektromagnetiskt fält. Sådana processer utnyttjas till exempel vid optoakustisk avbildning av objekt i ett ogenomskinligt medium, till exempel biologisk vävnad. En metod för selektiv avbildning av primära ljudkällor kommer att presenteras. Ljudfältet mäts längs en linje med en laser vibrometer (LDV). En LDV används normalt för att mäta på ytors vibrationer, men vid konstant geometri så kommer förändringen i optisk väg att bero på förändringar i brytningsindex som i sin tur kommer av tryckförändringar. Den resulterande mätningen längs en linje kommer dock att vara en projektion av det plan som strålen propagerar igenom vid mätning. Men genom att göra flera mätningar ifrån flera olika vinklar kan en tomografisk rekonstruktion av ljudfältet i det planet beräknas. Med en numerisk rekonstruktion utifrån detta plan kan sedan det fulla tredimensionella ljudfältet återskapas digitalt. I det rekonstruerade ljudfältet vid den avbildade källans position är fasen oberoende av våglängden. Fasen kommer endast att bero på fasresponsen hos

sändaren, dvs. skillnaden i fas mellan signalen till sändaren och det genererade ljudet. Detta innebär att om experimentet genomförs för flera våglängder, och alla rekonstruerade tredimensionella ljudfält adderas ihop, så kommer dessa endast att adderas konstruktivt vid avbildningen av sändaren där faser sammanfaller. Men för att faser ska sammanfalla så måste hänsyn tas till sändarens fasrespons. Det är denna faskalibrering som möjliggör den selektiva avbildningen. Då metoden är kalibrerad för en viss fasrespons så kommer de olika rekonstruktionerna vid olika våglängder endast att adderas konstruktivt vid de ställen där det finns en sändare med just den fasresponsen. Alla sändare med en annan fasrespons och eventuellt brus kommer effektivt att tonas ner. I Figur 5 ses ett exempel ifrån ett tvådimensionellt experiment, (de resultat som kommer att presenteras är ifrån ett tredimensionellt experiment). Till vänster i figuren ses experimentuppställningen med två olika sändare, och till höger finns en sammanslagning av två numeriska rekonstruktioner där sändarna avbildats var för sig. Denna metod gör det möjligt att både bestämma sändarnas absoluta position relativt mätlinjen, samt att avgöra om de är av samma typ eller inte.



Figur 5: Figuren visar ett exempel på selektiv avbildning ifrån ett tvådimensionellt experiment.

## Mätning av deformationsfältet längs utmattningssprickor ur in-situ SEM bilder

Lars Jacobsson, Christer Persson & Solveig Melin

Avdelningen för Materialteknik  
Lunds Tekniska Högskola  
Box 118, 221 00 Lund  
lars.jacobsson@material.lth.se

När sprickpropageringshastigheten ska bestämmas behövs information om vilka spänningar som finns i området kring sprickspetsen. Sprickpropageringshastigheten korreleras oftast till spänningsintensitetsfaktorn som är ett mått på spänningarna i materialet framför sprickspetsen och som beror av den pålagda globala lasten, spricklängden och geometrin. Dessutom kompenseras för sprickslutning som bidrar till att den maximala spänningsintensitetsfaktorn i sprickspetsen sjunker och därmed sjunker även sprickpropageringshastigheten. För att kunna göra denna kompensering behöver man ta fram vid vilken lastnivå som spänningen är noll framför sprickan. Det finns ingen exakt metod för att mäta denna nivå eftersom spänningsgradienterna är så stora framför sprickspetsen. Även mikrostrukturen spelar in eftersom spänningsvariationerna blir stora i förhållande till kornstorleken. För att få mer kännedom om de mekanismer som är aktiva har i detta arbete olika mätmetoder jämförts. Metoderna har använt för att studera överlastcykler.

Mätningar har gjorts med kompliansmetoden på olika avstånd från sprickspetsen för att se variationen längs sprickan. För att göra dessa mätningar har högupplösta bilder tagits kontinuerligt under lastcykler med hjälp av ett svepelektronmikroskop (SEM). Lastcyklerna har genererats med ett elektriskt drivet dragsteg som placeras i vakuumkammaren. Dessa bilder har sedan analyserats med ett bildanalysprogram som mäter förskjutningarna på ytan av provstaven ca 3-7  $\mu\text{m}$  från sprickan.

Sprickformen har också kunnat bestämmas med denna teknik. Sprickformerna för olika lastfall

och överlastexperiment har jämförts. Efter kompensering för sprickslutning gjordes jämförelse med linjärelastisk lösning eftersom small scale yielding förväntas gälla.

Komplianskurvorna visar att den plastiska zonen påverkar sprickan nära sprickspetsen även under small scale yielding-förhållanden. Det framgår att den nivå som ASTM compliance offset-metoden anger för när sprickan sluter sig, och som är uppmätt vid sprickmunnen, ligger högre än den nivå då slutning börjar ske i sprickspetsen.

Likströmpotentialfallsmätningar (PD) har gjorts under samma experiment för att mäta den elektriska kontakten mellan sprickyrtorna. Tunna kablar svetsas på provstaven vid sprickmunnen och en likström körs genom provstaven under lastcykeln. Nivån för när sprickyrtorna påverkas av kontakt mellan ytojämnheter i sprickan eller av separation mellan ytorna går att registrera.

Vid PD-mätningar syns en tydlig ändring av lutning i kurvan när ytorna är helt separerade, men även under denna nivå varierar signalen när ytorna kommer i kontakt på grund av ytojämnheter. Den sprickslutningsnivå som PD-signalen visar ligger högre än både vad komplianskurvan vid sprickspetsen och vid sprickmunnen visar och för låga laster så separeras inte ytorna helt även vid maxlast.

Sprickformen nära sprickspetsen visar att de mikrostrukturella variationerna har stor inverkan på lokal nivå. Variation observeras tydligt vid sprickgrenar, mikrosprickor, sprickspetsens utseende och orienteringen som det korn har inom vilket sprickspetsen befinner sig.

# Mikromekanisk modellering av sprickpropagering över korngräns i ferritiska stål

Mateusz Stec & Jonas Faleskog

KTH, Hållfasthetslära, Osquars Backe 1, 100 44 Stockholm.  
mateusz@hallf.kth.se, jonasf@hallf.kth.se

Klyvbrott orsakar fortfarande haverier med följderna som ibland är katastrofala. Trots att fenomenet har studerats under flera decennier är flera centrala frågor ej lösta, t.ex. den starka känsligheten för temperatur i transitionsområdet. Den snabba datorutvecklingen möjliggör nu studier av klyvbrott m.h.a. av avancerade mikromekaniska modeller. En sådan modell har använts i denna studie för att studera vilken roll en korngräns har som barriär för en snabbt växande mikroklyvspricka i ett ferritiskt stål. Barriärer av denna typ har stor betydelse för tröskelvärden i brottseghet. För att en dynamiskt växande spricka skall orsaka klyvbrott i ett ferritiskt stål måste flera kritiska händelser inträffa. Till en början måste en mikroklyvspricka bildas. Ofta sker detta genom att en spröd hård partikel spricker under inverkan av plastisk deformation i omkringliggande material. Dessa partiklar är mer eller mindre slumpvist fördelade i materialet. Nästa steg är att den bildade mikroklyvsprickan måste växa in i omkringliggande ferritbaserade material. Det sista hindret/barriären mot ett slutligt brott uppkommer i form av korngränser. På mikronivå kommer propageringsriktningen att ändras när en korngräns passerar, eftersom en klyvspricka i ferritiska stål följer (100)-planen (Miller index) och dessa har olika orientering i olika korn, vilka mer eller

mindre är slumpvist orienterade. För att studera en korngräns roll som barriär mot klyvbrott har en mikromekanisk modell utvecklats i detta arbete. Följande klyvbrottsscenario har analyserats: en mikroklyvspricka initieras i ett korn vid en viss spänningsfördelning i materialet. Sprickan växer dynamiskt mot en korngräns. Orienteringen av klyvplanen i näraliggande korn kan karakteriseras relativt initieringskornet i form av två vinklar. Vid penetration av korngränsen kommer sprickan i angränsande korn typiskt involvera flera klyvplan, vilket leder till ökad plastisk dissipation vid tillväxt. Vid korngränsen sammanlänkas dessa klyvplan genom en mycket seg skjivseparation. Huruvida korngränsen kommer att kunna arrestera den snabbt växande mikroklyvsprickan eller ej beror kritiskt av flera faktorer: tidsberoende plastisk deformation i det ferritiska stålet; relativ kornorientering; korngränsegenskaper. I arbetet simuleras sprickpropageringen från ett korn till ett närliggande med hjälp av en periodiskt axisymmetrisk representation, där ferriten modelleras som ett viskoplastiskt material och spricktillväxten med hjälp av kohesiva element. Mikrosprickan propagerar längs en fördefinierad väg och givet omgivande belastningstillstånd, kornorientering, kornegenskaper samt temperatur hittas den största kornstorleken som kan arrestera en löpande mikroklyvspricka.

# En implicit metod för kontakt och stötproblem med stora rotationer

N. Strömberg

Jönköpings högskola, Maskinteknik  
Box 1026, 551 11 Jönköping  
stni@ing.hj.se

I detta föredrag presenteras en implicit metod för kontakt och stötproblem mellan en olinjär elastisk kropp och stela hinder med föreskriven rörelse. Varje hinders geometri beskrivs av en analytisk funktion. Denna funktion definieras i ett rörligt system vars rörelse definieras av en translationsvektor och en rotationsmatris. Funktionerna som beskriver hindren inkluderas därefter explicit i nya formuleringar av Signorinis villkor och Coulombs antagande. Våra nya kontaktlagar formuleras med hjälp av medelvärdesimpulserna istället för kontaktkrafterna. Medelvärdesimpulserna används även vid formuleringen av rörelselagen som ges på hastighetsform. Några av fördelarna med metoden är följande: ingen sökalgoritm behövs, normal- och tangenriktningarna är väl definierade och hanterandet av icke-konstanta trans-

formationsmatriser i rörelselagen blir uppenbart. Allt formuleras i en ren Lagrangian formulering. Elasticiteten definieras genom att koppla andra Piola-Kirchhoff spänningen med Green-Lagranges töjningstensor via ett Hookelikt samband. Systemet av grundläggande ekvationer löses med en icke-glatt Newton metod. Detta genomförs genom att skriva om de tribologiska lagarna som projektioner och att härleda den konsistenta styvhetsmatrisen samt konsistenta kontaktstyvheter. Metoden är implementerad i Tribalab som är en egentutvecklad toolbox till Matlab. Toolboxen är utvecklad genom att länka Fortran-kod via mex-filer och att utnyttja Matlabs glesa lösare. Metoden är snabb, robust och noggrann. Detta kommer att demonstreras genom att visa lösningar till kontaktproblem, stötproblem och rullkontakter.

---

<sup>1</sup>N. Strömberg, An augmented Lagrangian method for fretting problems, *European Journal of Mechanics, A/Solids* **16**, 573-593, 1997.

<sup>2</sup>N. Strömberg, A method for structural dynamic contact problems with friction and wear, *International Journal for Numerical Methods in Engineering* **58**, 2371-2385, 2003.

<sup>3</sup>N. Strömberg, An Implicit Method for Frictional Contact, Impact and Rolling, *European Journal of Mechanics, A/Solids*, **24**, 1016-1029, 2005.

<sup>4</sup>N. Strömberg, Frictional Contact/Impact between a Hyperelastic Body and Moving Rigid Obstacles, in the proceedings of the *3rd European Conference on Computational Mechanics*, June 5-9, Lisbon, Portugal, 2006.

# Mesoscale FE-simulation of dissipative but reversible mechanical behaviour in MAX-phase materials

Janna Jiang & Niklas Järvstråt

Department of Technology, Mathematics and Computer Science  
University West  
janna.jiang@hv.se  
niklas.jarvstrat@hv.se  
www.hv.se

The aim of this work is to explain the non-linear response of the newly discovered MAX-phase materials<sup>1</sup> using finite element simulations. The  $M_{n+1}AX_n$  ( $n=1, 2, 3\dots$ ) family is a group of highly anisotropic nanolaminate metallo-ceramics. M is an early transition metal, A is an A-group element (mostly IIIA, IVA) and X is either N or C. In the crystal structures of all the MAX phases, transition metal carbide or nitride layers are interleaved with layers of pure A-group element.

In contrast with conventional, irreversible, dislocation-based plasticity, the hysteresis curve of polycrystalline  $Ti_3SiC_2$ , although highly non-linear and with considerable dissipation, is observed to be fully reversible at compressive loadings of up to 1Gpa at room temperature<sup>2</sup>. Barsoum et. al.<sup>1</sup> attributed this unique response to the formation and annihilation of incipient kink bands (IKBs) which are thin plates of sheared material bounded by opposite walls of disloca-

tions, created in pairs and with each dislocation pair still connected by an unbroken glideplane through the IKB. As long as the edges of the IKBs are connected, the dislocations of each such pair remain pulled together by an attractive force, and upon unloading will traverse the glideplane and recombine, making the response fully reversible. Regular kink bands (KBs) forms when the critical stress is reached. Because of the layered nature of  $Ti_3SiC_2$ , dislocations are confined to the basal plane, and thus being unable to entangle, they can move reversibly over relatively large distances.

We have attempted to model the single slip-plane deformation of MAX-phase materials by incorporating kink initiation and growth in an FE-model consisting of elastic lamellae interlayered with shear deformable slip-bands. The choice of appropriate boundary conditions and slip-plane properties are discussed.

---

<sup>1</sup>The MAX Phases: Unique New Carbide and Nitride Materials M. W. Barsoum and T. El-Raghy 89, 336- 345 American Scientist (2001)

<sup>2</sup>Microscale modeling of kinking nonlinear elastic solids, Barsoum, M. B., Zhen, T., Zhou, A., Basu, S. and Kalidindi, S. R., Phys. Rev. B., 71, 134101 (2005).



# Mikromekanisk analys av duktilt brott i kombinerad drag- och skjuvbelastning

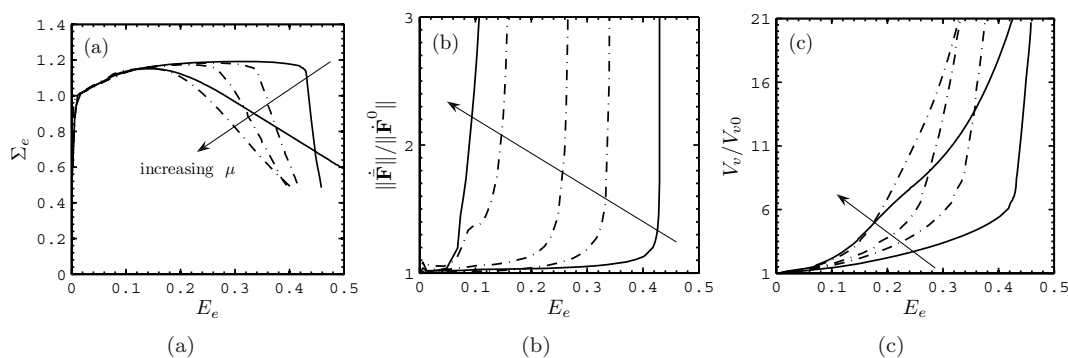
Imad Barsoum & Jonas Faleskog

Institutionen för Hållfasthetslära  
KTH, Stockholm  
imad@hallf.kth.se, jonasf@hallf.kth.se

Detta arbete är en mikromekanisk studie av de brottmekanismer som leder till brott i duktila material vid kombinerad drag- och skjuvbelastning. Brott antas inträffa när deformationen lokaliseras till ett tunt plant band till följd av initiering, tillväxt och sammanlänkning av mikrohål. I den mikromekaniska modellen antas materialet innehålla ett plant band med ett kvadratisk gitter med på förhand existerande mikrohål, som modelleras med enhetsceller, vardera med ett sfäriskt hål i centrum. Bandet kan ses som en initialimperfektion som kan leda till lokalisering av plastisk deformation enligt plastisk lokaliseringsteori av Rice. På grund av den periodiska strukturen av hål kan en tredimensionell enhetscell analyseras med kompletta periodiska randvillkor. Detta innebär att enhetscellen kan anta en lokaliserad symmetrisk deformation, en lokaliserad skjuvdeformation eller en blandning av dessa två. Spänningstillståndet karakteriseras med hjälp av spänningstreaxligheten  $T$  och Lode-parametern  $m$ , som är relaterad till tredje invarianten av spänningsdeviatorn. Enhetscel-

len deformeras under konstanta makroskopiska spänningförhållanden sådana att  $T$  och  $m$  hålls konstanta under lasthistorien. Matrismaterialiet i enhetscellen antas vara homogent elastoplastiskt med isotropt hårdnande.

Resultat från den mikromekaniska analysen påvisar att Lode-parametern har en betydande inverkan på håltillväxt och lokalisering av plastisk deformation. Bandets orientering har även den en betydande inverkan. I figur 6 nedan visas resultat för ett höghållfast stål med ett plant band där spänningstreaxligheten är konstant  $T = 1.0$  och Lode-parametern varierar enligt:  $m = 0, -0.25, -0.5, -0.75, -1$  ( $m = 0$  motsvarar fallet generaliserad skjuvning och  $m = -1$  generaliserad dragning). I figur 6(a) kan man se effekten av  $m$  på makroskopiska spänning-töjningsresponsen. Ett drastiskt mjuknande är förknippat med en ökad håltillväxt (figur 6(c)), vilket skiljer sig åt för de olika  $m$  fallen. Lode-parametern har även en stor effekt på begynnande lokaliserad deformation, som visas i figur 6(b).



Figur 6: Inverkan av Lode-parametern på bandets beteende där spänningstreaxligheten är konstant  $T = 1.0$  och  $m = 0, -0.25, -0.5, -0.75, -1$ . I (a) makroskopisk effektiv spänning, (b) ett lokaliseringsmått och (c) håltillväxten mot makroskopisk effektiv töjning.

# Computational Aspects on Multiscale Modeling of Polycrystals with Gradient Crystal Plasticity

Magnus Ekh, Mikkel Grymer & Kenneth Runesson

Department of Applied Mechanics  
Chalmers University of Technology  
magnus.ekh@chalmers.se

This contribution deals with the simulation of the behavior of a grain structure of a polycrystalline metal. If such a grain structure is sufficiently large it can be regarded as a representative volume element (RVE), which plays a key role in multiscale modeling of materials. The behavior of such a grain structure depends on, e.g., grain geometry, volume fraction of different phases, and grain size. A way of including the grain size dependence in the modeling of the grain structure will be presented. Within the framework of continuum thermodynamics and finite strains, we formulate a model for crystal (visco)plasticity, crystal and gradi-

ent hardening. The gradient hardening gives a contribution for each slip system which is added to the well established local hardening. In order to solve the arising coupled field equations (for the displacements and the hardening of the slip systems) the dual mixed FE algorithm is applied. The contribution presents numerical study how model parameters (such as grain size) will influence the homogenized macroscopic stress-strain response of a 2D model of a polycrystal. Finally, an algorithm that parallelizes the total FE problem into an FE problem for each grain is presented.

# Parametric relations of porous foams and their use in optimization of structural acoustic performance of multilayer trim components

**Eleonora Lind & Peter Göransson**

Aeronautical and Vehicle Engineering, MWL  
KTH  
eleonora@kth.se

For lightweight porous acoustic multilayer trim components the performance targets have traditionally been specified in terms of sound absorption and sound transmission loss. However, the material specification of the trim component developed only for these performance targets may be suboptimal in terms of e.g. sound radiation behaviour, weight or cost. This highlights the necessity for an accurate, computationally efficient and robust simulation method which should form an integral part of a multi-disciplinary optimization tool. In addition, for such an optimization to be physically meaningful the design parameters used should be based on relations between the micro-structural dimensions and properties, and the corresponding macroscopic parameters describing porous materials.

This research is focused on the parameterization of porous foams, by which the micro-dimensions are continuously linked to the macroscopic properties such as elasticity, density and flow resistivity. These properties are then used in higher order 3-D finite element simulations of multilayer components for structural acoustic applications. Other design parameters for multilayered components are the thickness of individual layers and the number of layers. The parameters can be optimized with e.g. the overall weight or the sound pressure level as the design objective, with constraints on acoustic and vibration properties: velocity of the radiating surface, radiation efficiency, transmission etc. In order to get physically realizable properties of the porous materials upper and lower bounds of the micro-dimensions have also been used as constraints.

# HYBRID LES-RANS: Inlet Boundary Conditions for Flows Including Recirculation

Lars Davidson

Division of Fluid Dynamics  
 Department of Applied Mechanics  
 Chalmers University of Technology  
 412 96 Göteborg  
 lada@chalmers.se

The paper evaluates a new method to prescribe synthesized turbulent inlet boundary conditions. When making LES, DES or hybrid LES-RANS a precursor channel DNS is often used. The disadvantage of this method is that it is difficult to re-scale the DNS fluctuations to higher Reynolds numbers. In the present work synthesized isotropic turbulent fluctuations are generated at the inlet plane with a prescribed turbulent length scale and energy spectrum. A large number of independent realizations are generated. A correlation in time between these realization is introduced via an asymmetric, non-truncated time filter. In this way the turbulent time scale of the synthesized isotropic turbulent fluctuations is prescribed.

The method has previously been validated for DNS at  $Re_\tau=500$ . In that study it was found that the present approach is at least as good as using inlet boundary conditions from a precursor DNS.

In the present study it is employed in hybrid LES-RANS of channel flow at  $Re_\tau=2000$ , the

flow in an asymmetric diffuser, the flow around a three-dimensional hill and the flow over the downstream part of a bump. The sensitivity to different prescribed inlet length scales, time scales and amplitudes of the fluctuations is investigated.

For the 3D hill flow a  $162 \times 82 \times 130$  ( $x, y, z$ ) mesh is used (1.7 million cells). The Reynolds number is 130 000 based on the hill height. The inlet and the crest of the axi-symmetric hill are located at  $x=-4.1H$  and  $x=0$ , respectively. Figure 1a presents the surface pressure over the hill obtained with and without inlet fluctuations. As can be seen, much better agreement is obtained in the former case. The resolved shear stresses at the wind-side of the hill are shown in Fig. 1b, and as can be seen no resolved stresses are generated when steady inlet boundary conditions are employed. When fluctuating inlet conditions are used, the resolved shear stress profile at  $x=-3H$  agrees well with experiments.

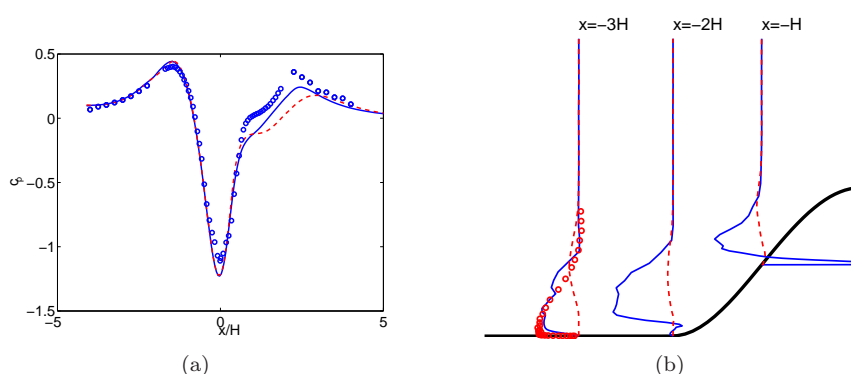


Figure 7: a) Pressure coefficient. b) Resolved shear stresses. solidline: inlet fluctuations; dashedline: steady inlet; markers: experiments.

# A Novel Immersed-Boundary Method for Multiple Arbitrary Moving and Interacting Bodies

Andreas Mark

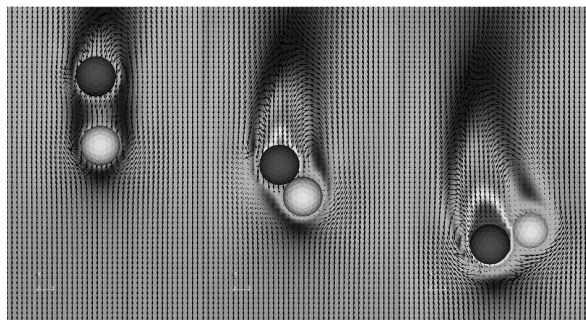
Dept. of Applied Mechanics, Chalmers University of Technology  
andreas.mark@chalmers.se

The presentation describes the development, implementation and validation of an implicit, second order accurate, finite-volume and instationary immersed-boundary method<sup>1,2</sup> for simulating the detailed flow around multiple arbitrary moving and interacting bodies. The potential for flows including moving bodies or boundaries, such as multiphase flows still has to be fully realized. The knowledge of the small scale flows around immersed interacting bodies are poor and to fill this gap in knowledge detailed simulations are needed.

The method is implemented in a segregated finite-volume solver with a staggered variable configuration and in the fully coupled flow solver MultiFlow<sup>3</sup>. The body surfaces (immersed boundaries) are triangulated by employing the gts framework<sup>4</sup>. In the method the fluid velocity is constrained by an implicit immersed boundary condition, closing the equations governing the fluid flow. The second order accurate immersed boundary condition mirrors the velocity field over the triangulated immersed boundary such that it exactly follows the immersed bounda-

ry and the resulting reversed fictitious velocity field inside of the immersed boundary is excluded from the continuity equation to preserve the mass in the cells containing the immersed boundary. The interactions between bodies are modeled by a proposed and validated novel triangle-triangle based collision force. The forces acting upon the bodies are determined by integrating the pressure and the viscous forces over body.

The method has been validated by simulating the drag force on a stationary sphere up to Reynolds number 100. To validate the instationary part of the model a number of sedimenting spherical and arbitrary bodies have been simulated at low Reynolds numbers. The proposed collision force has been validated by simulating a head on collision of two spherical bodies immersed in a fluid. From the simulations it is shown that the model accurately simulates the detailed flow around arbitrary moving and interacting bodies at low Reynolds numbers. To show the potential of the method an arbitrary body shaped as an x-wing fighter is simulated.



Figur 8: *Visualization of two spherical bodies sedimenting in a viscous fluid.*

<sup>1</sup>A. Mark and B. van Wachem, A novel Implicit Second-Order Accurate Finite-Volume Immersed-Boundary Method, preprint submitted to J. Comput Phys., 2006

<sup>2</sup>A. Mark and B. van Wachem, An Immersed-Boundary Method for Multiple Moving and Interacting Bodies, preprint submitted to J. Comput Phys., 2007

<sup>3</sup>Berend van Wachem and Vinay R. Gopala and Jose E.S. Oliveira and Andreas Mark and Aldo Benavides and Rasmus Hemph, MultiFlow - A fully coupled solver for multiphase flows, www.multiflow.org, 2006

<sup>4</sup>GTS home page, <http://gts.sourceforge.net/>, 2000

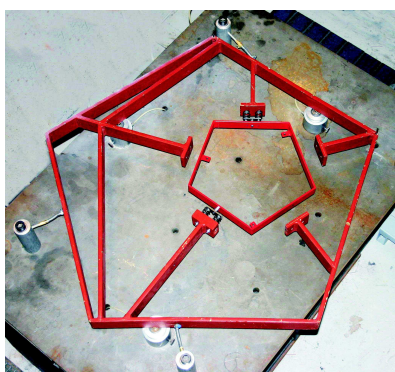
# Systemidentifiering på komponentnivå och syntes av tillståndsvektormodeller

Per Sjövall

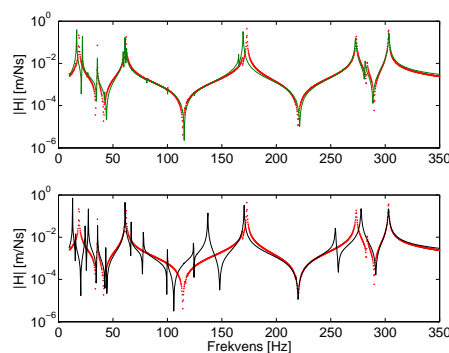
Avdelningen för dynamik  
Institutionen för tillämpad mekanik, Chalmers  
per.sjovall@chalmers.se

En metod för syntes av tillståndsvektormodeller för delsystem har formulerats vilken möjliggör analys av det dynamiska beteendet hos komplexa uppbyggda strukturer. Utgående från mätningar utförda på varje komponent tas delsystemmodeller fram m.h.a. en lämplig systemidentifieringsmetod. Dessa modeller transformeras sedan till en s.k. kopplingsform så att kopplingen i form av kinematiska tvång och jämviktsvillkor kan utföras. Det har framkommit att en korrekt skattning av delsystemmodellernas modellordning är avgörande för ett lyckat resultat. En för låg modellordning betyder i praktiken att extra, men fysikaliskt omotiverade, kinematiska tvång påförs strukturen. Vidare har det observerats att delsystemmodellerna måste uppvisa vissa fundamentala fysikaliska egenskaper såsom passivitet och reciprocitet. Olika alternativ och hjälpmedel för estimering av modellordning och fysikaliskt konsistenta modeller diskuteras. Proceduren har applicerats på en plan ramstruktur bestående av två komponenter, se figur 9,

ihopkopplade i två punkter vilket resulterar i totalt sex kopplingsfrihetsgrader, fyra i translation och två i rotation. De båda delsystemen testades var för sig i ett stegat sinustest från 10 till 350 Hz med ett frekvensinkrement på 0.25 Hz. Responsen mättes med accelerometrar i de sex kopplingsfrihetsgraderna samt några ytterligare punkter. För mätning av rotationsrörelse användes två separerade translationssensorer. Systemidentifieringen på komponentnivå avslöjade inte en svårupptäckt nästintill multipel resonans för den yttre ramen. Därmed blev modellordningen felaktig vilket fick stort genomslag då modellerna syntetiserades till en modell av det sammansatta systemet. I figur 10 ses resultatet i form av en frekvensöverföringsfunktion för det kopplade systemet jämfört med motsvarande mätdata. Slutsatsen är att modellordningens inverkan är mycket tydlig och således bör estimeringen av denna ges stor uppmärksamhet i systemidentifieringsprocessen.



Figur 9: Testuppställning: Den yttre ramen med två kopplingselement bestående av spiral fjädrar är stelt ihopkopplad med den inre ramen i två punkter.



Figur 10: Amplituden för en punktmobilitet för det sammansatta systemet. Mätdata (punktad linje), syntetiserad modell (heldragen linje, övre fig), syntetiserad modell med felaktig modellordning (heldragen linje, undre fig).

# Jämförande studie av felmått för modelluppdatering

Anders Johansson & Thomas Abrahamsson

Inst. för Tillämpad Mekanik, avd. för dynamik  
Chalmers tekniska högskola  
anders.t.johansson@chalmers.se

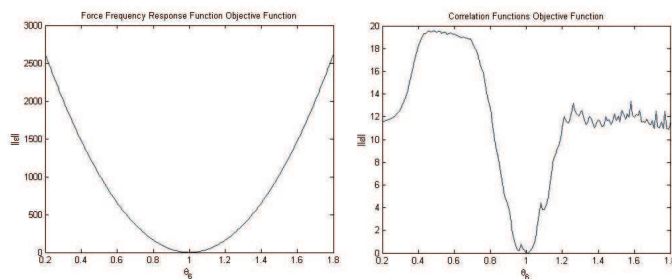
Modelluppdatering syftar till att kalibrera parametrar i en FE-modell med hjälp av resultat från vibrationsanalys. Inom modelluppdatering finns många olika metoder, vilka främst skiljs åt genom de felmått som används i optimeringsfasen. När modelluppdatering jämförs görs det dock av hävd ofta genom jämförelse av hela uppdateringsrutiner. Här förespråkas istället en metodik för direkt jämförelse av felmått genom att undersöka dessas respektive egenskaper med avseende på optimering, identifierbarhet och statistik.

Ett kriterium för ett bra felmått med avseende på optimering är att motsvarande målfunktion uppvisar ett konvext beteende i ett stort område kring globalt optimum. Denna egenskap utvärderas genom visuell undersökning av målfunktionens beteende, parameter för parameter. Exempel på en bra och en dålig målfunktion i detta avseende kan ses i figur 11. Den visuella undersökningen som föregående kriterium baseras på har det problemet att den inte tar hela parameterområdet i beaktning. För att undvika att kombinationer av parameterförändringar kan utföras utan att målfunktionen förändras nämnvärt krävs att problemet är identifierbart. Detta utvärderas genom att undersöka kon-

ditionstalet hos målfunktionens Hessian -ett högt värde innebär då låg identifierbarhet.

Det sista kriteriet, statistik, är viktigt eftersom verkliga testsignaler innehåller brus. Därmed måste fortplantning av brus tas i beaktning vid utvärdering av felmått. För att utvärdera detta genomfördes simulerade test med pålagt Gaussiskt brus, varefter Cramer-Raos undre gräns på kovariansmatrisen för parameterestimationen användes.

Den ovan skisserade metodiken användes för att utvärdera en grupp lovande felmått som påträffats i litteraturen. Av dessa har de två felmått som uppvisat bäst totala resultat samt två felmått som uppvisat sämre resultat än väntat valts ut för redovisning. I den första kategorin faller Abrahamsson, Andersson och McKelveys felmått, som använder frekvensresponsfunktioner vid uppmätta egenvärden och approximativa egenvärden, samt kraftresidualfelmåttet från Friswell och Mottershead. I den senare faller felmåttet baserat på balansering av egenvärdesproblemet från Lallement och Piranda och Grafes korrelationsfunktioner för frekvensresponsfunktioner. Utvärderingen skedde på ett virtuellt fjäder-massa system som går under benämningen Kabemodellen.



Figur 11: Målfunktion med goda optimeringsegenskaper (t.v.), respektive dåliga (t.h.). Den vänstra målfunktionen är beräknad med felmättet kraftresidualer och den högra med korrelationsfunktioner för frekvensresponsfunktioner.

## Session 2: Energi





# CFD simulering, konstruktion och utprovning av startuppbrännare till en svartlutsförgasare

**Henrik Wiinikka**

Energitekniskt Centrum (ETC)  
Box726, S-941 28, Piteå, Sweden  
Tel; +46-911-23 23 80, Fax +46-911-23 23 99  
henrik@etcpitea.se

Chemrec Kraftliner i Piteå KB utvecklar tryck-satt svartlutsförgasning i en ny demonstrationsanläggning DP1. Anläggningen är fortfarande under en intrimningsfas och drifttiden har hittills begränsats av tekniska problem med pumpar, givare och även problem med en gaseldad startbrännare. Startuppbrännaren används för att värma reaktorn till starttemperaturen ( $\sim 1050$  °C) innan svartlut och syre införs till reaktorn. För att få mer tid på sig i startförloppet av reaktorn är det önskvärt att starttemperaturen ökas från  $\sim 1050$  °C till  $1200$  °C. Målsättningen med detta projekt är därför att ta fram en ny startupp brännare som klarar av att värma upp reaktorns tegel till en temperatur av  $1200$  °C så att en säker start av reaktorn kan utföras.

För att kunna konstruera en ny startuppbrännare utvecklas först en teoretisk modell (CFD, Computational Fluid Dynamics) av aerodynamiken, förbränningsprocessen och värmeöverföringen i DP1. CFD modellen används sedan i detta projekt för att simulera effekten av olika brännare på aerodynamiken och uppvärmningsförloppet i reaktorn.

Resultaten från CFD simuleringarna visade att värmeöverföringen från den heta gasen

i reaktorn till tegelväggen främst sker genom strålning och inte genom konvektion. En gasolbrännare är därför inte lämplig att använda som uppvärmningskälla eftersom flaman från en gasolbrännare är optiskt tunn och strålar därmed lite. Ökning av den totala värmeöverföringen sker därför lättast genom att öka strålningsvärmeöverföringen istället för konvektiv värmeöverföring. CFD simuleringarna visade att tegeltemperaturer över  $1200$  °C i DP1 kan uppnås med en syre dopad gasolbrännare, oljebrännare eller en Oxy-Fuel brännare, eftersom för dessa brännare ökar strålningsvärmeöverföringen antingen genom att förbränningstemperaturen stiger eller att flaman blir mer optiskt tjock (mer sot i flaman). En modifierad oljebrännare användes för att värma upp DP1. Resultaten blev mycket lyckad och tegeltemperaturen höjdes signifikant i jämförelse med gasolbrännaren och en säker start av svartlutsförgasningsprocessen kunde därmed erhållas efter att reaktorn hade värmts upp med oljebrännaren. I framtida förgasare bör man därför använda sig av en oljebrännare som startuppbrännare och inte en gasolbrännare.

# Dynamic Load Measurements on a 10 MW Kaplan Runner - Design and Evaluation of a Pressure Measurement System at the Porjus Hydropower Centre

Ida Jansson & Michel Cervantes

Division of Fluid Mechanics  
Luleå University of Technology  
Ida.Jansson@ltu.se, Michel.Cervantes@ltu.se

The construction of hydropower in the beginning of the 20th century played a central role in the development of the mining industry in the northern part of Sweden. Today, hydropower produces almost half of the Swedish electricity. The deregulation of the electricity market has increased the need to regulate the power on the grid. An introduction of renewable energy sources such as wind power will also increase the demand of regulation power. When using hydropower to regulate power, the machines have to be started and stopped more often and sometimes operated on partial load. This means increased stress levels and calls for further characterisation of the dynamical behaviour of hydropower machines. An ongoing project concerned with full experiments on hydro power machines started 2006 at Luleå University of Technology. 200 sensors installed on different parts of the machine will allow measurements on both rotating and static parts on the full-scale 10 MW U9 unit, at the Porjus Hydro Power Centre, a research and development centre. The aim of the measurements is to determine the characteristics of the rotor system composed of a generator, bearings and a runner. The dynamic loads need to be known

to further develop rotordynamic models. In this presentation the measurement system to estimate the hydraulic load on the runner will be discussed.

To determine the hydraulic load 40 miniature piezo-resistive pressure sensors will be mounted on both the pressure and the suction side of one of the six blades of a Kaplan runner. Given the difference in the pressure distribution between the pressure and the suction side the angular resolved and the time dependent forces on the runner exerted by the water can be estimated. The emplacement of the sensors was determined with the help of a CFD-study in order to capture the main gradients.

The mounting of the pressure sensors must be done without changing the shape of the runner. Another requirement is that damaged pressure sensors should easily be replaced without dismantling the runner. To evaluate and further develop a method to mount the sensors on the blade, tests have been done on a laboratory scale. A metal plate has served as runner blade model. Furthermore, tool to calibrate the sensors on site has been developed and tested.

# Transient growth in the asymptotic suction boundary layer

M.K. Thomas

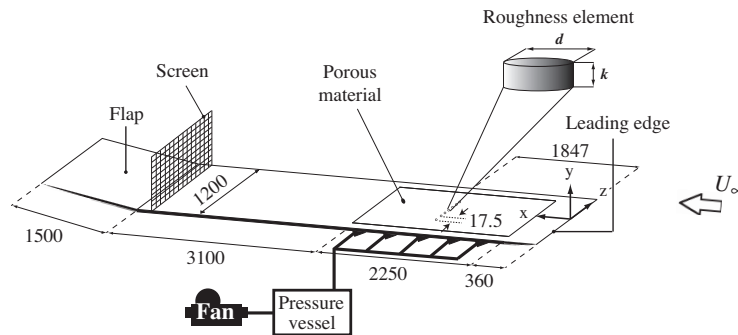
KTH Mekanik - Linné Flow Centre  
mthomas@mech.kth.se

Recent experimental studies on roughness induced transient growth have shown that suboptimal perturbation theory may predict the evolution of energy in the streamwise direction. However there is a fundamental difference between the experimentally generated streaks using roughness elements and the ones arising from the theory. This is due to the complex interaction between the wake and the standing vortices, which depends on the ratio between the height of the roughness element ( $k$ ) and the boundary layer thickness as well as the Reynolds number based on  $k$ . Knowledge in this area is sought after so that in the long run transition originating from transient growth may be predicted accurately.

In the current experimental investigation we have performed a geometrical parameter analysis in order to study the transient energy growth behind a spanwise array of cylindrical roughness elements. Here we have chosen to work with the asymptotic suction boundary layer (ASBL), which has the advantage that we may change the boundary layer thickness and the Reynolds num-

ber independently. The experiments were carried out on a porous flat plate mounted inside the MTL wind tunnel at KTH Mechanics. The porous material allows for constant suction velocity ( $V$ ) to be applied across the surface creating the ASBL. The roughness elements with a diameter of 5 mm were placed at a distance  $x = 1847$  mm from the leading edge and spaced out 17.5 mm in the spanwise direction (see figure for experimental setup). Different heights of roughness elements ( $k = 1.08, 1.25, 1.40, 1.55, 1.65$  mm) were used as well as different free stream velocities ( $U = 4, 5, 6$  m/s). The applied pressure drop (18-19 Pa) across the porous material gave a constant displacement thickness  $d = 1.45$  mm, which is given analytically by the expression  $d = \nu/V$  where  $\nu$  is the kinematic viscosity of the fluid.

We will present the energy evolution of the individual modes triggered by the roughness array using spatial mode decomposition. Furthermore, the experimental results will be compared with suboptimal perturbation theory on the ASBL and the discrepancies discussed.



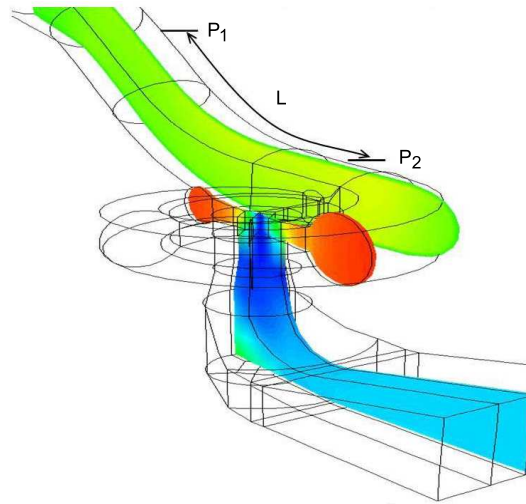
## Numerical investigation of the Gibson's method

Pontus P. Jonsson, Michel J. Cervantes & Marie Finnström

Avd. för strömningslära  
Luleå tekniska universitet  
pontus.jonsson@ltu.se

Gibson's method, also known as the pressure time method, is commonly used to measure the flow rate in hydroelectric power plants. Gibson's method is derived from Newton's second law, which uses the relation of the decelerated water, during a rapid closure of the guide vanes and the corresponding pressure force in the penstock. Some criterions have to be fulfilled in order to achieve an accurate result with this method, see IEC 41 standard<sup>1</sup>. A major criteria is the length between the pressure measuring sections, which should be at least 10 m. Furthermore, the mean velocity times the distance between the pressure measuring sections should be larger than 50 m<sup>2</sup>/s. These criterions are rarely fulfilled in Swedish hydropower plants due to low heads. To extend this method to low head machines, a numerical study is first made to evaluate the effects of the connecting tubing between the pressure taps.

The pressure waves occurring when the flow rate is decreasing will travel up and down in the penstock until it has damped out due to friction. This kind of damping will also occur in the measuring tubes, which can give a different pressure value for different tubing configurations. To study this phenomenon, numerical simulations are made and compared with well defined laboratory experiments. A one dimensional code, programmed in Matlab, is used for the numerical simulations where the governing equations, continuity and equation of motion, are discretized with a Godunov-type scheme with second order accuracy. The friction is modeled using the Brunone with Vitkovsky formulation. The simulations are made for different initial flow rates and different closure functions, i.e. same as in the experiments. The effects of the tubing between the measuring sections and the pressure sensors will be quantified. The results will be compared to well defined experiments.



Figur 12: A schematic drawing of the waterways in a hydroelectric power plant.

<sup>1</sup>Field acceptance tests to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines, vol. 41, IEC, Geneva, Switzerland, third ed., 1991.

# Effects of Inlet Boundary Conditions On Spiral Casing Simulation

**Berhanu Mulu & Michel Cervantes**

Div. Fluid Mechanics, Luleå University of Technology  
Berhanu.Mulu@ltu.se

The Hölleforsen hydropower plant is situated on the river Indalsälven in Sweden, which consists of three Kaplan turbines units with a total installed capacity of 50 MW at the operational head of 27 m. The main task of this research work is to simulate the flow through the penstock, spiral casing and distributor (guide vanes and stay vanes) of the Hölleforsen model. Numerical simulations are performed on the model with 1:11 scale of the prototype turbine, a runner diameter of 500 mm, a runner speed of 595 rpm and a volume flow rate of  $0.522 \text{ m}^3/\text{s}$  at the head of 4.5 m.

Flow in the penstock and spiral casings are very complex with several flow phenomena; separation, turbulence and unsteadiness, due to the viscosity, boundary conditions and complexity in the geometry. To gain information on the flow characteristics, numerical simulation of the complex three-dimensional turbulent viscous flow through the penstock, spiral casing and distributor of the turbine is performed. Conservation mass and momentum equations of the flow are

analysed using finite volume method with the software ANSYS CFX10.0. The objective of this study is to achieve the boundary conditions for subsequent simulations including the runner and ultimately the entire system.

The flow in hydropower plant is turbulent and highly unsteady. Therefore analysing the effect of the upstream geometry and different turbulence model are of great interest to see how the boundary conditions affect the runner and draft tube flow. Two types of turbulence models, standard  $k-\epsilon$  and SST  $k-\omega$  based turbulence model, are applied to study the flow characteristics. Comparisons are made between the numerical simulations with and without the penstock and the available experimental results in the spiral casing. The numerical results are found to have better agreement with the experimental results when the penstock is included in the simulation. Therefore, detailed inlet boundary conditions are necessary to simulate accurately the spiral casing flows if the penstock is not included in the simulation.

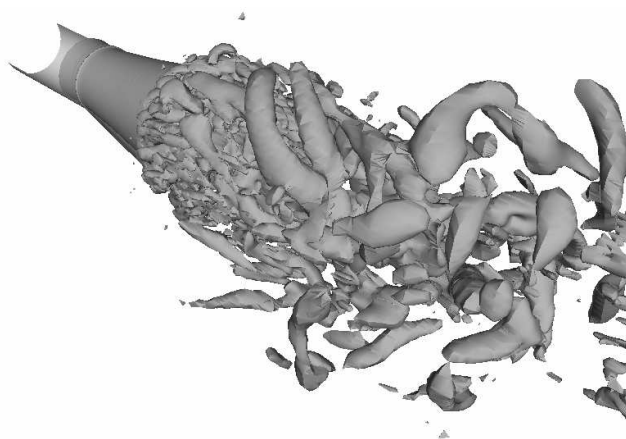
## Turbulensmodellering för instationär virvlande strömning i sugrör

Walter Gyllenram

Avd. för Strömningslära  
Chalmers Tekniska Högskola  
gyllwalt@chalmers.se

Målet med detta arbete är att utveckla bättre beräkningsmodeller för instationär turbulent strömning i vattenturbiners sugrör. De vanliga modellerna som används för att modellera turbulensens inverkan på det upplösta hastighetsfältet är kända för att ha en stark dämpande effekt på eventuella upplösta instationära effekter. Däremot beter sig modellerna oftast väldigt bra nära väggar. Ett dynamiskt low-pass filter av de turbulenta längd- och tidsskalorna har utvecklats för att minska modellernas negativa inverkan på det upplösta hastighetsfältet medan det goda vägg-nära beteendet bibehålls. Filtret blir endast aktivt i de områden där storskalig turbulens potentiellt kan bli upplöst av beräkningsnätet.

En virvlande strömning genom en axisymmetrisk diffusor har valts som testfall. Numeriska simuleringar har genomförts, både med ofiltrerad och filtrerad turbulensmodell. Det visar sig att filtret är nödvändigt för att överhuvudtaget erhålla instationära lösningar. Vidare undersöks filterbreddens inverkan på de tidsupplösta frekvenserna och på det tidsmedelvärderade hastighetsfältet. De beräknade resultaten jämförs med mätdata. De tidsmedelvärderade resultaten från simuleringarna med ofiltrerad turbulensmodell överensstämmer ganska illa med mätdata, medan god överensstämmelse erhålls med den filtrerade modellen.



Figur 13: *Isoytor av den andra invarianten av hastighetsgradient-tensorn. Varje yta representerar en virvel.*

# CFD Driven Optimering av Vattenvägarna i ett Vattenkraftverk med Hjälp av Surrogatmodeller

B. Daniel Marjavaara

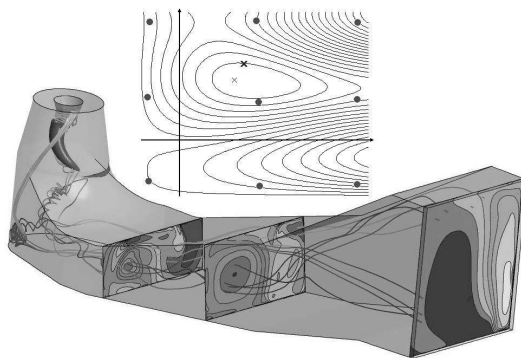
Avd. för strömningslära, Luleå tekniska universitet  
daniel.marjavaara@ltu.se

Vattenkraften omvandlar vattnets lägesenergi till elektrisk energi och svarar idag för cirka hälften av Sveriges totala elproduktion och en femtedel av världens totala elbehov. Många av vattenkraftverken i Sverige är dock gamla och i behov av renoveringar och uppgraderingar inom den närmaste framtiden. Den avreglerade energimarknaden i landet samt den nya lagen om elcertifikat medför också att möjligheterna att effektivisera vattenkraften är stora, då turbinerna används annorlunda än tidigare. I samband med dessa renoveringar och effektiviseringar ökas också behoven att utveckla och utforma tillförlitliga designverktyg/metoder som kan tillämpas snabbt och kostnadseffektivt. Fokus i detta arbete har således varit att utveckla och implementera sådana metoder för att designa vattenvägarna i ett vattenkraftverk, eftersom utformningen av dessa i hög grad påverkar effektiviteten hos vattenkraftverket.

Traditionellt sett så har utformningen av vattenvägarna baserats på verktyg såsom förenklad analys och tidsödande experiment med kravet på en enkel konstruktion. Trenden idag och i framtiden är att basera utformningen mer på simuleringsverktyg kopplat till optimeringsverktyg tillsammans med färre och mer kvalificerade experiment för att validera vald design. Målet med detta arbete har därför också varit att utveckla och implementera sådana simulerings och optimeringsverktyg samt att stude-

ra för- och nackdelarna med dem. Själva arbetet har koncentrerats på utformningen av turbin sugrör, eftersom sugrören ur ett effektivitetsperspektiv är väldigt intressant då den står för en stor del av de hydrauliska förlusterna i systemet. Strömningssituationen i sugröret är dock väldigt komplext med instationärt flöde, separation, virvlar och sekundärströmning etc., vilket medför att simuleringarna blir väldigt tidskrävande och icke triviala. Ytterligare svårigheter med valet av optimeringsalgoritm, designvariabel och målfunktion gör beräkningarna än mer beräkningstunga och komplicerade.

För denna typ av simuleringar har s.k. surrogatbaserad optimering visat sig vara en särskilt lämplig och effektiv metod att använda. Exempel på vanliga surrogatmodeller inkluderar responseytemetoden, neurala nätverk och Kriging approximationer. Dessa surrogatmodeller ger en förenklad approximation av den beräkningstunga simuleringsmodellen, som sedan kan användas i själva optimeringsfasen för att påskynda hela designprocessen. Dessutom ger de en bättre inblick i design- och lösningsrymden samt robustheten i den optimala lösningen. I kombination med genetiska algoritmer ökar de också potentialen att hitta flera optimala lösningar, s.k. Pareto optimala lösningar, inom både rimlig tid och kostnad.





# Strömningsberäkningar för vattenkraft med OpenFOAM

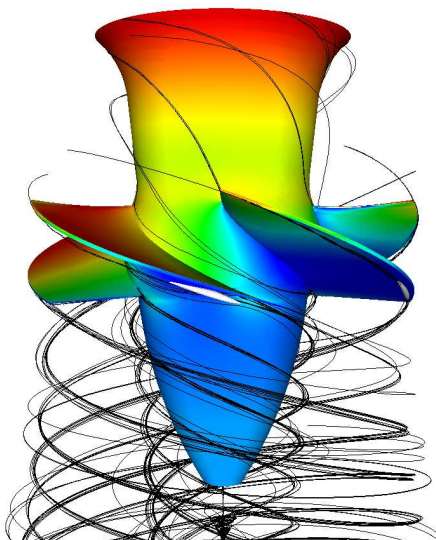
Håkan Nilsson

Inst. för Tillämpad mekanik Avd. för Strömningslära  
Chalmers  
hani@chalmers.se

Presentationen kommer att introducera åhörarna till Svenskt VattenkraftCentrum (SVC), som är ett centrum för vattenkraftrelaterad forskning och utbildning, och består av universitet (Chalmers, LTU, UU, KTH) och industri (ägare och tillverkare av vattenkraftrelaterad utrustning) samt Energimyndigheten. SVC startade 2005, men har sina rötter i ett tidigare vattenturbinteknikprogram som finansierades på liknande sätt. Skillnaden är att man inom SVC även ser till utbildningsfrågan, samt satsar på kompetensbärare i form av seniora forskare på universiteten. Jag är den seniorforskarer på Chalmers som delvis finansieras av SVC. Jag ansvarar för området strömningsberäkningar inom SVC. Presentationen ger en överblick över de doktorandprojekt inom SVC som i huvud-

sak ägnar sig åt strömningsberäkningar, samt de strömningsberäkningar jag själv utför.

Inom SVCs strömningsberäkningsprojekt har det skett en fokusering mot användandet av OpenFOAM ([www.openfoam.org](http://www.openfoam.org)) som beräkningsverktyg. OpenFOAM är en programvara som är OpenSource, och därmed kostnadsfri att använda. OpenSource-konceptet möjliggör att man kan kontrollera hela implementationen, samtidigt som det möjliggör internationellt samarbete. Jag är med i en internationell grupp som med gemensamma ansträngningar ska utveckla OpenFOAM för vattenkrafttillämpningar. Erfarenheter från användandet av OpenFOAM, samt arbetet med utveckling av OpenFOAM för vattenkrafttillämpningar kommer att diskuteras.



Figur 14: Strömlinjer och iso-ytor av lågt statistiskt tryck i Hölleforsen-löphjulet.

# Strömningsexciterade svängningar i vattenkraftturbiner

## - Hur ska strömningen genom en turbin modelleras i en rotordynamisk modell?

Martin Karlsson<sup>1</sup> & Håkan Nilsson<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Polhemslaboratoriet, Avdelningen för Datorstödd maskinkonstruktion  
Luleå tekniska universitet  
karmar@ltu.se

<sup>2</sup>Strömninglära/Tillämpad Mekanik  
Chalmers tekniska högskola  
hani@chalmers.se

Vattenkraften byggdes ut i Sverige för mellan 100 och 30 år sedan. Större delen av den byggdes för att producera baskraft för en reglerad elmarknad. De största förändringarna sedan utbyggnadsperioden är att elmarknaden i dag är avreglerad och att det sker en märkbar utbyggnad av förnyelsebar elproduktion. Båda dessa faktorer påverkar sättet som ett vattenkraftaggregat körs på. Från att vattenkraften har körts med väldigt få starter och stopp, startas och stoppas idag aggregaten flera gånger dagligen. Sättet som ett aggregat används på påverkar även dynamik, serviceintervall och livslängd. Rotordynamisk analys är ett av de verktyg som kan användas för att förstå och förbättra ett vattenkraftaggregats dynamik. I ett vattenkraftaggregat har elektromekaniska krafter, lageregenskaper och strömningsexciterade krafter stor inverkan på rotordynamiken. I denna presentation diskuteras de modeller som utvecklas för att analysera strömningsexciterade svängningar i vattenkraftturbiner för olika driftförhållanden.

En stor skillnad mellan att analysera ett rotordynamiskt system och ett strömningssystem är att det i det första är stora fundamentala krafter som påverkar systemets dynamik, medan det i det senare är betydande att även beskriva de-

taljer. I ett rotordynamiskt system finns många icke-linjäriteter och ofta krävs många och långa simuleringar av en relativ liten modell för att utföra en analys. Då ett strömningssystem i sig oftast kräver en stor modell är det ofta svårt att utföra långa simuleringar och än svårare att göra långa och många simuleringar. I forskningsprojektet som presenteras används finita volymsmetoden för att beräkna rotordynamiska koefficienter, samt periodiska krafter och moment från en strömningssystem av en turbin. Rotordynamiska koefficienter, krafter och moment analyseras med hjälp av ett egenutvecklat rotordynamikprogram. Tidsupplösta strömningssystem presenteras tillsammans med rotordynamisk frekvens- och stabilitetsanalys.

Forskningen i detta projekt finansieras av Elforsk AB:s och Energimyndighetens ELEKTRA-program och Svenskt Vattenkraftcentrum. Beräkningarna är utförda på Swegrid med stöd av Vetenskapsrådet/Swedish National Infrastructure for Computing. Mjukvaran som används för strömningssystemberäkningar är OpenFOAM. Författarna vill tacka utvecklare och användare av OpenFOAM som genom programmetts användarforum delar med sig av sina erfarenheter och råd.

## Wind-driven rivulet over an edge with break-up

Tobias Tivert

Avd. Strömningslära  
Chalmers tekniska högskola  
tobias.tivert@chalmers.se

An experimental and numerical study of a wind-driven rivulet break-up at the trailing edge of a horizontal plate have been carried out.

The experiment setup is a 20mm thick, 250mm square plate with a 1mm circular water inlet centered on top of the plate. The ambient air flows on both sides of the plate. As the water is introduced, the ambient air will form a rivulet which travels towards the trailing edge of the plate. At the trailing edge, the rivulet breaks-up, forming droplets with sizes depending on flow rate and velocity of the ambient flow.

The experimental part was performed at Volvo Car Corporation using three different water flow rates (0.8, 0.5 and 0.2 l/h) and four ambient air flow velocities (11, 14, 19 and 25 m/s). A high-speed camera was used to visualize the water which contained a fluorescent liquid for easier postprocessing. Every case was repeated ten times in order to obtain reasonable good statistics for the pinch-off frequency and the second order droplets. Also, the static contact angle and surface tension was measured.

Numerical simulations were carried out using the numerical method volume of fluid (VOF) within the commercial software FLUENT. The cases simulated was the experimental cases having largest experimental water flow rate. This choice was based on earlier numerical generic studies of rivulets. It was concluded that a low water flow

rate did not predict a rivulet, but a droplet train, on the plate in contrast to experiments. In the simulations the rivulets began to break-up on the plate at flow rates lower than 0.6 l/h where the experiments showed non-breaking rivulets down to 0.2 l/h.

The computational domain was discretized using block-structured boundary-fitted mesh. The choice of hexahedral mesh was based on previous experiences showing low performance of the VOF method on tetrahedral/prismatic mesh structures if there are strong gradients in the prismatic layer. The air flow is calculated without any turbulence model. The boundary layer is laminar upstream from the water inlet and match the Blasius profile.

The simulations so far show good agreement compared with experiments but the releasing frequency of the droplets are too high. This is probably because the static contact angle between the phase function and the solid surface are fixed in the simulation, where in the experimental flow it is. Even more important is that when the rivulet arrives to the trailing edge it has almost no inertia at all, only from the shear stress. This results in too high rivulet velocity and it does not want to stay at the lower edge to accumulate big droplets. As a consequence of the higher velocity is that the released droplets are too small.



Figur 15: Rivulet flow over an edge.

# Nonlinear Rotor Wake/Stator Interaction Calculations by using Time Domain Chorochronic Solver

Martin Olausson

Tillämpad mekanik  
Strömningslära  
Chalmers tekniska högskola  
martin.olausson@chalmers.se

Aerodynamic interaction between rotor wakes and stators is one of the most important sources in turbomachinery noise generation<sup>1</sup>. The rotor wake, caused by the rotor boundary layer, is seen by the stator as a local change in velocity, rotating with the same rotational speed and pitch as the rotor. The stator is therefore experiencing an unsteady velocity field, and an unsteady pressure distribution on the blades is created. This in turn creates pressure waves, which will take the form of spinning modes in the turbomachinery duct, according to the well known theory of Tyler and Sofrin<sup>2</sup>. The resulting noise is a tone that consist of the blade passing frequency, BPF, and harmonics. This work deals with the time lagged periodic boundary condition (chorochronic periodicity)<sup>4, 5</sup> used in time domain Navier-Stokes equations solvers and its advantages/drawbacks over frequency domain linearized N-S equations solvers<sup>3</sup>. The time lag periodic b.c. is used to sol-

ve the nonlinear three dimensional N-S equations using realizable k-epsilon turbulence model and time dependent wake defined at the inlet, with only a limited number of blade passages discretized. The time lag periodic b.c. has been validated through a number of 3D test cases. The acoustic response from a stator vane with wakes defined at the inlet is calculated using both a frequency domain linearized N-S equations solver and unsteady RANS equations solver with chorochronic periodicity, and the results are compared. Convergence time for the unsteady nonlinear calculation expressed in number of periods needed to reach a periodic solution depend on time lag size. This motivates a possible use of a few blades in the computational domain to minimize time lag/period ratio. Making the time lag periodic b.c. absorbing was shown to be a robust solution to handle instabilities that appeared in some of the test cases.

---

<sup>1</sup>Envia, E., Wilson, A. G. and Huff, D. L., "Fan Noise: A Challenge to CAA", International Journal of Computational Fluid Dynamics, Vol. 18, 2004, pp. 471-480

<sup>2</sup>Tyler, J. M. and Sofrin, T. G., "Axial Flow Compressor Noise Studies", SAE Transactions, Vol. 70, 1962, pp. 309-332

<sup>3</sup>Baralon, S., Eriksson, L.-E., Billson, M. and Andersson, N., "Evaluation of Advanced Prediction Methods for Aero Engine Exhaust Noise", ISABE-2005-1190

<sup>4</sup>Gerolymos, G. A., Michon, G. J. and Neubauer, J., "Analysis and Application of Chorochronic Periodicity in Turbomachinery Rotor/Stator Interaction Computations", Journal of Propulsion and Power, Vol. 18, 2002, pp. 1139-1152

<sup>5</sup>Lebrun, M. and Favre, Ch., "Fan-OGV Unsteady Navier-Stokes Computation using an Adapted Acoustic Mesh", AIAA-2004-2995

# Comprehensive CFD Model Predictions in High Temperature Black Liquor Gasification

**Magnus Marklund**

Energy Technology Centre (ETC)  
Box 726, SE-941 28 Piteå, Sweden

Pressurized Entrained flow High Temperature Black Liquor Gasification (PEHT-BLG) is a novel technology for improving the energy recovery efficiency and for enabling production of renewable transportation fuels in chemical Kraft pulping. As a step towards commercialization of the technology, a 20 tonnes BLS/24h development plant has been built and in operation since October 2005. The operational experiences from the development plant will be valuable in designing commercial scale gasifiers. However, scale-up beyond a certain level is difficult to do safely without a detailed process model. Therefore, a self-consistent CFD based model has been developed for the reactor in PEHT-BLG process. Basically, the model uses an Euler-Lagrangian two-phase formulation for modeling the phase coupling due to exchange of momentum, heat transfer and chemical reactions between black

liquor droplets and the gas phase. The presentation focuses on CFD model predictions in comparison to available experimental data from the black liquor gasification development plant. The comparisons have shown the model to be reasonably accurate in: Temperature predictions in the lower part of the reactor; reduction efficiency; carbon conversion; and the inorganic smelt composition. However, most of the obtained experimental and numerical simulation results had to be corrected and adjusted in order to make any comparisons possible since direct measurements are only available for temperatures via three thermocouples at the inside of the reactor wall. Therefore, measurements in form of gas sampling, char/smelt sampling and accurate spatially resolved temperature measurements from the inside of the reactor are necessary and under development.

# The importance of mechanics in black liquor gasification

Rikard Gebart

ETC and Luleå University of Technology

Black liquor is a by-product from the pulping industry consisting of mainly lignin, water and pulping chemicals. The energy content in the black liquor from all Swedish pulp mills is about 50% of the total bioenergy in Sweden (about 40 TWh/year). The energy in the black liquor is traditionally recovered in so-called recovery boilers where the energy is used for steam production for mill internal use and power production. An important second purpose of the recovery boiler is to recover pulping chemicals from the black liquor that after conditioning can be used in the so called digester that separates cellulose fibres from the wood. The recovery boiler is a reliable technique that has served the pulping industry well for over sixty years but there has always been an interest to find more efficient recovery techniques. A Swedish invention, the Chemrec black liquor gasifier, is one interesting option that is under strong development today. The Chemrec gasifier is an oxygen blown high temperature gasifier that produces a syngas consisting of carbon monoxide, hydrogen, carbon dioxide and small amounts of methane. The gasifier also separates

the cooking chemicals from the black liquor and dissolves them in water to produce a so called green liquor that is similar to that from the recovery boiler. Some of the advantages with the gasifier technology compared to the recovery boiler are a higher energy efficiency, higher safety and less space requirements. In addition, the syngas is a more flexible energy carrier than steam and it can be used both for high efficiency power production and for production of transportation fuels. If all black liquor in Sweden is converted to transportation fuels, more than 25% of the current consumption of petrol and diesel can be replaced with green fuels from the pulp mills.

In my presentation, I will describe the on-going Swedish research program on black liquor gasification, in particular the parts where mechanics play an important role. The research program was started in 2001, expanded in 2004 and is now focussed around a process development gasifier that has been built in Piteå. The program consist of five work packages, both experimental and theoretical, and involves researchers from several universities and research institutes.

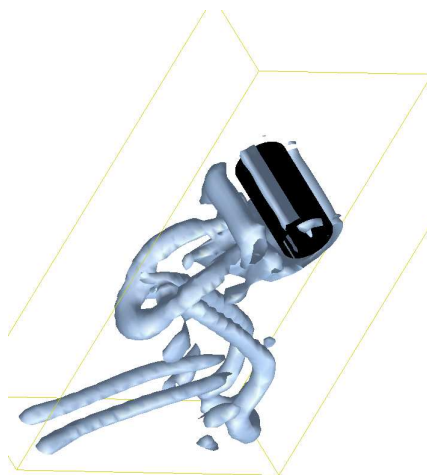
## Strömningsinducerade vibrationer hos en kort cirkulär cylinder i en kanal

Johan Revstedt

Energivetenskaper  
Lunds tekniska Högskola

Fluid-strukturinteraktioner kan uppträda i många industriella tillämpningar såsom strömning kring gasturbinskovlar, tubpaket i värmväxlare mm. En egenskap hos denna typ av interaktion är de periodiska krafter, vilka uppkommer pga. virvelavlösning i vaken, som strukturen utsätts för. Om frekvensen hos dessa varierande krafter överensstämmer med strukturens egenfrekvens (synkronisering) fås mycket hög amplitud på strukturrörelsen. Är dessutom massförhållandet mellan fluid och struktur litet kommer den virtuella massan att vara av betydelse. Vilket i sin tur leder till att synkronisering inte enbart sker vid en punkt utan kommer att uppträda över ett större område av strukturparametrar (exempelvis elasticitet). I denna studie har strömningsinducerade vibrationer hos en elastiskt upphängd stel cylinder som anströmmas av en inkompressibel fluid vid  $Re=400$  undersökts med hjälp av 3-dimensionella si-

muleringar. Cylindern är placerad i en kanal med rektangulärt tvärsnitt och spänner mellan väggarna. Cylinderytan representeras med hjälp av en metod i vilken objektet ersätts av ett motsvarande kraftfält för att uppfylla randvillkoren. Simuleringarna har utförts för vid lågt massförhållande mellan solid och fluid och utan dämpning. Simuleringar har utförts för dimensionslös elasticitet i området ( $0,1 < k < 40$ ). Effekter av inneslutningens storlek har studerats genom att variera kanalbredden (och därmed också cylinderns längd). Det kan konstateras att för en mycket kort cylinder ( $L=2D$ ) styrs cylinderrörelsen av systemets egenfrekvens även utanför synkroniseringsområdet. Vid ökad cylinderlängd kommer gradvis den naturliga virvelfrekvensen att dominera cylinderrörelsen utanför synkroniseringsområdet. Dock har inga effekter av cylinderlängd på synkroniseringsområdets utbredning kunnat observeras.



Figur 16: Visualisering av vakvirvlar för en kort cylinder vid synkronisering.

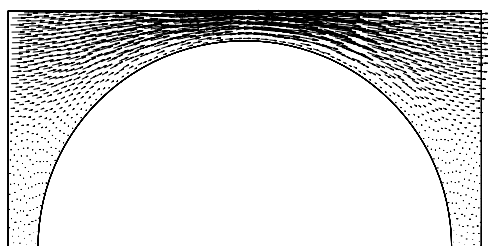
# Flöde genom poröst material vid varierande Reynolds tal

J. Gunnar I. Hellström & T. Staffan Lundström

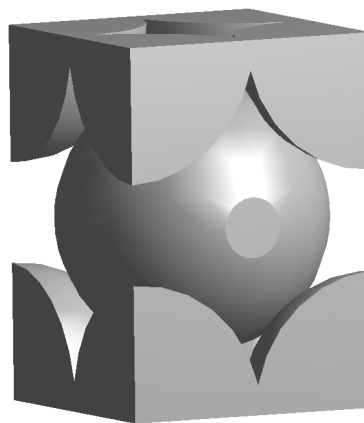
Avd. för Strömningslära  
Luleå tekniska universitet  
gunnar.hellstrom@ltu.se

Simulering och modellering av strömning genom porösa material är ett område där kunskapsbehovet har ökat på sistone främst inom industrinära områden såsom strömning genom fyllnadsdammar, torkning av järnmalmspellets och tillverkning av kompositer. Traditionsmässigt har dimensionering inom detta område främst byggts på empiriska formler såsom Ergun's ekvation samt kostnadskrävande modellförsök. Med den ökade potentialen inom numeriska flödesberäkningar, inom rimliga investeringskostnader, så har förutsättningarna för en mer korrekt beskrivning av flödet kommit till handa där flödet kan lösas för Navier-Stokes ekvationer. För att erhålla en djupare förståelse för när tröghetseffekter måste tas hänsyn till samt när

övergången från laminär till turbulent beskrivning av flödesfältet måste tas i beaktande så har en grundläggande studie för detta genomförts. För att isolera effekter från det valda porösa materialet så är det lämpligt att välja en enkel men ändå representativ geometri, i detta fall en kvadratisk packning av cylindrar samt en hexagonal packning av sfärer, dessa sfärer störs även något i dess volym för att skapa ett mera verkligt material. Simuleringar på dessa geometrier genomförs för ett brett spektra av Reynolds tal varierande från laminärt kryppflöde till en fullt utvecklade turbulent konfiguration med SST som turbulens modell. Den kommersiella programvaran ANSYS CFX 10.0 används med extra fokus på en nätberoende lösning.



Figur 17: Laminärt flöde, solidhalt 60 %,  $Re' = 0,02$ .



Figur 18: Geometri för hexagonal packning av sfärer.



# Interaktion mellan partiklar i ett tidsberoende flöde

Lisa Prah, Johan Revstedt & Laszlo Fuchs

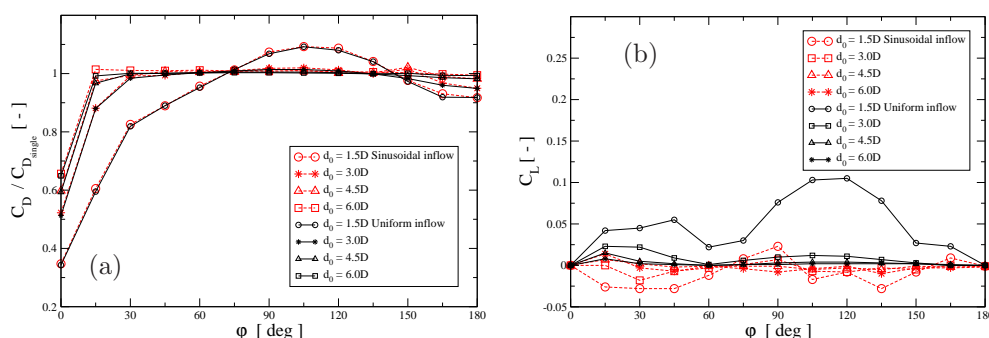
Avd. för Strömningsteknik  
Lunds Tekniska Högskola  
Lisa.Prah@vok.lth.se

I den här studien undersöks det hur de hydrodynamiska krafterna som verkar på en solid partikel påverkas av närvaron av andra partiklar. Syftet är att undersöka dynamiken i interaktionen mellan två partiklar då de utsätts för ett tidsberoende flöde och hur interaktionen ändras gentemot ett tidsberoende fall. Främst är det motståndskrafterna och lyftkraften som partiklarna utsätts för då positionen i relation till en referenspartikel ändras som studeras.

Simuleringarna utförs på ett cartesiskt nät där "Volume of Solid" metoden (VOS) används för att representera de solida partiklarna. VOS är baserat på Volume of Fluid (VOF) med skillnaden att en av fluiderna antas vara en solid. Detta medför i sin tur att vissa förenklingarna kan göras gällande beräkningen av viskositetsförhållandet partikel-fluid. Partiklarna hålls fixerade i beräkningsdomänen och Reynolds talet är satt till 100. Flödet över partiklarna är konstant i det tidsberoende fallet medan ett sinusformat inflöde tillämpas i det tidsberoende fallet. Partiklarnas position definieras med hjälp av två parametrar: avståndet ( $d_n$ ) mellan partiklarna

som varierar mellan 1.5 - 6 sfärdiameter ( $D$ ) och vinkeln mellan de två objekten,  $0^\circ < \phi < 90^\circ$ .

Figur 19(a) visar hur motståndskraften varierar för det tidsberoende och det tidsberoende fallet för de olika partikelkonfigurationerna, där motståndskraften i det tidsberoende fallet är medelvärderad. Ur denna figur kan inga skillnader utläsas i motståndskraft mellan de båda fallen. Däremot, om motståndskraften i det tidsberoende fallet istället delas upp i sina fyra delar; tid, viskös, konvektiv och tryck, och tidsberoendet av dessa i sin tur jämförs med inloppet finner man en färförskjutning mellan tids-, viskostet- och konvektiva termen och inloppet. Det är effekterna av färförskjutningen som presenteras i denna studien, vilka effekter detta har på vaktbildningen för referenspartikeln då vaken påverkar motståndskraften för den sekundära partikeln. Dessutom visar resultaten, figur 19(b), på att den tidsmedelvärderade lyftkraften för det pulserande inloppet är nästintill noll medan partiklar placerade i närheten av varandra i det tidsberoende fallet tydligt påverkas av en lyftkraft. Orsaken till detta presenteras också i studien.



Figur 19: (a) Den medelvärderade motståndskraften ( $C_D$ ) som funktion av vinkeln ( $\phi$ ) för både det tidsberoende och det tidsberoende fallet. (b) Lyftkraften ( $C_L$ ) som funktion av vinkeln ( $\phi$ ) för både det tidsberoende och det tidsberoende fallet.

# Optimeringsstudie av datortomografisystem för användning inom 3D bildkorrelation

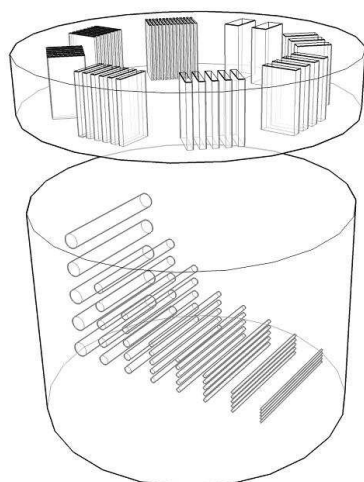
Fredrik Forsberg

Avd. för Experimentell mekanik, Luleå tekniska universitet  
fredrik.forsberg@ltu.se

Tomografisk 3D-DSP är en metod för att upptäcka förändringar i datortomografibilder, och annan tredimensionell bilddata. Idén är att från två stycken tredimensionella avbildningar av ett föremål, taget vid två olika tidpunkter bestämma storlek på en eventuell förändring, i varje punkt inuti föremålet, med hjälp av s.k. 3D bildkorrelation. Från detta tredimensionella förskjutningsfält kan man sedan beräkna det fullständiga töjningsfältet inuti föremålet. Detta görs genom 3D bildkorrelation av volymdata. För att kvantitativa korrelationsberäkningar på bilddatat ska vara möjligt är det nödvändigt att avbildningssystemets prestationsegenskaper är kända. I detta fall sker avbildningen med ett egenutvecklat s.k. mikrodatortomografisystem. Förutom bestämning av systemet upplösningsförmåga i de tre rumsdimensionerna så analyseras även olika bildartefakter - eller bildfel - som är typiska för datortomografi. Exempel på sådana bildartefakter är strukturella distorsioner, överlagrade ringmönster och s.k. strålhärdningseffekter. Dessas uppkomst beror på flera olika faktorer såsom avbildningsgeometri, upplösningsförmågan och typen av avbil-

dat objekt. Genom att i optimeringsstudien identifiera avvikelser från de ideala avbildningsparametrarna kan vi till viss mån kompensera för dem och därigenom reducera, eller helt eliminera, bildfelen.

Slutligen finns det också ett krav på att datortomografisystemet ska ha hög repeterbarhet eftersom själva grundtanken med metoden är att beräkna strukturella skillnader inuti objektet, utifrån två separata avbildningar av detta. Repeterbarhet är därför ett krav för att kunna bestämma strukturella förändringar entydigt. Vid denna studie har datortomografisystemets avbildningsegenskaper testats genom analys av rekonstruerad data från en uppsättning olika kalibreringsobjekt. Figur 20 visar ett sådant kalibreringsobjekt, som används för bestämning av spatial upplösning. Analysen visar på förbättrad upplösningsförmåga genom applicering av olika brusreduceringsmetoder. Vidare har flera olika bildfelsgenererande faktorer identifierats. I och med detta har flera av de mest allvarliga bildartefakterna kunnat kompenseras bort och arbetet med att förbättra rekonstruktionerna ytterligare fortgår.



Figur 20: Modell av kalibreringsobjekt för analys av spatial upplösning i rekonstruerad bilddata. Den övre sektionen av kalibreringsobjektet används för att bestämma upplösningsförmågan inuti ett tvärgående skikt av objektet medan den nedre sektionen används på samma sätt för ett längsgående skikt av objektet.

## Avlösning kring en vass, kilformig framkant

Anne-Marie Schreyer, Alessandro Talamelli & Henrik Alfredsson

Mekanik  
KTH  
gef@kth.se

I överljudsart önskar man i allmänhet ha skarpa, kilformade, framkanter på vingprofiler, men även för vissa tillämpningar i låga farter är det önskvärt att ha en skarp framkant. Ett problem i underljudsart är att även vid små anfallsvinklar kommer strömning att avlösa kring en skarp framkant. Det är av intresse att veta hur anfallsvinkel, kilvinkel och Reynolds tal påverkar återanläggningen, dvs hur stor en eventuell avlösningssubbla blir, samt om återanläggning sker laminärt eller turbulent.

Vi genomför en experimentell undersökning i låga hastigheter (upp till 30 m/s) i en vind-

tunnel där gränsskikten kring några 2D kilformiga framkanter med olika kilvinkel undersöks. Avlösningssubblan kring framkanten undersöks med visualisering, genom tryckfördelningen på kilen och med varmtrådsanemometri.

Parallellt med den experimentella undersökningen, utförs numeriska undersökningar med programmet XFOIL för att bestämma tryckfördelningen och strömningsfenomenen som kan förväntas i experimenten. De experimentella och numeriska resultaten jämförs, för att pröva användbarheten av programmet i regionen av låga Reynolds tal.

## **Session 3: Tillverkning/Process**



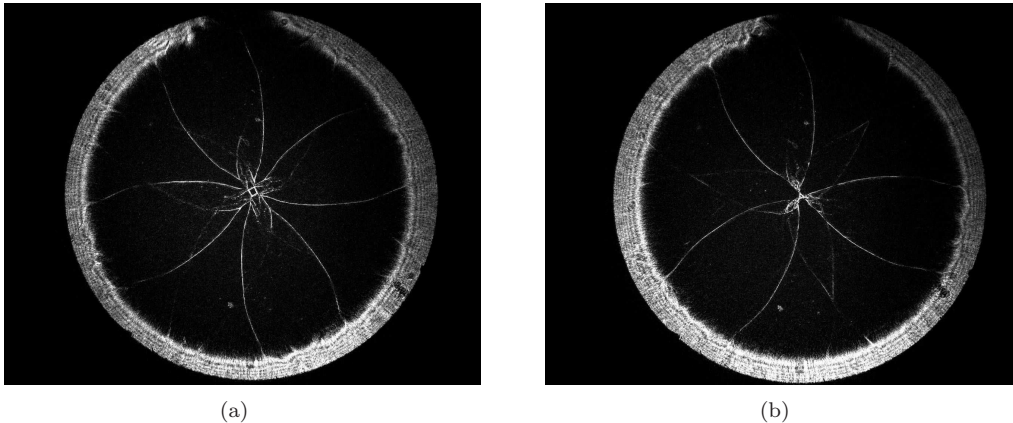
## Hög energikoncentration vid stötvågsfokusering

Malte Kjellander

KTH Mekanik  
makj02@kth.se

Starka stötvågor är intressanta för att generera lokalt höga temperaturer och tryck. Den optimala formen av en stötvåg är den helt cirkulära. Det är dock känt att denna är instabil då Machtalet överstiger ca 2,4. Instabiliteten hos den cirkulära vågen leder till att vågfronten bryts upp och en oregelbunden våg med plana sidor uppstår. Den uppkomna formen är i regel inte symmetrisk vilket leder till att ett distinkt fokus inte uppstår där energin koncentreras. Egenskapen hos starka stötar att bilda plana sidor kan utnyttjas till att skapa symmetriska polygona, stabila former. Våra numeriska beräkningar ger att stötmachtalet för samtliga symmetriska polygona stötvågor utom en ökar mot centrum. Undantaget är den liksidiga triangulära stötvågen, där stötvågens Machtal går mot ett asymptotiskt värde som beror på begynnelsevillkoren. Våra

experiment har gjorts för att verifiera de analytiska och numeriska resultaten. Det experimentella arbetet har utförts i institutionens stötrör som använts under en längre period för studier av konvergerande stötvågor, se Eliasson et al. <sup>1,2</sup>. Röret är konstruerat så att en utgående plan stöt omformas i en radiellt konvergerande cylindrisk stöt. Formen på den ingående cylindriska stöten kan sedan ändras genom att små cylindrar placeras längs periferin i mätsektionen. På detta sätt har två symmetriska stötvågskonfigurationer studerats, en kvadratisk och en triangulär. Experimenten visar på i grunden olika beteenden hos den kvadratiske och triangulära stötvågen. Medan den kvadratiske stöten genomgår en periodisk omvandling bibehåller den triangulära sin ursprungliga form och orientering under fokuseringen.



Figur 21: Schlierenfotografi av en (a) kvadratisk stötvåg och (b) triangulär stötvåg under fokuseringsprocessen.

<sup>1</sup>Eliasson, V., Apazidis, N. & Tillmark, N. 2006a Controlling the form of strong converging shocks by means of disturbances. Shock waves p. In print.

<sup>2</sup>Eliasson, V., Apazidis, N., Tillmark, N. & Lesser, M. B. 2006b Focusing of strong shocks in an annular shock tube. Shock waves 15, 205-217.

# Mikromekanisk modellering av papper utsatt för tryckbelastning och fuktvariationer

Jessica Strömbro & Peter Gudmundson

Institutionen för Hållfasthetslära, KTH  
jessica@hallf.kth.se

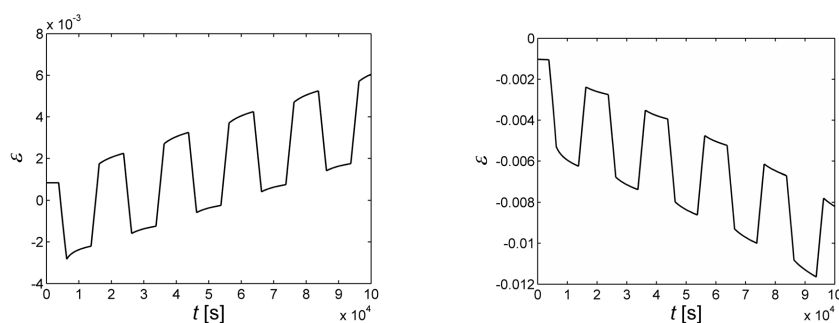
Tidsberoende deformation, krypning, är en viktig egenskap för pappersprodukter, som wellpapplådor, påsar, matförpackningar och pappersrullar, när de utsätts för belastning under långa tidsperioder. Hög luftfuktighet förvärrar krypningen, och varierande luftfuktighet accelererar krypningen ytterligare, vilket exempelvis kan leda till snabb kollaps av förpackningar. Accelerationseffekten av varierande luftfuktighet på krypning kallas mekanosorptiv krypning. Mekanosorptiv krypning i papper har varit känd sedan 70-talet, men modeller som kan beskriva fenomenet har saknats, vilket gör det svårt att designa förpackningar och förbättra pappersegenskaper på ett effektivt sätt.

Tidigare forskning vid institutionen för hållfasthetslära har visat att en trolig mekanism för mekanosorptiv krypning är förknippad med den hygrokopiska naturen och de anisotropa egenskaperna som individuella fibrer har, i kombination med deras olinjära kryp beteende. Fibersvällning och krympning på grund av fuktändringar är till exempel mycket större tvärs fiberaxeln jämfört med i fiberns riktning.

Det här projektet är fokuserat på pappersbeteendet under kompressiv belastning och vari-

erande fukttinhåll. I Johan Alfhans doktorsavhandling<sup>1</sup> undersöktes krypmekanismer under varierande fukthalt med hjälp av en mikromekanisk modell på fibernätverksnivå. Den modellen överfördes sedan till makroskopiska pappersegenskaper genom lämpliga medelvärdestekniker. De speciella effekter som hör ihop med kompressivt beteende var dock inte inkluderat. För att utveckla en modell som kan fånga de experimentella observationerna på ett korrekt sätt, både i drag och tryck, måste hänsyn tas till de geometriska effekterna av krökta fibrer.

En mikromekanisk nätverksmodell som fångar pappers egenskaper i både drag- och tryckbelastning har utvecklats. För att fånga upp inverkan av krökta fibrer modelleras individuella fibrer med två raka segment som bildar en vinkel skild från noll. Fibermodellen har överförts till makroskopiska pappersegenskaper med hjälp av lämpliga medelvärdesbildningar av fibernätverket. Modellen fångar både den försvagande effekten i kompression och det extra bidraget till fuktexpansion som resulterar från krökta fibrer, se Figur 22.



Figur 22: Töjning som funktion av tid  $t$  för cyklisk fukthalt och pålagd dragbelastning (vänster) eller tryckbelastning (höger). Krypningen ges av Nortons kryplag. Både krypning och hygroexpansion är större i kompression än i dragning.

<sup>1</sup> Alfhan, J. "Micro-mechanically based modeling of mechano-sorptive creep in paper", Doktorsavhandling nr 57, Hållfasthetslära, KTH, Stockholm, 2004.

## Simulering av formblåsning

Göran Lindkvist

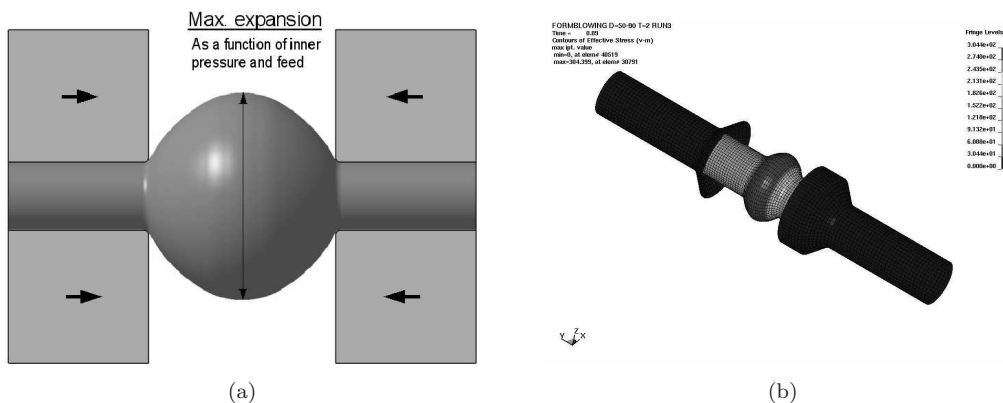
Avd. för Hållfasthetslära  
Luleå tekniska universitet  
Goran.Lindkvist@ltu.se

Användningen av ultrahöghållfast stål i fordonskomponenter är alltmer förekommande inom bilindustrin. Användning av rörformade profiler som utgångspunkt vid tillverkningen av komponenter ger möjlighet att forma komplexa geometrier med anpassad styvhet. Ett förekommande sätt att forma dessa idag är genom hydro-forming, där en vätska under högt tryck (1000-3000 bar) formar profilen mot en verktygsyta. På grund av de höga trycken ställs stora krav på verktygens hållfasthet. Dessutom krävs ett duktilt material för att forma svåra geometrier, vilket kräver ett material med lägre sträckgräns.

Med processen formblåsning och härdning kan komplexa geometrier formas av höghållfast stål

med relativt låga verktygskrafter. En svetsad rörprofil av Borstål värms till drygt 900 grader Celsius, därefter injiceras gas (luft) och ett inre tryck (100-300 bar) formar profilen mot verktygsytan. Den höga temperaturen medför att materialet är duktilt och styrka erhålls i ett härdningssteg där vatten injiceras i den formade profilen.

Processen är under utveckling och simuleringsverktyg används genomgående i arbetet. Detta arbete avser att visa på möjligheter att utvärdera och utveckla processen med hjälp av simuleringsmodeller. Kopplade termo-mekaniska analyser på testverktyg visas, där målsättningen i förlängningen är att utveckla ett kriterium för formbarhetsgräns.



Figur 23: (a): Exempel på formningsförsök. (b) Simulering av formningsförsök.



# Högtemperatur-tribologi för verktygsstål och höghållfast borstål

Jens Hardell, Elisabet Kassfeldt & Braham Prakash

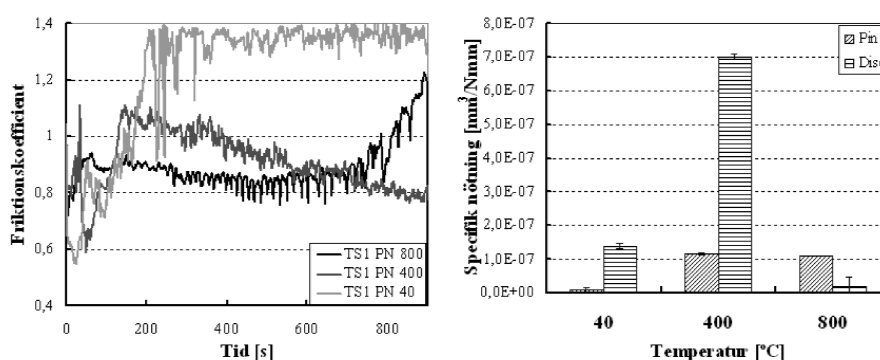
Avd. för Maskinelement, Luleå tekniska universitet  
jens.hardell@ltu.se

Det finns många tillämpningar där maskinelement utsätts för höga driftstemperaturer. Exempel på sådana återfinns inom flygindustrin, elkraftsindustrin och vid metallbearbetning. Inom metallbearbetning vid höga temperaturer, t.ex. för höghållfasta stål, värms arbetsstycket upp för att underlätta formningen samt att minska effekterna av återfjädring och deformationshårdnande. De höga temperaturerna medför dock andra problem som t.ex. skalbildning på arbetsstycket samt ökad oxidation och nötning på verktygen. En omfattande litteraturstudie har visat att endast ett fåtal studier inom tribologi för metallbearbetning vid höga temperaturer samt friktions- och nötningsegenskaper för material vid höga temperaturer har publicerats jämfört med antalet studier vid låga temperaturer.

Målet med denna studie är att skapa en bättre förståelse gällande friktions- och nötningsegenskaper för verktygsstål och höghållfast stål vid höga temperaturer. Det experimentella arbetet har utförts på en högtemperaturversion av Optimol SRV friktion och nötningstestrigg. Tre olika verktygsstål (med och utan plasma nitrering) samt

två höghållfasta borstål (med och utan Al-Si beläggning) har testats under torra oscillerande kontaktförhållanden vid temperaturer upp till 800°C.

Resultaten visar att friktions- och nötningsegenskaperna är temperaturberoende och att nötningmekanismen vid höga temperaturer är huvudsakligen adhesiv med vissa abrasiva inslag. Figur 24 visar ett exempel på friktions- och nötningsskarakteristiken för ett plasma nitrerat verktygsstål och ett Al-Si belagt höghållfast stål vid olika temperaturer. En förhöjd temperatur medförde lägre friktion och ökade nötningen på verktygsstålet. Nitrering av verktygsstålet resulterade i lägre friktion och mindre adhesiv nötning. Det Al-Si belagda höghållfasta stålet uppvisade en markant lägre nötning vid höga temperaturer jämfört med låga temperaturer. Det genomgick även en intressant morfologisk förändring när det utsattes för höga temperaturer vilket kan påverka de tribologiska egenskaperna. Mekanismerna som påverkar det observerade tribologiska beteendet samt den morfologiska förändringen är ännu oklara och fortsatta studier är nödvändiga för att fullständigt kunna förklara dessa.



Figur 24: Friktions- och nötningsegenskaper för ett nitrerat verktygsstål (pin) och Al-Si belagt höghållfast stål (disc) vid 40°C, 400°C och 800°C (Last: 50 N; Slaglängd: 1 mm; Frekvens: 50 Hz.)

# Modellering av värmegenerering i polykristallina material vid cyklisk belastning

**Paul Håkansson**

Avd. för Hållfasthetslära  
Lunds Tekniska Högskola  
Paul.hakansson@solid.lth.se

De mekaniska egenskaperna hos metaller och stållegeringar påverkas mycket av tillverkningsprocessen. Tillverkningsprocesser som valsning genererar texturerade material med en distribution av kristallorienteringar som inte är helt slumpmässig utan orienteringarna kommer att vara distribuerade på speciellt sätt. Andra tillverkningsprocesser kan ge andra distributioner. Dessa initiala texturer ger upphov till anisotropt plastiskt beteende. Här presenteras en studie över hur värmegenereringen på grund av plastiskt arbete påverkas av olika initiala texturer. Speciellt fokus är också lagt på värmegenerering vid cyklisk plastiskbelastning.

Studien är gjord med en kristallplasticitetsmodell som är formulerad inom ett termodynamiskt ramverk. Modellen bygger på en tidsberoende

formulering baserad på en Norton lag. Det har visat sig att om hårdnandet relaterat till de olika glidsystemen och tvärhårdnandet mellan glidsystemen inkluderas i Helmholtz fria energi och en speciell form av evolutions lagar används är det möjligt att modellera en termodynamisk konsistent värmegenerering. Bauschinger effekten vid cyklisk belastning fångas med hjälp av en intern variabel relaterad till "back-stress". Den presenterade formuleringen av hårdnandet resulterar i en värmegenerering som är fysikalskt rimlig även vid cyklisk belastning.

Det makroskopiska mekaniska och termiska beteendet erhålls genom en homogeniseringsprocess baserad på Taylor antagandet. Studierna av polykristallina material som presenteras är gjorda under adiabatiska villkor.

## **Pressning av SMC: Numeriska tryckfältsberäkningar med hjälp av inversmodellering**

**Sofia Ebermark, Daniel Marjavaara och Staffan Lundström**

Avdelningen för strömningslära, Luleå tekniska universitet  
sofia.ebermark@ltu.se

För att kunna prediktera tryckfältet i SMC under formfyllnad har en numerisk modell tagits fram. Utifrån denna kan man sedan få en ökad förståelse för uppkomsten av porer i SMC:n under pressning då uppkomst och upplösning är kopplat till tryckfördelningen. SMC:n är ett komplext material och dess viskositet beror av många parametrar såsom temperatur, härdningsgrad, fiberorientering osv. I CFD-modellen har en materialmodell används där vis-

kositeten avtar exponentiellt med temperaturen. För att kunna ta hänsyn till effekter på viskositeten från de övriga parametrarna används inversmodellering. Experiment har utförts på samma geometri som i CFD-modellen och trycket i olika punkter under pressningen har uppmätts. Genom inversmodelleringen har sedan parametrar i viskositetsmodellen kunnat anpassas så att tryckfördelningen i simuleringarna respektive experimenten överensstämmer.

# Vibrationsmätning på roterande fräsverktyg med laservibrometri

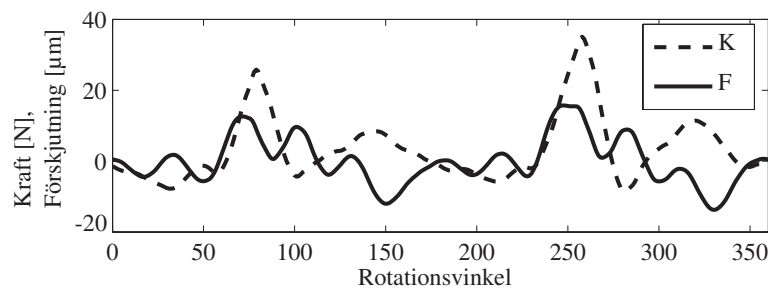
Kourosh Tatar

Avd för experimentell mekanik  
Luleå tekniska universitet, 971 87 Luleå  
Kourosh.tatar@ltu.se

I många tekniska sammanhang är det av stort intresse att kunna mäta vibrationer på en roterande axel. I fräsprocessen där varje skär går i ingrepp en gång varje varv och skapar högfrekventa vibrationer är mätning så nära skären som möjligt önskvärt. Laservibrometri (LDV) är en beröringsfri mätmetod som normalt används för vibrationsmätning av strukturer. Tekniken öppnar möjligheten att mäta direkt på roterande fräsverktyg för att studera verktygets och spindelns dynamik under drift. Det är dock känt att det uppstår problem vid LDV-mätningar där mätobjektet roterar eller rör sig i sidled. När man lyser med laserljus på verktygsytan som med största sannolikhet har en ytstruktur som är större än ljusvåglängden, sprids ljuset tillbaka slumpmässigt och bildar ett gryntigt mönster kallat specklemönster på detektorn. Detta mönster repeterar sig för varje varv och ett harmoniskt brus med frekvenser som sammanfaller med rotationsfrekvensen och alla dess övertoner visar sig i mätningarna. Harmo-

niska specklebrus blir omöjliga att särskilja från äkta vibrationstoppar och gör frekvensanalysen otillförlitlig. Dessutom kopplas den sökta vibrationskomponenten med övriga hastigetskomponenter från mätytan. Vi har visat att genom att polera mätytan till den grad att den kan betraktas som optisk slät undviks både harmonisk specklebrus och "crosstalk" mellan vibrationskomponenterna.

I en försökserie har vibrationer på ett blankpolerat verktyg med två skär uppmätts med LDV under fräsning av aluminium. Samtidigt har skärkrafterna på arbetsstycket registrerats. Figur 25 visar förskjutningen på det blankpolerade verktyget under ett varv tillsammans med skärkraften på arbetsstycket. Första skäret är i ingrepp mellan 55 och 85 grader och andra skäret är i ingrepp mellan 235 och 265 grader. Från Kurvorna kan man dra slutsatsen att skären ger olika ingrepp som troligtvis beror på att deras radiella position i verktyget är olika.



Figur 25: Heldragen kurva,  $F$  är förskjutning på blankpolerat verktyg under ett varv. Streckad kurva,  $K$  är skärkraften på arbetsstycket. Spindelns hastighet är 19000 varv/min.

## Tidsupplösta turbulensmätningar i flerfasströmning med mikrokonduktivitetssond

Timmy Sigfrids, Monika Fällman, Fredrik Lundell & L Daniel Söderberg

KTH Mekanik  
timmy@mech.kth.se

Tidsupplöst turbulensdata krävs för att bestämma spektra, för att följa strukturer i strömningen samt för att göra tidskorrelationer i strömningen. Varmtråds samt varmfilm anemometri används vanligtvis i luft respektive vatten. Varmfilm är dock inte tillämplig i en strömmande fibersuspension eftersom fibrerna fastnar på sonden. En suspension med cellulosa fibrer blir dessutom ogenomskinlig vid låga koncentrationer varför metoder som PIV och LDV inte kan användas.

Här har tidsupplöst data av koncentrationen av en passiv skalär (salt) mätts upp med en mätmetod som baseras på konduktiviteten fluidens konduktivitet. Metoden har använts för att mäta strömningen hos en vattenjet placerad i en turbulent kanalströmning där fluiden i kanalen är en vatten eller en fibersuspension bestående av cellulosa fibrer (av varierande koncentration) och vatten.

Mätkretsen består av en sond med liten ( $25\ \mu\text{m}$ ) aktiv spets och en stor passiv metallyta placerad på ett stort avstånd från sonden. Plattan säkerställer en lokal mätvolym runt spetsen på elektroden/sonden. Elektroden (sonden och plattan) matas med en växelspanning som tvingar en oscillerande ström genom fluiden/suspensionen. Strömmens amplitud är di-

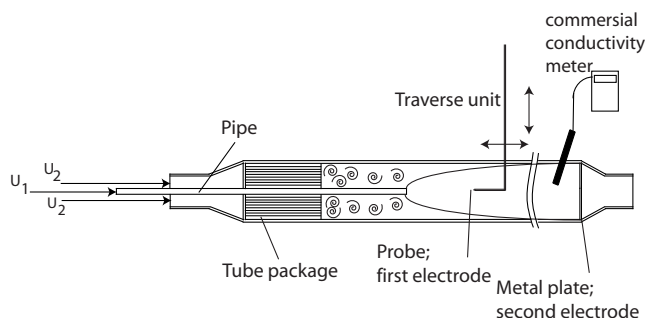
rekt proportionell mot mediets konduktivitet.

Matarsignalen måste vara en växelspanning då polarisationseffekter förkortar sondens livslängd avsevärt om likspänning används. Detta innebär dock att en mycket större datamängd måste inhämtas, dvs en eller flera perioder av en sinusvåg istället för en enstaka punkt.

Kanalen som används i experimenten består av en en meter lång kanal med det kvadratiska tvärsnittet 5 gånger 5 cm. I början på kanalen finns ett tubpaket för att generera en turbulent strömning i kanalen. I centrum av kanalen, en bit nedströms om blocket med hål för att säkerställa att den omgivande turbulensen är homogen, är ett rör placerat med diametern 1 cm. Strömningen genom röret genererar en stråle eller vak i kanalen.

Kanalen kan köras med olika konduktiva medier i kanalen och jeten, samt med olika suspensioner i kanalen/jeten. Kanalen kan även köras med eller utan jeten samt endast med jeten för att tillåta 'in situ' kalibreringar av konduktivitetssonderna. Mätningar hur fibrer påverkar turbulensen pågår för olika värden på hastighetskvoten mellan jeten samt kanalen samt olika fiberkoncentrationer och kommer att presenteras.

Arbetet finansieras av EU projektet ECOTARGET.



Figur 26: Den 1 m långa kanalen med jetröret, tubpaketet, traverseringsenheten, sonden samt en kommersiell konduktivitetssönd. Kanalströmningen  $U_2$  kan sättas mellan 0 och 1 m/s. Jethastigheten kan sättas mellan 0 och 2 m/s.

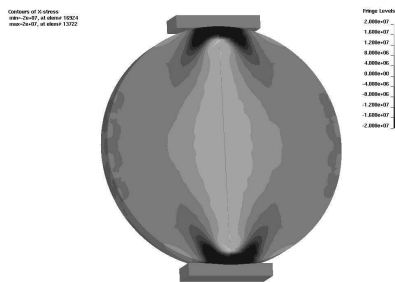
# Tensile fracture in high velocity compacted metal powder

Pär Jonsén

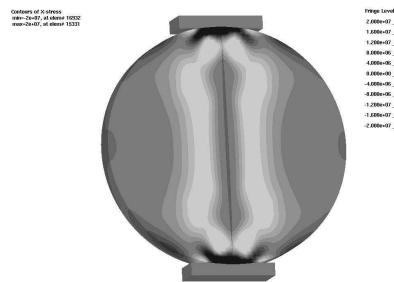
Division of Solid Mechanics  
Luleå University of Technology  
par.jonsen@ltu.se

In powder compaction, powder is formed into a desired shape with rigid tools and a die. During pressing, the volume enclosed between the die and punches is reduced and the powder consolidates until a final height is obtained or a prescribed compacting pressure is reached. After pressing, but before sintering, the compacted powder is called green body. Beyond a green body free from defects, desired properties are high strength and uniform density. High velocity compaction (HVC) using a hydraulic operated hammer is a production method to form powder utilizing a shock wave. Pre-alloyed water atomised iron powder has been HVC-formed into circular discs with high densities. The diametral compression test is an established method to measure tensile strength in low strength material like e.g. rock, concrete, polymers and ceramics. During the test a thin disc is compressed across the diameter to failure. The compression induces a tensile stress perpendicular to the compressed diameter. In this study the test have been used to study crack initiation and the tensile fracture process of HVC-formed metal powder discs

with a relative density of 99%. Linear elastic fracture mechanics is not applicable to cracking in metal powder compacts because the fracture zone is large compared to the crack dimension. The deformation and the fracturing are separately modelled. An elastic-plastic Cap model is employed for the deformation of the powder material and a fictitious crack model for the green body cracking. A stress versus crack-width relationship is utilized to govern the fictitious crack model. Tensile strength is used as a failure condition and limits the stress in the fracture interface. The softening rate of the model is obtained from the corresponding rate of the dissipated energy. The characteristics of the tensile fracture development of the central crack in a diametrically loaded specimen numerically studied with a three dimensional finite element simulation. Results from the finite element simulation of the diametral compression test show that it is possible to simulate fracturing of HVC-formed powder. Results from the simulation agree reasonably with experiments.



Figur 27: *Horizontal stress field at the onset of fracture.*



Figur 28: *Horizontal stress field in the final state.*

<sup>1</sup>P. Jonsén, Fracture and Stress in Powder Compacts, Doctoral Thesis, Luleå University of Technology, ISSN:1402-1544, ISRN: LTU-DT-06/29-SE, 2006

## PIV study on a multiphase flow: the formation of a fibre network.

Gabriele Bellani<sup>1</sup>, Fredrik Lundell<sup>1</sup> & L. Daniel Söderberg<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Linné Flow Center, KTH Mechanics, <sup>2</sup>STFI Packforsk AB  
Bellani@mech.kth.se

The formation of a fibre network and the flow inside the network play an important role in many natural and industrial processes. In particular, this work is focused on understanding fundamental phenomena relevant for the papermaking process, which begins with a suspension of about 0.5% of fibers in water to form, at the end a compact network of fibers. In this work we combine index-of-refraction matching, digital image filtering (Jacob and Unser (2004)) and a matlab-based PIV code (Mori and Chang (2003)) to measure the time-resolved velocity field of the components of a multi-phase suspension. This is applied to investigate the formation of a network from an initially dilute suspension of fibers.

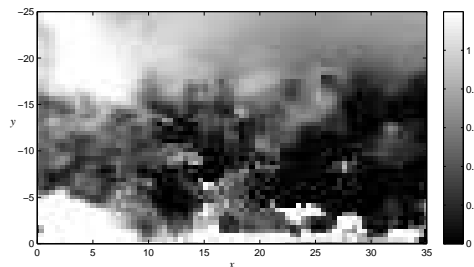
The experiments are performed in a vertical transparent channel with a square cross-section of dimensions 80x80 mm. A horizontal woven screen is mounted across the cross section at half the channel length from the top, where the network is formed. The flow of the suspension is driven by a piston controlled by a DC motor.

The suspended particles are cylindrical fibers and spheres. The fibre material is fluorocarbon

and the suspension is made optically transparent by using a solution of 65% (in weight) of glycerine in water, whose index of refraction matches that of the fibres.

The effect of the fibre aspect ratio and of the drainage velocity has been analyzed and both seem to have an effect on the final properties of the network and on the flow above and through the cavities.

The results show that there is a short period of acceleration just before the first fibres arrive at the screen. This acceleration is attributed to groups of fibres, flocs, sedimenting through the liquid and dragging fluid with them (see Herzhaft and Guazzelli (1999)). This acceleration is seen to be stronger for slow drainage velocities and long fibres. Furthermore, the structure of the generated networks can be studied, even though the data inside the networks has imperfections due to decreased image quality. The data indicates that fast drainage speeds and short fibres generate more compact networks (see fig. 29).



Figur 29: Mean in time of the non-dimensional vertical velocity component,  $v_t$  as function of  $x$  and  $y$ . Realization with high drainage velocity and short fibers.

<sup>1</sup>B. Herzhaft and E. Guazzelli. Experimental study of the sedimentation of dilute and semi-dilute suspension of fibres. Journal of fluid mechanics, 384:133-158, 1999.

<sup>2</sup>Jacob, M. Design of steerable filters for feature detection using canny-like criteria. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, Volume 26, 1007-1018 (2004)

<sup>3</sup>Nobuhito Mori & Kuang-An Chang. Introduction to mpiv, 2003. <http://sauron.civil.eng.osaka-cu.ac.jp/mori/>.

# Kopplade fukt, temperatur och mekaniska simuleringar för att förutsäga blåsbildning i glasfiberarmerad esterplast (GAP)

Peter Mannberg<sup>1</sup>, Gunnar Bergman<sup>2</sup> & Stefanie Römhild<sup>2</sup>

<sup>1</sup>SICOMP AB

peter.mannberg@sicomp.se

<sup>2</sup>KIMAB

gunnar.bergman@kimab.com

stefanie.romhild@kimab.com

Glasfiberarmerad plast (GAP) är ofta förekommande i processkomponenter i anläggningar för rening och kondensering av rökgaser, inklusive kringutrustning såsom rörledning och tankar. Dessa komponenter består oftast av ett styrkelaminat med hög fiberhalt belagt med ett ytskikt. Ytskiktet har för det mesta lägre fiberhalt. Ytskiktets uppgifter är att skydda styrkelaminatet från påverkan av yttre miljö samt ge en möjlighet till enkel optisk besiktning av nötning och skador. Det har observerats att ytskiktet kan drabbas av omfattande och djupgående blåsbildning. Denna blåsbildning har tidigare betraktats som osmobetingsad men nya rön tyder på att den också kan drivas av skillnader i fuktutvidgningskoefficient hos de båda lagren. Fuktutvidgningskoefficienten beskriver längdförändringen hos ett material som funktion av absorberad fukt. Skillnader i fuktutvidgningskoefficient hos de båda lagren innebär således att längdförändringen är olika i de olika lagren vilket leder till spänningar i gränssytan. I gränssytan kan det på grund av hantering, miljö, tillverkning etc. finnas mikrodelamineringar. Mikrodelamineringar anses vara ett nödvändigt förstadium till blåsbildning. Mikrodelamineringar kan tillväxa om spänningarna

överstiger kritisk gräns. Tillväxten kan leda till makrodelamineringar och när dessa har uppstått så kan ytskiktet till slut buckla. Slutsatserna från detta blir att man bör kunna komma till rätta (få bukt) med problemet genom att styra materialvalet så att fuktutvidgningskoefficienterna hos de två lagren ligger nära varandra. Ett annat alternativ är att öka styvheten hos ytskiktet för att försvåra buckling. Man har också sett att risken för mikrodelamineringar och blåsbildning minskar när vattnet lätt kan diffundera genom laminatet. Detta kan delvis förklaras av att snabb fukttransport leder till att fuktgradienter finns i laminatet endast under kort tid. Fuktgradienterna kan inverka negativt såtillvida att om fukten transporteras via ytskiktet vidare in i styrkelaminatet, vilket är det vanliga, så kommer ytskiktet att under en viss tid ha högre fuktkoncentration vilket i sin tur leder till större längdförändring, vilket enligt tidigare resonemang kan leda till blåsbildning. Det pågående arbetet ämnar (syftar till) att genom finita element, FE, modellering pröva teorierna om hur blåsor hos ytskiktet uppstår och hur uppkomsten och storleken påverkas utifrån materialvalet.



# Strömningsmekaniken för torkning av järnmalmspellets

Anna-Lena Ljung & T. Staffan Lundström

Avd. för Strömningslära  
Luleå tekniska universitet  
anna-lena.ljung@ltu.se

LKAB är en av världens ledande producenter av järnmalm i form av pellets och det är av konkurrensmässiga skäl viktigt att bedriva forskning för att optimera produktionen och förbättra kvalitén. För ett bandugnsverk sker pelletiseringsprocessen huvudsakligen i fyra steg då en kontinuerlig bädd av pellets transporteras på rosterband genom torkzon, förvärmningzon, brännzon och kylzon. Genomströmmande luft används för att reglera bäddens temperatur.

Syftet med arbetet är att med hjälp av datorstödda strömningsberäkningar (CFD) ta fram mass-, fukt- och värmeöverföringsmodeller för pellets i torkzonen. I simuleringarna betraktas pellets som porösa sfärer och mass- och värmeöverföring beräknas med hjälp av transportekvationer såsom Darcy's lag, Erguns ekvation samt en energiekvation för varje medium. Fukttransport i en pellet kan delas in i tre faser<sup>1</sup> och transport av vatten inuti pelleten an-

tas ske på grund av kapillära krafter samt diffusion. I den första torkningsfasen dunstar vatten från ytan med konstant hastighet. Detta pågår så länge fukten inuti pelleten forslas ut till ytan lika snabbt som avdunstningen sker. Därefter påbörjas den andra fasen där fuktfronten flyttas in mot kärnan. I den tredje fasen övergår hygroskopiskt och kemiskt kombinerat vatten till ånga. En begränsande faktor vid torkningen är andelen fukt luften kan ta upp innan den blir mättad, då återkondensation leder till att bädden försvagas och därmed riskerar att kollapsa.

För att simulera torkningsförloppet används ANSYS CFX 10.0 och stor vikt läggs på att minimera iterations-, diskretiserings- och modellfel. För att småskaliga transportfenomen såsom mikroskopisk turbulens ska tas med i beräkningarna utförs simuleringar på en geometri uppbyggd av sfärer med specifik packning och hänsyn tas därmed till omgivande strömningsfält.

<sup>1</sup>MEYER, K., "Pelletizing of iron ore", Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1980

# Strukturoptimering av gjutgods med hänsyn tagen till gjutspänningar

Erik Gustafsson\* & Niclas Strömberg<sup>†</sup>

\*SweCast AB

<sup>†</sup>Jönköping Högskola, Maskinteknik  
erieg@swecast.se

I detta projekt har en optimeringsmetod tillämpbar på multi-fysikproblem tagits fram. Optimeringsmetoden är baserad på successiv responsytteknik (SRSM-Successive Response Surface Methodology), där responsytorna uppskattas med både analytiska funktioner och neurala nätverk. Den implementerade SRSM-tekniken bygger på arbete genomfört av Stander och Craig, som i detta projekt har utvecklats vidare. Optimeringsrutinen är skriven i Matlab och länkat till Abaqus via Python-script. Från Abaqus exporteras målfunktions- och bivillkorssvärden för varje uppsättning av parametrar till Matlab där responsytorna genereras. Optimeringsrutinen är generell och kan tillämpas på alla typer av multi-fysikproblem. I detta projekt har vi utnyttjat metoden för att optimera gjutgods där vi tar hänsyn till restspänningar från gjutprocessen. Detta genomförs för ett låglegerat gråjärn. Den termomekaniska stelningssimuleringen antas vara okopplad där först en termisk analys genomförs för att bestämma temperaturhistoriken. Temperaturhistoriken utnyttjas sedan till att beräkna restspänningarna i strukturen. Dessa beräknas

med klassisk  $J_2$ -plasticitet med temperaturberoende materialparametrar. Restspänningarna överförs sekventiellt till strukturanalysen. FE-resultaten exporteras därefter till Matlab för att bestämma responserna. De analytiska responsytorna, som både kan vara linjära och av högre ordning, är anpassade med en minsta kvadrat metod. De neurala nätverken är så kallade feedforward nätverk med propagering bakåt. De är uppbyggda av flertalet lager med log-sigmoid och linjära överföringsfunktioner. Träningen av nätverken genomförs med en quasi-Newton metod. Nätverket är byggt genom att använda Matlabs Neural Network Toolbox. Optimeringsproblem som definieras av analytiska responsytor löses med sekventiell linjär programmering och optimeringsproblem som definieras av neurala nätverk löses med en Complex metod. För att minimera antalet simuleringar som behöver göras används en försöksplan där uppsättningen av parameterar väljs D-optimalt. De numeriska beräkningarna visar att restspänningarna från gjutprocessen kan påverka optimal utformning av en komponent avsevärt.

---

<sup>1</sup>E. Gustafsson & N. Strömberg, "Optimization of castings by using successive response surface methodology", accepted for publication in *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 2006.

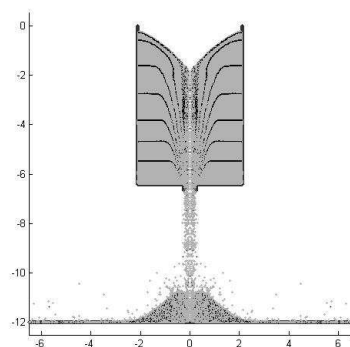
## Simulering av järnmalmpelletsflöde med SPH

**Gustaf Gustafsson**

Avd. för Hållfasthetslära  
Luleå tekniska universitet  
gustaf.gustafsson@ltu.se

I det här arbetet används SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) för att simulera pelletsflöde i en silo. SPH är en punktbaserad beräkningsmetod där geometrin representeras av ett antal noder med specifik massa och volym. Noderna fungerar också som beräkningspunkter där egenskaper i flödet så som rörelser nodkrafter, och densitetsförändringar resulterar från summeringar av grannoder via en kernel-funktion som lösning till de styrande ekvationerna. För summeringen av grannoder krävs en effektiv algoritm som hittar de influerande noderna till varje beräkningspunkt. I det här arbetet används en positionskodsalgoritm (The Position Code Algorithm) utvecklad för FEM av Oldenburg och Nilsson<sup>1</sup> för sökning av influensnoder. Algoritmen delar in den tredimensionella sökrymden i boxar där varje nod tilldelas en positionskod beroende på vilken positionsbox den tillhör. Sökningen i tre dimensioner omvandlas på detta sätt till en sökning i en endimensionell vektor. Kostnaden för sökning med denna algoritm är av ordningen  $N \log 2N$  där  $N$ , är antalet noder i modellen. En materialmodell som beskriver pellets som ett grovkornigt granulärt

material har implementerats i programmet för SPH simuleringarna. Pellets beskrivs här med en elastoplastisk modell genom en konstant skjuvmodul,  $G$ , en styckvis linjär funktion som beskriver trycket,  $p$ , som en funktion av den volymetriska töjningen,  $v$ , och en avlastningsbulkmodul,  $K$ . Flytytan är en funktion av trycket som anges med tre konstanter,  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ . Inget deformationshårdnande är antaget. Materialparametrarna har tagits fram ur resultat från experimentella kompression- och skjuv-tester på en större pellets mängd. Genom finita element simuleringar av experimenten har flytytans konstanter  $a_0$ ,  $a_1$  och  $a_2$  anpassats till data från experimenten. SPH modellen har sedan använts för att simulera tömning av pellets från en flatbottnad silo. Silogeometrin är hämtad från tömningsexperiment på en cylindrisk experimentsilo gjorda av Rotter m.fl.<sup>2</sup> på The University of Edinburgh, där pellets töms ur ett koncentriskt utlopp. Simuleringarna har sedan jämförts med data från experimentsilon. I första hand har flödesbilden i silon studerats. I Figur 30 visas en flödesbild ur simuleringen. Linjerna visar hur sju nivåer i silon har förflyttats under tömningsförloppet.



Figur 30: *Flödesutseendet från simulering med SPH efter att  $8\text{m}^3$  (av  $89\text{m}^3$ ) pellets har tömts ur silon.*

<sup>1</sup>Oldenburg, M., Nilsson, L. G., "The Position Code Algorithm for Contact Searching, Int. J. for Numer. Methods in Engrg.", 37, 359-386 (1994).

<sup>2</sup>Rotter, J. M., Ooi, J. Y., Chen, J. F., Tiley, P. J., and Mackintosh, I., "Flow Pattern measurement", Tech. Rep. R95-008, The University of Edinburgh, Edinburgh, Scotland (1995).

# Numerisk stabilitetsanalys av en plan vattenstråle i luft

Outi Tammissola, Fredrik Lundell & L. Daniel Söderberg

Linné Flow Centre  
KTH Mekanik  
outi@mech.kth.se

En tillämpning av stabiliteten hos en plan vattenstråle med luft som omgivande medium är strålen från inloppslådan i en pappersmaskin. Strömningens kvalitet i strålen är av yttersta vikt för papprets kvalitet. Inne i inloppslådan kan fiberströmmar separeras med plattor (s.k. lamellas). Efter att ha lämnat inloppslådan påverkas strömningen därför av en kombination av en vakinstabilitet och en ytvågsinstabilitet hos den fria strålen.

Problemet beskrivet ovan undersöks numeriskt med linjär stabilitetsanalys, där en ansats med temporala globala moder används. Bakom metodvalet ligger en vetskap om att både en vak och en plan stråle som har en spatiellt utvecklande medelhastighetsprofil för sig är absolutinstabila för stora Reynoldstal och därmed kan ge upphov till globala självsvängningar.

Rent fysikaliskt kan problemet delas in i tre olika domäner baserat på fas hos strömmande medium och randvillkor: vattnet omgiven av väggar i munstycket, vattnet i den plana strålen, och luften kring den, där de två sista har en gemensam gränssyta. Målet för den pågående studien är att i stabilitetsanalysen inkludera alla tre domänerna med rätta randvillkor och värden på de fysikaliska parametrarna som viskositet, densitet och ytspänning. Ythöjden på den fria strålen tillåts

variera i strömningsled. Trots fixeringen av vissa parametrar finns det en mängd av variabler kvar att studera, framförallt geometrin hos munstycket och luftprofilen hos medelströmningen.

Den komplicerade geometrin med många olika fysikaliska skalor och randvillkor inblandade presenterar en utmaning för numeriken, då globala moder-metoden i sig redan är minneskrävande och mera konvergenskänslig än lokala analyser. Likaså är valet av ett fysikaliskt, och dessutom numeriskt tillräckligt enkelt, randvillkor vid framförallt utloppet hos den globala moden en nyckelfråga för att kunna uppnå fysikaliskt relevanta resultat.

Eftersom strålen är plan kan såväl medelströmningen som globala moden antas vara 2-dimensionella. Även moder utan hastighet i spännviddsled kan således vara fysikaliskt tänkbara, trots att de med tre hastighetskomponenter inte heller bör uteslutas, då Squires teorem inte gäller för globala moder.

En formulering av fysiken och de ingående ekvationerna presenteras och de numeriska detaljerna diskuteras, tillsammans med inledande resultat av beräkningarna av störningsmoder med två hastighetskomponenter.

Arbetet utförs inom Linne Flow Centre och finansieras av EU-projektet Ecotarget.

# Dislocation density based constitutive model for Ti-6Al-4V used in simulation of Metal Deposition

Bijish Babu & Andreas Lundbäck

Div. Material Mechanics, Luleå University of Technology  
bijish.babu@ltu.se

The presented work is part of a project aimed at creating a constitutive model accounting for microstructural changes in Ti-6Al-4V. This paper investigates the plastic deformation of Ti-6Al-4V at low strain rates and temperatures up to melting point. This model is implemented in the FE software MSC.Marc and used in the simulation of Metal Deposition (MD).

The dependence of flow stress on temperature and strain rate is investigated. Ti-6Al-4V exhibits pronounced flow softening behavior at elevated temperature. Possible mechanisms responsible for this behavior are discussed and a physically based constitutive model is developed.

A dislocation density model is used to describe the hardening and softening. Mobile and immobile dislocations are accounted for in the model. The flow stress has contributions from long-range and short-range interactions of the dislocation substructure. Former is the athermal stress contribution, whereas latter is the friction stress needed to move dislocations through the lattice and to pass short-range obstacles. Thermal energy can assist dislocations to overcome these obstacles. The long-range term is written as

$$\sigma_G = m\alpha Gb\sqrt{\rho_i}$$

where  $m$  is the Taylor orientation factor which translates the effect of the resolved shear stress in different slip systems to effective stress and strain quantities.  $G$  is the temperature dependent shear modulus,  $b$  is Burger's vector and  $\alpha$  is the proportionality constant.

This provides a natural relation between the constitutive model and microstructure evolution. It is assumed that the mobile dislocations move an average distance (mean free path) -  $\Lambda$ , before they are immobilized or annihilated. The increase in the immobile dislocation density- $\dot{\rho}_i$  is also assumed to be proportional to  $\dot{\epsilon}^p$ , the plastic strain rate.

$$\dot{\rho}_i = \frac{m}{b} \frac{1}{\Lambda} \dot{\epsilon}^p$$

The mean free path is assumed to be a combination of the grain size, precipitate spacing and dislocation subcell or subgrain diameter.

Two recovery mechanisms, dislocation climb and dislocation glide are considered in this model. Recovery will increase the mobility of dislocations thereby reducing the immobile dislocation density.

## FEM simulering av induktionsvärmningsprocess

**Martin Fisk**

Avd. för Materialmekanik  
Luleå tekniska universitet  
martin.fisk@ltu.se

Syftet är att utveckla och validera en beräkningsmodell för optimering utav induktionsvärmning, så att önskad temperaturhistoria fås i en volym. Simuleringsmetoden som används är finita element- metoden och innehåller såväl elektromagnetiska som termiska fält. Den kommersiella programvaran MSC.Marc används för beräkning utav elektromagnetiska fält samt temperaturhistoria i arbetsstycket.

En axisymmetrisk modell där spole, arbetsstycke och omkringliggande luft modelleras.

Från spolen ges det bidragande magnetiska fältet till arbetsstycket där en alternerande volymsström getts som last. Det elektriska fältets medelvärde kommer sedermera ge bidraget till uppvärmingen i provbiten. Den elektriska och termiska konduktiviteten samt värmekapaciteten beror alla på temperaturen. Materialet i provbiten är Inconell 718, en nickel-krom legering. Beräkningsmodellen kommer att valideras för specifika fall med Inconel 718 som material.

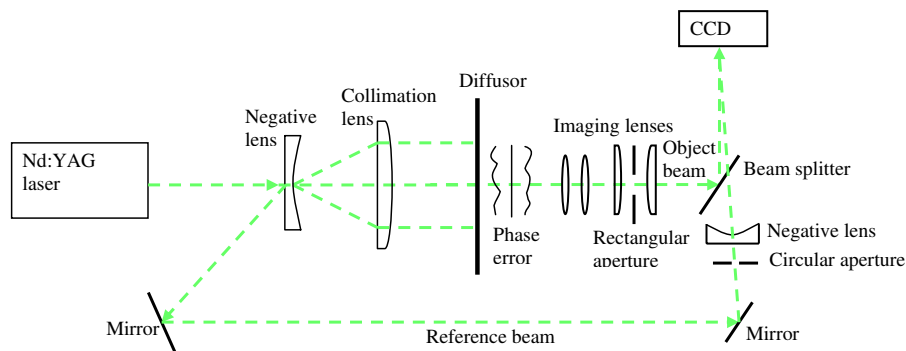
# Digital Holographic Interferometry in a disturbed environment

Henrik Lycksam, Per Gren & Mikael Sjö Dahl

Avd. för Experimentell mekanik, Luleå tekniska universitet  
henrik.lycksam@ltu.se

Many things may happen when moving a delicate experimental technique such as Digital Holographic Interferometry into a real world application. There may be vibrations, air turbulence or even dust and scattering particles present partly destroying or perturbing the experiment. Such disturbances significantly reduce the reliability of the technique and prevent spread into a wider area of application. This presentation presents results from an investigation on disturbances on Holographic images caused by air turbulence and vibrations.

To handle the problem with air turbulence a temporal sequence of an event is analysed and the effect on the motion and phase of the speckles is analysed and described using statistical measures (auto- and cross variance of the disturbance). The effect of the medium is fed back to the sequence and the undisturbed phase evolution is estimated. The principle is demonstrated using a heat source placed in between the object and the CCD camera as the disturbance on a simple tilt and vibration experiment. The experimental set-up is shown in the figure 31.



Figur 31: Principle of the experimental set-up. A laser illuminates a diffuse object and a hologram is acquired on the CCD using an off-axis reference beam. If a phase disturbance is present between the object and the CCD imaging and phase errors are introduced in the measurement.

## Session 4: Fordon/Infrastruktur





# Prediction of flow induced noise for a mixer-ejector engine configuration using LES

**Markus Burak**

Tillämpad Mekanik  
Strömningslära  
Chalmers tekniska högskola  
mabu@chalmers.se

Noise pollution from airports in the vicinity of cities is an important health problem of today. Strict global regulations on noise generated by air traffic have been imposed in order to deal with this problem. Aircraft and engine manufacturers are now including noise reduction as an important design factor in early stages of the construction process in order to cope with these regulations. In commercial aero engines, increasing the bypass ratio, i.e. the ratio between the air passing through the bypass duct to the air passing through engine core, has significantly reduced the aircraft noise. The increase of bypass ratio has unfortunately reached a limit for present engines having to consider a number of factors such as rotor speeds, length of the fan blades and engine nacelle drag. Consequently, other noise reducing concepts have to be considered. A mixer-ejector noise suppressor entrains cold ambient air into a duct where mixing with hot core/bypass flow lowers the jet velocity. The reduction of jet velocity leads to lower turbulence intensity in the mixing process of the exiting flow

and the ambient flow, hence less radiated noise. Inside the ejector the turbulence levels and generated noise are higher but are confined and absorbed by the acoustically treated interior walls. Due to the complexity of such designs, the design process has been mostly experimental. This method is time consuming and expensive and thus not preferable as a fast design tool. The increase of computational capacity has opened up for computational fluid dynamics (CFD) and computational aero-acoustics (CAA) as an attractive alternative.

Large-eddy simulations of the compressible flow and acoustic field for a mixer-ejector nozzle configuration have been carried out. Two cases were studied, a mixer-ejector with and without an acoustic liner in the interior ejector part. The jet Mach number based on the local speed of sound is approximately 0.5 for both the primary and secondary streams. The static temperature for the primary stream is about two times that of the secondary stream. The ambient conditions correspond to take-off at a Mach number of 0.3.

# Aerodynamisk optimering av höghastighetståg med CFD och surrogatmodeller

Siniša Krajinović

Tillämpad Mekanik  
Chalmers Tekniska Högskola  
sinisa@chalmers.se

De aerodynamiska egenskaperna av höghastighetståg optimeras idag genom trial-and-error-metoden. Ett sådan angreppssätt förlitar sig på ingenjörers skicklighet or erfarenhet att föreslå en förändring av designen som ska leda till en förbättring av tågets aerodynamiska egenskaper. Trots att den här processen brukar leda till en förbättring av designen finns det ingen garanti att den bästa designen kommer att finnas. En mer rigorös numerisk optimeringsmetod vilken möjliggör att den optimala aerodynamiska designen identifieras är på tåg tillverkarnas önskelista.

De flesta av existerande numeriska optimeringsmetoder för strömningsmaskiner och fordon och farkoster använder sig av gradientbaserade sökalgorithmer. Dessa metoder arbetar iterativt genom designrummet tills en optimal design hittas. En sådan metod är inte praktisk för optimering av fordonets aerodynamik på grund av det stora antalet CFD (Computational Fluid Dynamics) beräkningar vilka metoden kräver.

Den här artikeln presenterar användning av en surrogatmodell i form av responsyta- approxi-

meringar för tåg aerodynamik. Designproblemet av tågaerodynamik har flera objektfunktioner, som tex. luftmotstånd, sidovindsstabilitet, liftkrafter, aeroakustik osv. En optimal lösning av en sådan problem kallas Pareto-optimal front och kan användas av designers för att visualisera kompromisser mellan olika objektfunktioner och välja en kompromisslösning. I den här artikeln använder vi ett exempel av optimering av de aerodynamiska egenskaper av tågets front för att demonstrera en effektiv optimering av flera objektfunktioner. Två objektfunktioner har valts och responsytor har skapats som resultat av Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) beräkningar. Den Pareto-optimala fronten har skapats med hjälp av en evolutionsalgoritm. Vår studie visar att metoden är mycket effektiv i termer av beräkningstid och datorkrav. Istället för ett stort antal CFD beräkningar vilka krävs i en gradientbaserad sökalgoritm, endast ett litet antal av CFD simuleringar har krävts för optimering av tågets front med vår surrogatmetod.

# Endwall Shape Optimization of an Intermediate Turbine Duct

Fredrik Wallin & Lars-Erik Eriksson

Dept of Applied Mechanics, Division of Fluid Dynamics  
Chalmers University of Technology  
fredrik.wallin@chalmers.se

Demands on improved efficiency, reduced noise levels and lower emissions in aero-engines of today cause a strive toward higher by-pass ratios. This increases the radial offset between the high- and low-pressure turbines and thus make the design of the intermediate turbine duct more challenging. Improving the design could lead to benefits both in weight and performance of the entire engine. In the present work the aim has been to optimize the shape of the turbine duct endwalls. The response surface methodology (RSM) has been adopted. It is a global optimization technique able to efficiently estimate the behavior of the objectives and constraints throughout the entire design space.

An efficient axisymmetric parameterization of an intermediate duct was presented by Wallin and Eriksson<sup>1</sup>. It is based on adding perturbations to a reference geometry. These perturbations consist

of linear combinations of orthogonal polynomials and are added to the reference meanline and height distribution. The use of non-axisymmetric endwalls in turbine design has been investigated by several authors. Harvey et al<sup>2</sup>, Hartland et al<sup>3</sup> and Nagel and Baier<sup>4</sup> all observed a significant reduction of the secondary flows. The net loss was also reduced. In the present work a non-axisymmetric parameterization will be presented and applied to re-design the hub endwall.

Endwall optimization has the potential to significantly reduce losses. Figure 32 show contours of outlet stagnation pressure, strut static pressure and iso-surfaces of negative axial velocity of the baseline and optimized ducts respectively. Some loss reducing mechanisms were found and some interesting observations regarding the optimum duct design obtained were done.

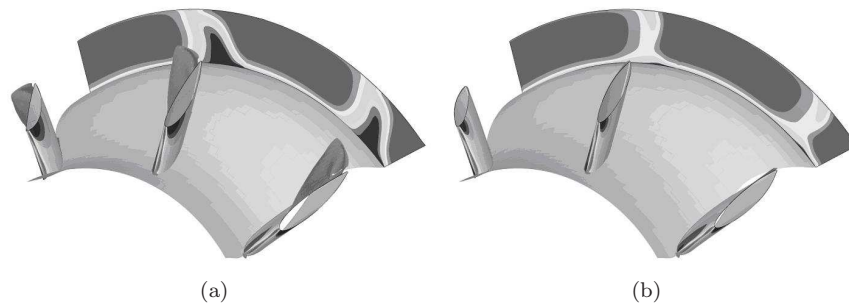


Figure 32: (a) *Baseline duct*, (b) *optimized duct*.

<sup>1</sup>Wallin F. and Eriksson L.-E., 2006, "Response Surface-based Transition Duct Shape Optimization", ASME Turbo Expo 2006, GT2006-90978.

<sup>2</sup>Harvey N. W., Rose M. G., Taylor M. D., Shahpar S., Hartland J. and Gregory-Smith D. G., 2000, "Nonaxisymmetric Turbine End Wall Design: Part I- Three-Dimensional Linear Design System", ASME Journal of Turbomachinery, 122, pp. 278-285.

<sup>3</sup>Hartland J. C., Gregory-Smith D. G., Harvey N. W. and Rose M. G., 2000, "Nonaxisymmetric Turbine End Wall Design: Part II- Experimental Validation", ASME Journal of Turbomachinery, 122, pp. 286-293.

<sup>4</sup>Nagel M. G. and Baier R. D., 2005, "Experimentally Verified Numerical Optimization of a Three-Dimensional Parameterized Turbine Vane with Nonaxisymmetric End Walls", ASME Journal of Turbomachinery, 127, pp. 380-387.

## Distribuerad simulering och visualisering av fordonsdynamik i realtid

Mikael Nybacka & Tobias Larsson

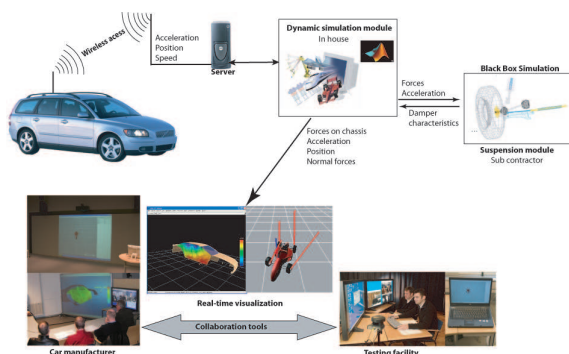
Avdelningen för Datorstödd maskinkonstruktion  
Luleå tekniska universitet  
mikael.nybacka@ltu.se

Kvalitet och funktionalitet gällande system i dagens fordon (bilar) beror till stor del på hur fordonsutvecklare och dess underleverantörer samarbetar under processen för fordonets utveckling. Brist på samarbete, och kommunikations-svårigheter, mellan leverantörer, fordonstillverkare, och även inom fordonsutvecklarens egen organisation skapar problem och förseningar, som ofta är kostsamma. Metoder och verktyg behöver utvecklas som stödjer hela utvecklingsprocessen, och samarbetet mellan de olika aktörerna, samtidigt som verktygen måste vara enkla att arbeta med och att implementera för att de ska användas för sitt tänkta syfte.

Genom att använda 3D-modeller av fordon för att visualisera den fordonsdynamiska responsen i realtid skapas en möjlighet att se resultat som hittills inte varit möjlig. I och med att detta kan göras distribuerat skapas en möjlighet att testexpeditioner kan kommunicera direkt med utvecklingsavdelningar och leverantörer, härigenom kan utvecklingsprocessen kortas ned och beslut kan tas tidigare i processen.

Arbetet innebär ett nytt angreppssätt, med en kombination av mjukvaruverktyg och metoder för distribuerat ingenjörsarbete, realtidssimule-

ring, visualisering, och black box simulation”. Det utvecklade systemet gör det möjligt för fordonsutvecklare och deras leverantörer att samarbeta mer i parallella flöden vid testning och validering. Systemet består av CarSim(tm), Matlab(r)/Simulink(r), och ett Java-baserat realtidssimuleringsverktyg ursprungligen skapat för datorspelsindustrin. Olika discipliner involverade i utvecklingsprocessen kan använda systemet för att öka samarbetet mellan disciplinerna. Kontrolllogik och mekaniska egenskaper kan visualiseras och effekter av systemförändringar kan studeras i realtid. Krafter som uppkommer i fordonets mekanismer beroende på olika konfigurationer av aktiva styrsystem och konstruktionsval kan studeras i realtid och på distans<sup>1</sup> Via avancerad visualisering av simuleringsresultat och mätdata kan utvecklingsavdelningar få en klarare bild av hur systemet/fordonet/produkten beter sig och härmed korta ner tiden för testning och återkoppling samtidigt som kvaliteten i processen ökar. Mätdatainsamlingen kan med detta system automatiseras för att sparas i välstrukturerade databaser där det går att hämta information vid utvecklingen av nästa modell av ett fordon.



Figur 33: Realtidssimulering med "hardware in the loop" och "black box simulation".

<sup>1</sup>Nybacka, M., Larsson, T., Johanson, M., Törlind, P., "Distributed Real-Time Vehicle Validation", ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers in Engineering Conference, Philadelphia, United States, September 10-13, 2006.

## Akustiska egenskaper för strypningar i rör

**Susann Boij, Mats Åbom & Sabry Allam**

Marcus Wallenberglaboratoriet för ljud och vibrationsforskning  
KTH Farkost och flyg  
sboij@kth.se

För att styra flödet i bland annat ventilationsrör används olika typer av strypningar. Ur ett bul-  
lerperspektiv är det intressant att studera de  
akustiska egenskaperna för en sådan strypning.  
I detta arbete har både akustisk utbredning och  
ljudgenerering studerats experimentellt. Stryp-  
ningen består i detta fall av en rund skiva  
med ett hål koncentriskt med röret. Speciellt  
har medelströmningsfältets effekter på akustis-  
ka egenskaper studerats. I experimenten har

den så kallade tvåmikrofonmetoden använts för  
bestämning av ljudvågornas amplituder. Resul-  
taten visar att strömningsriktningen påverkar  
de passiva akustiska egenskaperna, alltså ljud-  
utbredning genom strypningen. Försök med två  
intilliggande strypningar visar att dessa ger upp-  
hov till stark växelverkan mellan ljudfältet och  
strömningsfältet, något som påverkar både ljud-  
utbredning och ljudgenerering.

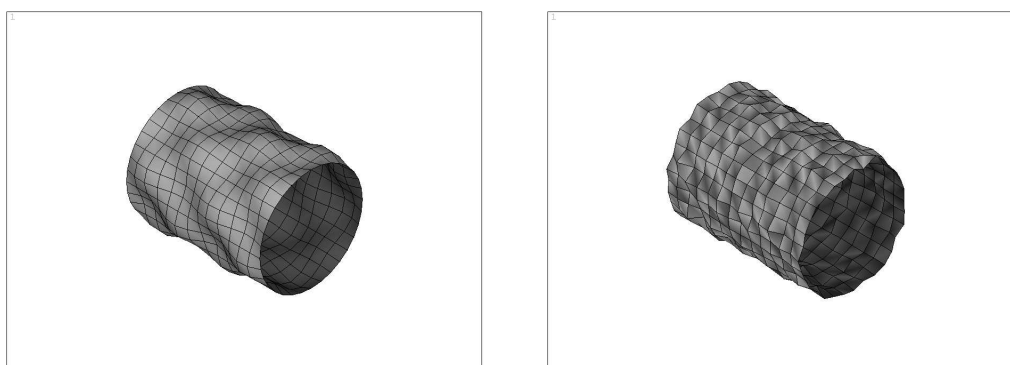
## Stabilitetsanalys av flygmotorkomponenter med beaktande av tillverkningsdefekter

Eric Setterqvist

Avd. för Hållfasthetslära, Luleå tekniska universitet  
eric.setterqvist@ltu.se

Tunnväggiga strukturer är vanligt förekommande som lastbärande konstruktioner i flygplansmotorer då de kombinerar låg vikt med god lastbärande förmåga. För att erhålla en rationell tillverkningsprocess så formas och svetsas mindre delar samman till en komplex slutlig konstruktion. Vid dessa tillverkningsoperationer är det ofrånkomligt att imperfektioner som formavvikelse och restspänningar uppkommer vilka kan ha en kritisk inverkan på bucklingslasten. En viktig forskningsfråga är därför hur en industriell tillverkningsprocess olika steg inverkar på stabilitetsegenskaperna för den slutliga konstruktionen. I dagsläget kan olika tillverkningssteg till viss del simuleras numeriskt. Endast en begränsad mängd information från dessa simuleringar förs vidare i dimensioneringskedjan för den slutliga konstruktionen. En större tillvaratagen informationsmängd från dessa simuleringar kombinerat med en fördjupad kunskap rörande modellering av tillverkningsimperfectioner kan på sikt leda till en optimerad dimensionerings- och tillverkningsprocess utifrån kund- och pro-

duktkrav. I denna studie ger vi först en historisk exposé över utvecklingen rörande buckling av tunnväggiga skal med beaktande av imperfektioner. Vi studerar sedan en typisk flygmotorkomponent i form av en tunnväggig ledskena i ett mellanhus. Komponenten modelleras i olika utföranden med varierande komplexitet. Icke-linjära kollapsanalyser utförs på komponenten med både perfekt geometri och pålagda formavvikelse. Vid modelleringen av formavvikelse används bifurkationsmoder, Fourierserier och normalfördelade stokastiska formavvikelse. Bifurkationsmoder och Fourierserier reducerar i de undersökta fallen kollapslasten och uppvisar samma bucklingskaraktistik då dessa typer av avvikelser är periodiska. Stokastiska formavvikelse medför, som förväntat, varierande resultat i form av omväxlande ökning och minskning av bucklingslasten vid upprepade analyser. Utifrån analyserna kan vi utläsa att känsligheten för formavvikelse är starkt beroende av geometri och lastfall vilket bekräftar tidigare utförda studier.



Figur 34: Cylindriskt skal med skalade dubbelperiodiska formavvikelse (till vänster) och skalade normalfördelade formavvikelse (till höger).

<sup>1</sup>Calladine, C.R., Understanding imperfection-sensitivity in the buckling of thin-walled shells. Thin-Walled Struct., 1995. 23:215-235.

<sup>2</sup>Ravn-Jensen, K. och Tvergaard, V., Effect of residual stresses on plastic buckling of cylindrical shell structures. Int. J. Solids Struct., 1990. 26:993-1004.

# Validering i produktutveckling ur ett industriperspektiv

**Anna Runnemalm**

Utvecklingsprovning, Kaross & exteriör  
Saab Automobile AB / General Motors Europa  
461 80 Trollhättan  
Anna.Runnemalm@hv.se  
Institutionen för teknik, matematik och datavetenskap  
Högskolan Väst  
461 86 Trollhättan

Validering i ett utvecklingsarbete har som uppgift att kvalitetssäkra den slutgiltiga produkten. Detta sker på många olika nivåer och med flera olika verktyg. Det viktiga är att hela tiden kunden och kundens förväntningar är i fokus. Det är i slutändan kunden som avgöra om produkten lever upp till förväntningarna, vilket lätt faller ut i kundklagomål, garantikostnader och försäljningssiffror. Produktutveckling följer alltid någon form av projekttidplan. Då projekttiderna kortas krävs att valideringen effektiviseras. Tidigare har produktförändringar kunnat provas i hårdvara men då det nu är allt vanligare att ingen hårdvara finns innan seriematerialet finns framme krävs en ökad fokus på validering tidigt i projekten.

I fordonsindustrin jobbar man med krav på den kompletta produkten, men de ingående systemen har även de var och en för sig fristående kvalitetskrav. Kravsättningen på produkten grundar sig dels på lagkrav och marknadskrav men även fördefinierade produktkrav och kundförväntningar. I många fall handlar det om hållfasthets och livslängdskrav, men i de allra flesta fall är de mer subjektiva krav så som känsla samt tycke & smak. I de fall då dessa krav samverkar får man dessutom en mycket större och mer komplex kravsättning som kräver det yttersta av valideringen.

Praktiska exempel visar på att produktvalidering genom simulering tidigt i projekten är

möjlig. Då simuleringsresultaten jämförs med provresultat på hårdvara framgår att flera av kraven har validerats till ett fullgott resultat. För vissa av kraven vågar nu industrin stryka hårdvaruprov. Simulering fokuserar oftast på en storhet i taget medan de mer subjektiva kraven ofta är en kombination av olika egenskaper. Samverkande produktkrav ställer stora krav på simuleringsmodellerna. Framsteg görs ständigt och precisionen ökar hela tiden, dock är det fortfarande hårdvaruprover som dominerar inom dessa områden. Då ej kravsatta problem förhållandevis enkelt upptäcks vid hårdvaruprov, vilket är mindre vanligt vid simulering, krävs en mer detaljerad kravbild om simulering ska kunna få en ökad roll i valideringsarbetet.

Kravsättningen går alltid hand i hand med valideringen eftersom kraven är hårt knutna till de metoder som används för att validera. Att valideringsmetoder finns framme redan i ett tidigt skede av projektet är därför väsentligt för att säkra kvaliteten på slutprodukten.

För att nå en effektiv produktutvecklingscykel där kvalitetssäkringen står i fokus krävs strukturerade arbetsformer för hur kravsättning tas fram och hur dessa länkas samman med valideringen. Kravprioritering kan vara ett sådant verktyg för att effektivt kunna vikta de olika kraven för att underlätta beslutsprocesser i projektarbetet.



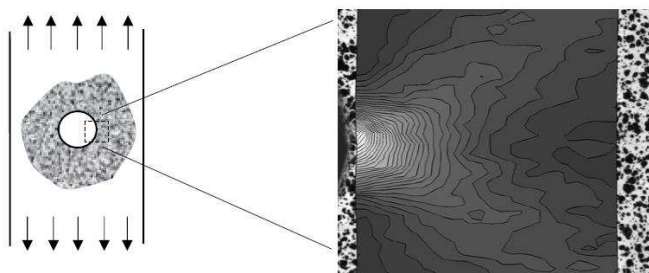
## Brottöjningar vid hål i ultrahöghållfast stål för olika håltagningsmetoder

Jesper Eman

Avd. för hållfasthetslära  
Luleå Tekniska Universitet  
jesper.eman@ltu.se

Krav på hög fordonssäkerhet kombinerat med god bränsleekonomi driver tillverkarna mot användandet av alltmer höghållfasta material i deras fordonsstrukturer. För att till fullo kunna utnyttja materialet måste dess beteende upp till brott vara känt. Krockstrukturerna måste ofta, på grund av olika praktiska anledningar, innehålla hål. Materialet nära hålkanten kan i samband med håltagningsproceduren påverkas av mikrosprickor, värmepåverkade zoner, geometriska oregelbundenheter, restspänningar etc. På grund av detta kommer materialets uppträdande att vara annorlunda jämfört med opåverkat material. Därför är det av stor vikt att undersöka materialbeteendet i närheten av hål. För att undersöka deformationsfältet i närheten av ett hål används digital speckelfotografi med vitljusspeckler<sup>1</sup>. En provstav med ett hål duschas med vit och svart sprayfärg för att skapa ett slumpmässigt mönster, detta mönster fotograferas med jämna mellanrum under ett dragprov. Forskjutningsfältet fås genom att bilderna delas upp i subregioner vilkas förskjutningar beräknas med hjälp av en korrelationsalgoritm. Utifrån detta fält kan sedan lokala töjningar beräknas genom differentiering. Materialet som har studerats är ett presshärdat borstål som ofta används

i fordonskomponenter som stötfångarskenor, sidokrockskydd och B-stolpar. Det finns olika sätt att framställa hålen och tre vanliga metoder har valts ut för att jämföras i denna undersökning. Dessa är; förstansat (hålet stansas ut innan härddningen), efterstansat (hålet stansas ut efter härddningen) och laserskuret (hålet skärs ut med laser efter härddningen). I undersökningen ingår två tjocklekar, 1,2 och 2,4 mm. Provtavarna som används är 40 mm breda och två olika håldiametrar studeras, 4 och 8 mm. Figur 35 visar principen för provstaven och töjningsmätningen. De lokala töjningarna strax innan brott för de olika håltagningsmetoderna jämförs med de lokala töjningarna strax innan brott i opåverkat material. Undersökningarna visar att lokal brottöjning för förstansade hål ligger väldigt nära brottöjningen för opåverkat material. Efterstansade hål har däremot en lokal brottöjning som ligger på ungefär en tredjedel av den för opåverkat material. Laserskurna hål tål högre töjningsnivåer än efterstansade och ligger på 45-50% av brottöjningen hos opåverkat material. Med hjälp av undersökningen kan brottskriterier för området i närheten av hål förbättras vilket i sin tur möjliggör mer optimerade produkter i ultrahöghållfast stål.



Figur 35: Figuren visar en principskiss över provstaven och det uppmätta töjningsfältet.

<sup>1</sup>Kajberg, J. and Lindkvist, G., Int. J. Solids and Structures, vol 41, 3439-3459, 2004

# Simulering och mätning av restspänningar i spänningsharpor

**E. Gustafsson, M. Hofwing & N. Strömberg**

Swecast AB, P.O. Box 2033, 550 02 Jönköping  
eg@swecast.se

Högskolan i Jönköping, Maskinteknik, Box 1026, 551 11 Jönköping  
homa@jth.hj.se, stni@jth.hj.se

I det här arbetet studeras restspänningar i spänningsharpor. Restspänningarna är både uppmätta och simulerade. Spänningsharpan är gjuten av ett läglegerat gråjärn. Tio likadana harpor har gjutits och restspänningarna har blivit uppmätta. Geometrin av harpan består av tre parallella stavar. Diametern på de yttre stavar-  
na är mindre än diametern på den mittre staven. När harpan kyls efter gjutningen gör skillnaden i geometri att de yttre stavar-  
na börjar stelna och kontraktera före staven i mitten. Till slut nås ett jämviktstillstånd, med tryckspänningar i de yttre stavar-  
na och dragspänningar i staven i mitten. Detta spänningstillstånd är uppmätt genom att kapa staven i mitten. Den erhållna återfjädringen eller arean som återstår när staven går mot brott återspeglar restspänningarna. De uppmätta spänningarna är jämförda med numeriska simuleringar. Termomekaniska simule-  
ringar är genomförda i Abaqus, Magmasoft och Procast. Simuleringarna är även jämförda med varandra. Den termomekaniska stelningen antas vara okopplad. Först genomförs en ren termisk

analys, där harpan kyls ner till rumstemperatur från över smälttemperatur. Latent värme inkluderads i analysen genom att låta andelen stelnat material vara en linjär funktion av temperaturen i intervallet mellan smälta och stelnat material. Efter den termiska analysen genomförs en kvasi-statisk mekanisk analys där temperaturhistoriken betraktas som en extern kraft. En hastighetsberoende J2-plasticitetsmodell används, där materialdata varierar beroende av temperaturen. Vi undersöker även antagandet av von Mises genom att jämföra våra resultat med resultat då en annan flytyta antas. Det är välkänt att flytgränsen i drag är lägre än absolutvärdet av flytgränsen vid tryck för gråjärn. Typiskt skiljer det en faktor två till tre mellan dessa gränser. Detta faktum bortser man ifrån när man använder von Mises flytkriterium. Ett bättre antagande skulle möjligtvis vara Hjelms flytyta, vilken är inkluderad i Abaqus (cast iron plasticity). Von Mises och Hjelms antagande jämförs i detta arbete med både varandra och med experiment.

## Utveckling av mikrostruktur och mekanisk respons vid presshårdning

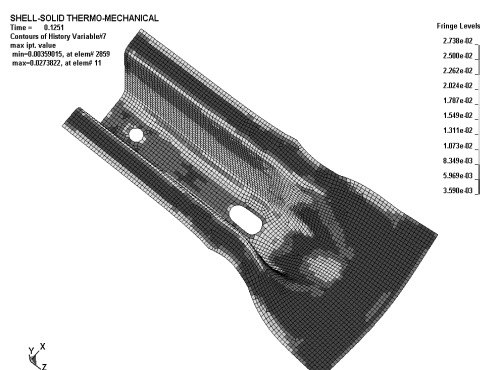
Paul Åkerström<sup>a</sup>, Greger Bergman<sup>a</sup>, Mats Oldenburg<sup>b</sup> & Per Salomonsson<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Gestamp R & D

<sup>b</sup>Avd. för Hållfasthetslära, Luleå tekniska universitet  
per.salomonsson@ltu.se

Vid presshårdning av ultrahöghållfasta fordonskomponenter är den slutgiltiga komponentens mekaniska egenskaper mycket viktig, speciellt eftersom de utgör en vital del i bilens passiva säkerhetssystem. Det är därför viktigt att noggrant kunna prediktera och säkerhetsställa den slutgiltiga mikrostrukturen hos en komponent tidigt i produktutvecklingsprocessen. I detta arbete används en modell för att prediktera austenitens uppdelning till ferrit, pearlit, bainit och martensit vid samtidig formning och hårdning av borlegerat stål. Uppdelningen bygger på Kirkaldy's ekvation med modifieringen av Li mfl. Den modifierade modellen tar med effekten av tillsatt bor samt töjningar vid höga temperaturer. Den mikrostrukturella sammansättningen påverkar både de termiska och mekaniska egenskaperna

under den kontinuerliga kylnings och formningsprocessen. En termisk elastoplastisk materialmodell, som tar hänsyn till förändringen i mikrostrukturen samt även transformationsplasticiteten (TRIP), är framtagen. Materialmodellen är implementerad som en subrutin i det olinjära FE-programmet LS-DYNA. Även randvillkorens inverkan i form av värmeövergångstal och friktion studeras. Ett termiskt/mechaniskt skalelement med kvadratisk temperaturinterpolation i tjockleken har utvecklats för att simulera den kompletta presshårdningsprocessen vid samtidig formning och hårdning. Resultatet av termomekaniska formningssimuleringar ger god korrelation till gjorda experiment vad beträffar den mikrostrukturella sammansättningen, hårdhet, tjockleksvariation samt återfjädring.



Figur 36: Beräknad volymandel ferrit för en presshårdad komponent.

<sup>1</sup>J.S. Kirkaldy, D. Venugopalan. "Prediction of microstructure and hardenability in low alloy steels", In A.R. Marder and J.I. Goldstein, editors, Int. Conference on phase transformations in ferrous alloys, pp 125-148, Philadelphia, Oct., 1983.

<sup>2</sup>M.V. Li, D.V. Niebuhr, L.L. Meekisho, D.G. Atteridge. "A computational model for the prediction of steel hardenability", Metallurgical and Materials Transactions, 29B(3):661-672, 1998.

<sup>3</sup>G., Bergman, M. Oldenburg. "A finite element model for thermo-mechanical analysis of sheet-metal forming", Int. J. Numer. Meth. Engng., 59:1167-1186, 2004.

<sup>4</sup>P. Åkerström. "Modelling and simulation of hot stamping", Doctoral thesis 2006:30, Luleå University of Technology, 2006.

# Inverkan av inhomogena materialegenskaper i ett limskikt belastad i modus I

Anders Biel

Institutionen för Teknik och Samhälle  
Högskolan i Skövde  
anders.biel@his.se

Experimentella resultat från DCB-provstavar är analyserade med en invers metod baserad på den vägoberoende  $J$ -integralen<sup>1,2</sup>. Denna metod ger spännings-deformationssambandet för ett limskikt belastad i modus I. En förutsättning för metoden är att limmets egenskaper längs skiktet är likartade. I praktiken varierar dock egenskaperna längs limskiktet. Förändringarna kan t.ex. härröra från avvikelser i limtjockleken, inhomogeniteter i limskiktet eller från en varierande deformationshastighet. En annan effekt som ev. kan påverka uppstår vid limskiktets start där den fria änden utsätts för mindre tvång än vad limmet utsätts för längre in i skiktet. Även detta påverkar skiktets beteende. Utförda experimentet uppvisar en variation i brottenergi längs skiktet. För att utreda inverkan av det-

ta görs FE-simuleringar med ett längs skiktet varierande konstitutivt beteende. I simuleringarna är adherenderna representerade av Timoshenko balkelement och limskiktet är representerat av icke linjära fjäderelement. Fjädrarnas kraft-förskjutningskurva består av tre linjära regioner; en elastisk början, en platå samt en mjuknande del. Spännings-töjningssambandet för de homogena limskiktet motsvarar en brottenergi på 700 N/m och en maximal spänning på 18 MPa. Detta är i överensstämmelse med experimentellt framtagna data. I simuleringen har de första 20 mm gjorts vekare. Simuleringen visar att en inhomogenitet vid limskiktets början kan påverka de utvärderade spännings-töjningssambanden. Inflytandet påverkas av skadezonens längd d.v.s. styvheten på adherenderna.

<sup>1</sup>Olsson, P. and Stigh, U. On the determination of the constitutive properties of the interphase layers -an exact solution. *International Journal of Fracture* Vol. 41 (1989), p. 71-76.

<sup>2</sup>Andersson, T and Biel, A. On the effective constitutive properties of a thin adhesive layer loaded in peel. *International Journal of Fracture* Vol. 141 (2006), p. 227-246.

# Litteraturstudie våta kopplingar och bromsar

Pär Nyman

Statoil Lubricants R&D

pnym@statoil.com

Intresset för att använda våta kopplingar och bromsar blir allt större. Främst i fordonsindustrin drar man nytta av de senaste årens framsteg inom styr- och reglerteknik och minskade kostnader för elektronik och hydrauliska ställdon. Detta ger möjlighet att på ett kostnadseffektivt sätt elektroniskt kontrollera momentöverföringen i en våt koppling. Ett exempel på detta är att man ersätter momentomvandlaren helt med en våt koppling i den automatiska växellådan i Volvo CE entreprenadmaskiner. Ett annat exempel är den nya typen av manuella växellådor som marknadsförs av bl.a. Volkswagen AG. Växellådan har två ingående axlar och två elektroniskt styrda kopplingar. Fördelarna med konstruktionen är att den erbjuder bränsleekonomi motsvarande en manuell växellåda och växlingskomfort som en automatisk växellåda.

I själva verket är koppling och broms samma sak, syftet är att via friktion överföra effekt mellan två ytor. Man kan grovt dela in kopplingar och bromsar i två kategorier.

1. Den slirande kopplingen
2. Den bromsande kopplingen

Skillnaden dem emellan är att den slirande kopplingen är i kontinuerlig drift medan den bromsande kopplingen används intermittent. Detta betyder att den slirande kopplingen har ett större

effekt- och energiflöde och därmed måste klara av att handskas med högre temperaturer. I alla förekommande fall strävar man efter en hög och över tiden stabil friktion med avseende på både skillnadsvarvtal och temperatur. Ett naturligt val hade varit en torr koppling eller broms eftersom de uppfyller alla de uppräknade kraven. Fördelen med att använda en våt (smord) koppling i stället för en torr är att en våt koppling kan handskas med större effekter, smörjmedlets huvuduppgift är att kyla lamellytorna. Tyvärr har smörjningen också en friktionssänkande effekt vilket gör att en våt koppling kräver att man antingen ökar lasten på ytorna eller att man dimensionerar med fler lameller i systemet. Det krävs också i flera fall särskilt framtagna oljor för att ge rätt friktionskaraktäristik.

Den slirande kopplingen används i applikationer där man vill ha en viss, d.v.s. mindre än 100 %, effektöverföring mellan två ytor.

Den låsande kopplingen används i applikationer där man vill ha en möjlighet att under drift koppla ihop (låsa) eller isär (lossa) roterande maskindelar från varandra.

Detta arbete är en litteraturstudie över de friktionsmaterial som finns tillgängliga på marknaden med fördelar och nackdelar. Studien undersöker också vilka egenskaper som är viktiga för ett friktionsmaterial. Samt några tumregler för val av friktionsmaterial till en applikation.

## Tribologiska hänsyn vid utveckling av en miljöanpassad propellerhylsolja

**Marika Torbacke**

Statoil Lubricants R&D  
Svenska Statoil, Nynäshamn  
mator@statoil.com

På ett fartyg används många typer av smörjmedel. På många ställen på fartyget kan oljan lätt samlas upp vid läckage eller vid byte av olja. Det finns dock smörjställen där det sker läckage ut i naturen. Det kan vara från propellerhylsan eller från fettsmorda vajrar. Dessa smörjmedel byts inte ut utan de fylls på vid behov.

Det är vanligast att fartyg har propellerdrift. Det innebär rent praktiskt att en propelleraxel leds genom skrovet och ut i vattnet. Axeln måste hela tiden hållas rak och det gör den genom flera lager. Dessa lager behöver smörjas, vilket görs med en propellerhylsolja. Det är viktigt att vattnet inte kommer in vid axeln och det är lika viktigt att smörjolja inte kommer ut i havet. Därför tätas systemet med tätningar, som oftast är av ett syntetiskt gummimaterial (t.ex. nitrilgummi

eller fluorgummi).

En smörjolja innehåller basolja och additiv. Additiven tillsätts för att förbättra oljans prestanda och livslängd. I propellerhylsoljor har traditionellt mineraloljor använts som basolja. Eftersom propellerhylsor läcker stora mängder olja till havet finns önskemål om att ha en olja med bättre miljöegenskaper än dagens mineraloljebaserade propellerhylsoljor. Därför baseras den här oljan på en syntetisk ester, en miljöanpassad basolja, som är både lätt nedbrytbar och förnyelsebar.

Miljöanpassade oljor har kemiskt andra egenskaper än traditionella mineraloljor. Det gör att de uppför sig på ett annat sätt med additiv, tätningsmaterial och lagermetaller. Syftet med det här arbetet är att visa på svårigheterna och möjligheterna vid utveckling av en miljöanpassad propellerhylsolja.

# Knowledge Enabled Engineering- Knowledge Lifecycle Approach

Christian Johansson, Andreas Larsson & Tobias Larsson

Avd. för Funktionell Produktutveckling, Luleå tekniska universitet  
Christian.Johansson@ltu.se

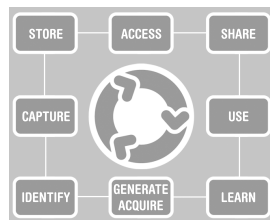
VIVACE<sup>1</sup> is an EC-funded integrated project that addresses aeronautics' vision for the year 2020<sup>2</sup>. More specifically VIVACE intends to achieve cost reduction and time reduction in new aircraft development. VIVACE consists of three sub-projects where the two first extracts problems from aircraft and engine industries respectively. The third sub-project collects these problems and develops advanced capabilities (methods, tools, guidelines, etc.).

The 'Knowledge Enabled Engineering' (KEE) work package in sub-project three focuses issues on concerns associated with knowledge within an extended enterprise. This includes both Knowledge Based Engineering (KBE) issues, but also more general questions about engineering knowledge. The work starts in analysing requirements from use cases via finding existing solutions to conducting tests in the form of pilots. Finally the knowledge acquired is disseminated to both the aeronautics community and also to a wider audience in Europe and the rest of the world.

One result from the work in KEE is the Knowledge Lifecycle (see figure 37). This is a method for matching requirements found in use cases to knowledge activities. The circular arrow shows that the process is not sequential by stating a start and end, the idea is that you can start anywhere in the Knowledge Lifecycle. Below follows a more detailed description of the phases.

Knowledge in an organisation can be codified and put in its knowledge base in varying for-

mats (hypertext documents, email, multimedia, database elements, etc.) Seeking access to information and knowledge from various sources (computer, colleagues, documents, libraries) in the organisation. Both tacit and explicit knowledge can be shared from one individual to another. Barriers include competition, knowledge of value, different disciplines and languages, what to share and who to share with. What knowledge should be used and what should not be used? Users can retrieve knowledge in the organisational memory and re-use it whenever they need. This is both an individual and organisational process. There is a feedback loop for learning. Creating new knowledge (within the organisation) to provide new skills, ideas and improved organizational processes and competencies. Acquiring knowledge from outside the organisation through the engagement of experts, access to documented knowledge and the participation in knowledge-related events and process. Visualising the organisation's knowledge assets; these are, for example, an employee's skills, networks of experts, organisational competencies, but also more explicit knowledge sources such as data and documents. Documenting or codifying the knowledge that has been identified or created. This can include reports, white papers, databases, posters, internal publications and other mediums.



Figur 37: *The knowledge Lifecycle.*

<sup>1</sup>VIVACE Project Public Website, [www.vivaceproject.com](http://www.vivaceproject.com), visited 2007-02-28

<sup>2</sup>Advisory Council for Aeronautics Research in Europe (ACARE): Strategic Research Agenda, [www.acare4europe.com](http://www.acare4europe.com), visited 2007-02-28

## Formförändringar i svepta kompositbalkar

Magnus Svanberg

SICOMP AB

Box 271, 941 26 Piteå

magnus.svanberg@sicomp.se

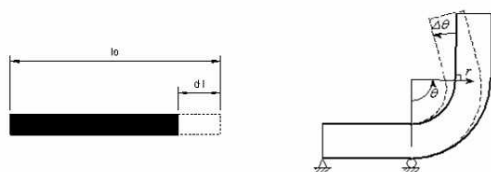
Vid härdningen av en komposit uppstår restspänningar och formförändringar pga. termiskt- och kemisktkrymp. Härdningen är den del av tillverkningen när en härdplast omvandlas från en vätska till ett fast material, vilket är en rätt så komplex termisk-, kemisk- och mekanisk-process som ger upphov till restspänningar och formförändringar. Vid tillverkning av kompositkomponenter med höga toleranskrav måste formverktygets geometri kompenseras för att ge utrymme för komponentens formförändringar.

Det finns lokala mekanismer på tre olika nivåer som kan orsaka restspänningar och formförändringar i ett kompositmaterial: Mikronivå (fiber), fiberns och plastens olika egenskaper resulterar i spänningar mellan fiber och matris under tillverkning, Mesonivå (lamell), ett kompositmaterial består av lameller i olika riktningar. Efter som dessa har olika egenskaper längs och tvärs fibrerna kommer det att uppstå restspänningar eller formförändringar när lameller med olika riktningar kombineras till ett laminat. Makronivå (laminat), längdförändring pga. fri-

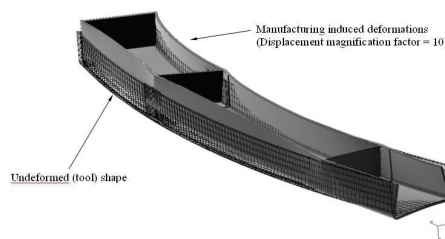
expansion av materialet och återfjädring (spring-in) pga. av att ett laminat expanderar anisotropiskt vilket resulterar i en vinkelförändring hos ett krökta laminat under härdningen, se Figur 38.

Normalt är det inga större problem att kompensera enkelkrökta geometrier baserat på erfarenhet och tumregler. När komponentens geometri blir mer komplex blir detta svårare och svårare och det finns risk för omfattande verktygsmodifikationer och långa ledtider. T ex en svept balk, se Figur 39, kan uppvisa följande globala deformationsmönster pga. av de lokala mekanismerna som beskrevs tidigare:

Krymp längs balken Lokal återfjädring mellan flänsar och liv Global återfjädring längs balken som böjer balken inåt Den global återfjädring kan även vrida balken Balken kan även böjas uppåt om flänsarna och livet har olika styvhet. Detta konferensbidrag kommer att med hjälp av FE-simuleringar illustrera och förklara betydelsen av olika parametrar som orsakar formförändringar hos svepta kompositbalkar.



Figur 38: Makronivå (Laminat), Längdutvidgning och återfjädring (spring-in).



Figur 39: Formförändring av en svept kompositbalk.



## Forskarutbildad på Scania

**Magnus MackAldener**

Scania

magnus.mackaldener@scania.com

Scania har en utvecklingsavdelning med över 2000 medarbetare, 15 km provbana, över 40 motorprovceller och flera proceller för kompletta fordon. Den viktigaste resursen på Scania R&D är dock medarbetarna och deras kompetens. Idag jobbar ca 100 personer med forskarutbildning och Scania har ett tjugotal industridoktorander. På R&D görs all utveckling av Scantias pro-

dukter. Drivkraften för utveckling är lagkrav så som emissioner och buller men också ökade krav från kunder på komfort, säkerhet och ekonomi. Föredraget avser att belysa hur forskning och utveckling bedrivs på Scania men också på vilket sätt Scania drar nytta av sina forskarutbildade medarbetare. Två exempel ges i efterföljande föredrag.

# Industriforskning och kvartalsrapporter på Scania - skruvförband

**Henrik Wentzel**

Scania  
henrik.wentzel@scania.com

Lastbilar monteras till färdiga produkter med skruv och mutter och ibland återfaller de också till det omonterade tillståndet genom haveri i skruv eller mutter. Bättre förband ger bättre hållfasthet och det vill kunden betala för. Därför forskar Scania på skruvförband. Speciellt hur förbanden påverkar de förbundna strukturernas

dynamik är av intresse. Friktion, kontaktmekanik, sättning och nötning är klassiska områden inom mekaniken som fortsätter att generera vinst för Scania. Men är det möjligt att förena vinstintresset med bra forskning? Vad skiljer och vad förenar industriforskning på Scania från statlig, så kallad ”fri“, forskning?

## Termisk utmattning av cylinderhuvuden

Anders Jonsson

Scania

anders.johnsson@scania.com

Termiskt driven lågcykelutmattning (TMF) är ett välkänt problem inom fordonsindustrin. Komponenter där problemet ofta påträffas är t.ex. cylinderhuvuden och avgasgrenrör, men även bromsskivor kan drabbas. För motorkomponenter är det utvecklingen mot en ökande specifik effekt (motoreffekt per slagvolym) som leder till högre termomekaniska belastningar. Historiskt sett har motorprovning använts som huvudsakligt utvecklingsverktyg vid dimensionering mot TMF. Eftersom den typen av provningsledd utveckling är dyr och långsam (långa ledtider för framtagning av fysiska prototyper, långa provtider) har en enkel beräkningsmetodik för TMF-analyser av cylinderhuvuden tagits fram för intern användning på Scania. Ett multidi-

sciplinärt angreppssätt används, där i princip en virtuell motor simuleras, från simulering av förbränning och gasväxling, kylvätskeflöde via en termisk FE-analys till en sammantagen strukturanalys med hänsyn till både termiska och mekaniska laster, kontakter och förspänning av skruvar etc. Materialegenskaper och utmattningsdata har tagits fram i samarbete med Scantias materiallab och AVL List GmbH. Enkla material- och utmattningsmodeller används för att bedöma cylinderhuvudets lågcykelutmattningshållfasthet. Även om metodikens prediktiva förmåga hittills varit relativt god finns stor potential för förbättring, främst vad det gäller material- och utmattningsmodeller.

# Flow Around Vehicles Under The Influence of Side Winds

**Hassan Hemida & Sinisa Krajnovic**

Division of Fluid Dynamics, Department of Applied Mechanics  
Chalmers University of Technology  
hemida@chalmers.se

Large-eddy simulation (LES) is made to investigate the flow around a generic train under side wind conditions. Two different side-wind yaw angles are used in the investigation: 35 and 90 degrees. The Reynolds numbers based on the height of the train and the freestream velocity are 300,000 and 370,000 for the 90 and 35 degrees yaw angles, respectively. Two computations on two different meshes are made for each simulation in order to check the effect of the mesh resolution on the results. The fine and the coarse meshes give similar results for each simulation meaning that the results are mesh independent. The results are also verified against experimental data that have been collected on the numerical model at the same Reynolds number. Good agreement is obtained between the LES results and the experimental data. The LES results showed that the flow around the train at 90 degree side-wind yaw angle is dominated by unsteady vortex shedding.

The large-scale instability associated with the shedding of large-scale vortices from the recirculation region to the far wake flow and the small-scale instability associated with the small-scale Kelvin Helmholtz instability are yielding highly unsteady flow. The LES results for the 35 degree side-wind yaw angle show that two flow regimes exist in the wake. The first flow regime is represented with the steady vortex lines in the upper part of the wake flow. It changes into unsteady shedding after some distance from their onset on the surface of the train. The second flow regime is the unsteady movement of the lower part of the wake vortices which attach and detach from the surface of the train in a regular fashion. The influence of side wind yaw angle and the wake structures on the aerodynamic coefficients is discussed in the paper. The paper gives a picture of the unsteady flow and its instabilities around trains at large and low yaw angles.

# Elastoplastic fracture mechanics with application to fatigue crack propagation in rails

Johan Tillberg, Fredrik Larsson & Kenneth Runesson

Avd. för Material- och Beräkningsmekanik  
Chalmers tekniska högskola  
johan.tillberg@chalmers.se

Fracture mechanics is of paramount importance for the life estimation of railway components. One particular class of fracture phenomena is associated with rolling contact fatigue in rails and wheels; a typical phenomenon is head checks (pre-existing short surfacebreaking cracks in the rail) with a spacing of around 1mm. A significant characteristic for head checks, as well as several other fracture phenomena, is that the crack propagation takes place under very large local stresses and severely large inelastic deformations at the surface due to the large normal and tangential contact tractions. However, elastic-plastic fracture mechanics accounting for global plastic deformation is still a relatively virgin field, even from a more fundamental point of view, in particular in the context of fatigue crack propagation.

The crack-driving force may be defined in the context of "material forces", which is a measure

of the energy release rate due to a (virtual) variation of the position of the crack tip<sup>1,2</sup>. In fact, it is a generalization of the classical J-integral (as known from linear elastic fracture mechanics). A key issue is how to establish the appropriate variational, or energetic, setting in a thermodynamic context for a material with internal dissipation. In particular, it is necessary to account for changing plastic deformation due to the virtual extension of the crack. Although this task is of quite fundamental character, it is an important one in order to accomplish the ultimate goal of the project due to lack of established results in the literature.

In this contribution, we discuss different possibilities for establish the crack-driving force. Furthermore, the pertinent computational procedure in a finite element setting is presented and illustrated by few numerical examples.

---

<sup>1</sup>Steinmann, P. (2000). Application of material force to hyperelastostatic fracture mechanics. i. continuum setting, *International journal of solids and structures* 37(48): 7371-7391

<sup>2</sup>Tillberg, J. (2005). Computation of the crack-driving force in elastic-plastic materials - A comparative study, M.Sc. thesis, Department of Applied Mechanics, Chalmers University of Technology

## Numerisk simulering av utbredningen av plana akustiska vågor i en kanal med strypning

Timm Pieper & Gunilla Efrainsson

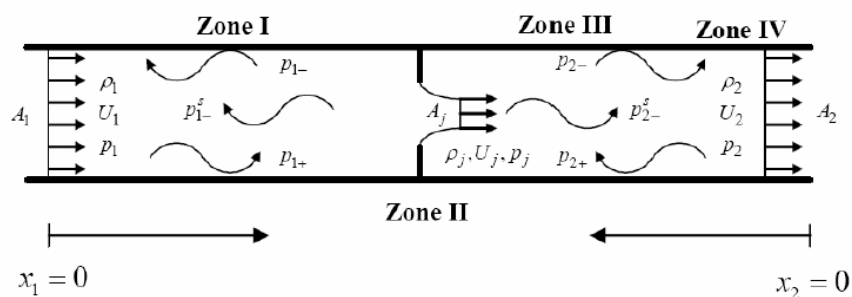
KTH Farkost och Flyg  
KTH  
gef@kth.se

Numeriska lösningar av kompressibla Navier-Stokes ekvationer i 2 rumsdimensioner har utförts för att studera reflektion och transmission av plana akustiska vågor i en kanal med strypning, se Figur 40.

Ett av målen med arbetet är att öka kunskapen om hur noggranna simuleringar av utbredning av plana akustiska vågor i separerad strömning behöver vara för att ge tillförlitliga resultat. I denna studie användes en RANS-lösare i Fluent 6.2. Stor vikt lades vid att lösa upp de akustiska vågorna i tid och rum, samt att lösa upp det underliggande strömningsfältet.

Först studerades dämpning av plana akustiska vågor i en rak kanal utan strypning. De numeriska resultaten jämfördes med uppmätta och teoretiska värden för fyra frekvenser mellan 1000 Hz och 2500 Hz för strömningshastigheten  $M=0.1$ .

Därefter studerades transmission och reflektion av plana vågor i en kanal med strypning för frekvenserna 1000 Hz och 2000 Hz vid  $M=0.1$ . De numeriska resultaten jämfördes med experimentella resultat, som uppmätts vid MWL, KTH. Numeriska data har efterbehandlades på exakt samma sätt som i experimenten, bl.a. genom användning av en s.k. två-ports modell. De numeriska beräkningarna visar att propageringen av de vågor som infaller från inströmningsranden ( $x_1 = 0$ ) simuleras väl fram till strypningen. Dessutom ger beräkningarna goda resultat av den reflekterande vågen från de vågor som infaller från inströmningsranden. Däremot dämpas vågor som propagerar genom jeten nedströms strypningen mer i beräkningarna än i experiment.



Figur 40: Schematisk bild över strömningen i en kanal med strypning samt infallande, reflekterade och transmitterade akustiska vågor. Kanaldiametern = 0.057 m.

# Längdskaleberoenden för plastisk deformation av laminat

**Carl Dahlberg & Peter Gudmundson**

Institutionen för hållfasthetslära  
KTH, 100 44 Stockholm, Sweden  
carl@half.kth.se

Experiment har visat att det finns ett tydligt längdskaleberoende för det plastiska beteendet hos metaller. Detta är av speciell betydelse då man vill förutsäga beteendet hos till exempel ytbeläggningar och mikroskopiskt skiktade material. Vid laster utanför den elastiska domänen uppträder ett flertal intressanta effekter som de konventionella plasticitetsmodellerna inte kan prediktera. Man har till exempel observerat en Hall-Petch liknande effekt där en minskande längdskala leder till en ökande flytspänning, men också en invers sådan effekt då längdskalan minskas ytterligare.

För att fånga in dessa effekter har ett antal teorier presenterats i litteraturen. Många av dessa inkluderar på något sätt gradienten av töjning, plastisk eller total, för att på så sätt få med ett längdskaleberoende. I denna studie

används en teori som har tagits fram av Gudmundson. Teorin kan beskriva ett flertal viktiga och intressanta fenomen som har observerats vid experiment. Bland annat antas de plastiska töjningsgradienterna motsvara en densitet av så kallade geometriskt nödvändiga dislokationer. En annan viktig aspekt av teorin är att den på ett naturligt sätt även kan beskriva ackumuleringen av dislokationer i gränsskikt och korngränser.

Som exempel kommer skjuvbelastade laminat att analyseras. Av speciellt intresse är hur modellen för interfacen mellan skikten påverkar det makroskopiska beteendet respektive den lokala spänningsfördelningen. I modellen har även ett kriterium för glidning i interfacen inkluderats. Numeriska resultat kommer att presenteras som illustrerar längdskaleberoendet.

# Development of a representative component FE model from a complete vehicle FE model for structural and acoustic optimization

Christopher J. Cameron, Per Wennhage & Peter Göransson

Vinnova Excellence Centre for ECO2 Vehicle Design  
Department of Aeronautical and Vehicle Engineering  
Kungliga Tekniska Högskolan  
Stockholm

The Vinnova Excellence Centre for ECO2 Vehicle Design was started in Jan 2006 with the purpose of developing technologies capable of meeting current and future vehicle requirements with lower economical and ecological costs. The multifunctional body panel project is one of the center's first PhD projects focused on and in cooperation with the automotive industry.

In passenger cars, traditional roofs are created using multiple parts requiring complex and costly manufacturing processes. Assembly processes involve poor ergonomics and are time consuming. Structural and comfort requirements of the passenger compartment are strongly influenced by the roof. The acoustical environment is influenced by, among other things, the roof panel's behavior in response to external disturbances. By replacing a traditional roof with a multifunctional body panel, parameters such as mass-efficiency, acoustical performance, ease and cost of assembly, and environmental friendliness of materials can be optimized.

A large part of the acoustical and structural work in this project will be done with finite element analysis. FE calculations regarding passenger compartment sound pressure are predominantly performed in industry using a fully meshed body in white (BIW) or trimmed body

(TB) for the vehicle in question. This necessarily involves significant amounts of computation time due to hardware limitations. Iterative processes like optimization with a fully meshed BIW/TB would be far too complex and time consuming. A smaller and less computationally expensive model must be used for optimization. The difficulty in creating such a model lies in the complexity of the structure and the interactions between the acoustic cavity and the structure. As the roof is a single element in a larger system, it is not sufficient to isolate it and directly apply simply supported, free, or clamped boundary conditions (BCs). A form of BC that sufficiently constrains the roof but allows for translations and rotations representative of those in the full BIW is necessary. The degree of inclusion of surrounding geometry should also be optimized.

Full vehicle FE simulation modal vectors of the roof structure are used to evaluate and optimize the sub model using Modal Assurance Criterion (MAC). Static loading conditions of the two models are also compared. Results of the optimization and the final criterion for boundary conditions are presented along with a discussion of the possibilities and limitations of the model's applicability. A discussion of future work within the project is also presented.



# The effect of flow and high acoustic excitation levels on the acoustic properties of perforates

Hans Bodén

Marcus Wallenberglaboratoriet för Ljud och Vibrationsforskning  
KTH  
hansbod@kth.se

This paper summarises the results of a number of studies on the effect of flow and high level sound excitation on acoustic properties (impedance) of perforates and micro-perforates. The results are potentially of interest for facing sheets used in aircraft engine liners as well as perforate pipes used in automotive mufflers. In the linear limit the perforate acoustic impedance is independent of the sound field but when the sound pressure level is high it will be dependent on the acoustic particle velocity in the holes. For pure tone excitation the impedance will be controlled by the acoustic particle velocity at that frequency. If the acoustic excitation is random or periodic with multiple harmonics the impedance at a certain frequency will depend on the particle velocity at other frequencies. In Bodén<sup>1</sup> a summary of work done at KTH as well as previous work, on non-linear acoustic properties of perforates, is made. It was found from both experimental and

theoretical studies that the pure tone non-linear normalized acoustic resistance and reactance depend on the Mach-number based on the acoustic particle velocity incident on the perforate divided by the square of the porosity (percentage open area). In recent work on multi-tone excitation it is shown that the pure tone model does not apply. It has been known for several decades that flow strongly affects the acoustic behaviour of perforated structures, whether the flow is purely grazing, purely normal (through the holes), or both. The normalized resistance and reactance terms are according to Elnady<sup>2</sup> proportional to the flow Mach-number divided by the porosity. It is however uncertain whether these models are applicable for so-called micro-perforates where the holes are small with hole diameters smaller than around 0.5 mm in the case of circular holes. They may also have slit-shaped holes.

---

<sup>1</sup>Bodén H., "Investigation of nonlinear acoustic properties for perforates", The 13th International Congress on Sound and Vibration, Vienna 2006.

<sup>2</sup>Elnady, T., "Modelling and characterization of perforates in lined ducts and mufflers (Paper III)", PhD Thesis, Department of Aeronautical and Vehicle Engineering, KTH, Stockholm, Sweden, 2004.

<sup>3</sup>Maa, D.-Y., "Microperforated panel at high sound intensity" Proc.internoise 94 (Yokohama,1994).

## **Session 5: Biomekanik och naturmaterial**



# Seat Integrated Safety Belts: A Parametric Study Using Finite Element Simulations

**Anders Gavelin**

Avdelningen för hållfasthetslära  
Luleå tekniska universitet  
andgav@ltu.se

In recent years an increasing interest has evolved concerning seat integrated safety belts in cars, regarding both 3- and 4-point belts in various configurations. One safety advantage of seat integrated safety belts appears in the case of so-called small overlap crashes. One consequence of a small overlap crash can be that the colliding cars strike each other's sides hitting both the A- and B-pillar. Hence, the A- as well as the B-pillar are pushed inwards and backwards. In this case, belt anchor points on the B-pillar may also be pushed backwards and the belt will be stretched over the occupant. The purpose of the present study was to investigate seat integrated safety belt configurations that may involve a seat structure design that intentionally deforms and absorbs energy during a crash. Common 3-point configurations were used as references. The aim was to investigate how the physical properties influence the interaction of the seat back frame and the safety belt. Numerical simulations were carried out using the explicit LS-DYNA FE-analysis software. A FE-model of a seat structure, floor pan and B-pillar was established. A 50th percentile Hybrid III FE-dummy model was used as occupant and for studying the biomechanical responses. Different physical properties of the seat

structure and different belt load limit forces were used as parametric variables. Only frontal crashes were considered. Responses concerning chest deflection, head- and chest displacement, change of pelvis angle, pelvis submarining tendency, lap- and torso belt forces, seat back frame deflection, ride-down efficiency, seat structure natural frequency, upper neck loads and neck injury criteria were studied. The results indicate that the belt-webbing distribution between the lap and the torso belts via a slip-ring and in combination with a non-rigid seat back frame increases the ride-down efficiency compared to a system with no belt-webbing distribution. Further, the combined use of different energy absorption mechanisms influences the biomechanical structural response of an integrated safety belt configuration. An optimal solution with respect to multiple objectives requires a proper combination of parameters. Beside the optimisation of traditional biomechanical responses, the multiple objectives can be the minimisation of weight and cost as well as optimal control of passenger kinematics. The present study will hopefully create a basis for future research and possibly for the design of seat integrated safety belts.

## Experiment och simulering av materialupplösningsspricka

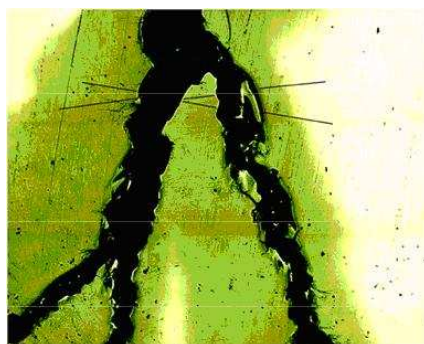
U. Hejman, P. Ståhle & C. Bjerkén

Materialmekanik  
Lunds Universitet  
Malmö Högskola  
Ulf.Hejman@ts.mah.se

Sprickväg och sprickgrening studeras under brottmekaniska experiment i polykarbonat. Detta material är spänningsoptiskt och fotoelastiska analyser utförs. Sprickväg och sprickgrening beräknas också med hjälp av en adaptiv finit element-metod.

Spricktillväxten är ett resultat av spänningsunderstödd, kemiskt eller biologiskt aktiverad, materialupplösning, som helt bestämmer provkroppens geometri inklusive sprickans form och längd. På så sätt är de processer som leder till sprickpropagering inkluderade

i en allmän materialupplösningssprocess. Som en konsekvens av detta behövs varken brottkriterium eller sprickvägshypotes. Den fotoelastiska undersökningen jämförs med de numeriska resultaten. Avsaknaden av brottkriterium gör att sprickpropageringsprocessen saknar längdskala. Därmed följer att sprickans bredd skalar med kvadraten på den pålagda lasten medan spricktillväxthastigheten blir oberoende av pålagd last. Förhållandet gör vidare att sprickan förgrenas och att alla grenar fortsätter att växa utan att förlora fart.



Figur 41: Talrika repor som korsar sprickan har korrelerats för att fastställa hur mycket material som upplösts under spricktillväxten. Två sådana repor har markerats i figuren.

## Helfältsmätning av strömning genom lockvattenanordning

**Torbjörn Green, Elianne Wassvik, Staffan Lundström & Håkan Gustavsson**

Avdelningen för strömningslära, Luleå tekniska universitet  
torbjorn.green@ltu.se

Fiskar som vandrar uppströms till sina lekplatser stöter på flera hinder som t ex vattenkraftverk. För att hjälpa fiskar förbi hindren används fisktrappor. Dessa är dock ofta ineffektiva då fiskarna attraheras mer av det högre flödet från kraftverkens utlopp än fisktrappornas lockvatten vid ingången. Tidigare arbeten visar på att det är vattenhastigheten som fiskarna använder för att navigera sig uppströms.

I försök att skapa ett mer attraktivt lockvatten har en skalmodell av en lockvattenanord-

ning studerats med PIV. Anordningen är en öppen U-formad kanal med en förträngning av tvärsnittet nedströms. Förträngningen skapar en lokal acceleration av vattnet genom att använda en bråkdel av friströmmen den används i, t ex utloppsvattnet från kraftverken.

Genom att ändra anordningens vertikala position har vi visat att ett större vattendjup över förträngningen ger en acceleration av vattnet som är detekterbart längre nedströms än för ett mindre vattendjup.

## Mikromekanisk modell för beräkning av fiberegenskaper i träfiberkompositer

Erik Marklund

Avd. för Polymerteknik  
Luleå tekniska universitet  
erik.marklund@ltu.se

Träfibrer och andra lignocellulosa baserade naturfibrer har stor potential som förstärkning i kompositer för lastbärande konstruktioner. Fibrer från växtriket har ofta relativt goda mekaniska egenskaper, t.ex. så har linfiber en specifik elasticitetsmodul i klass med glasfiber. Träfibrer har inte fullt så bra mekaniska egenskaper som linfibrer, men uppvisar generellt sett lägre spridning vilket är en fördel ur ett designperspektiv. Ett av problemen med naturfibrer är just den stora spridningen av mätdata eftersom mängder av faktorer såsom geografiska aspekter, klimat, jordmån etc. i så hög grad påverkar fibrernas morfologi. Den stora variationen i fiberkvalité gör att det krävs många tester på enskilda fibrer för att statistiskt säkerställa dess mekaniska egenskaper vilket tenderar att bli en tidskrävande och komplicerad process. Det är av förklarliga skäl dessutom svårt att genom en direkt metod mäta fibrernas transversella egenskaper. Det kan nämnas att storleken på en typisk träfiber (pappersmassa) är 1-3 mm i längd och 20-40  $\mu\text{m}$  i vidd. En lockande tanke är därför att genom tester på naturfiberkompositer kunna tillbakaräkna fibrernas lokala egenskaper utifrån kompositens globala egenskaper. För att detta skall vara framgångsrikt krävs dock en tillförlitlig mikromekanisk modell.

Modellen för tillbakaräkning baseras på laminatanalogi, d.v.s. kompositen där fibrerna har någon viss orienteringsfördelning ersätts med tunna lager där alla fibrer i varje lager har samma orientering. Orienteringsfördelningen för lag-

ren motsvarar den för fibrerna i den ursprungliga kompositen. Idén är att bestämma egenskaperna för ett ensriktat lager för att på så sätt beräkna egenskaperna för fibrerna. Hade fibrerna nu varit perfekta cylindrar med transversellt isotropa egenskaper skulle enkla ekvationer som blandningsregeln och Halpin-Tsais uttryck med fördel kunna användas. Problemet är att fibrerna i själva verket är en slags komposit i sig. Cellväggen i fibern är uppbyggd av lager med varierande tjocklek och olika egenskaper i olika riktningar. I de olika lagren finns cellulosa kedjor i en matris av hemicellulosa och lignin vilka formar trådliknande enheter som kallas mikrofibriller. Geometrin på fibrerna är dessutom oftast rektangulär, ellipsformad eller helt enkelt tillplattad (kollapsade fibrer). För att ta hänsyn till dessa aspekter har vi därför utvecklat en analytisk koncentrisk cylindermodell för ett godtyckligt antal faser med ortotropa egenskaper. Modellen används för att kunna bedöma skillnaden i resultat mellan att betrakta en fiber som transversellt isotrop eller uppbyggt av N antal ortotropa faser. FEM har även använts för att studera effekten av geometriska avvikelser från ett cylindriskt tvärsnitt på fibern. Den mikromekaniska modellen är en generalisering av Hashins koncentrisk cylindermodell samt Christensen och Los "generalized self-consistent method". I modellen tas ingen hänsyn till drag-vridkopplingen som finns i fibern p.g.a. mikrofibrillernas helixstruktur.

## Fiberorientering i skjuvströmning över en solid yta

Allan Carlsson, Joseph Fjellgren, Fredrik Lundell & Daniel Söderberg

Linné Flow Centre, Mekanikinstitutionen  
Kungliga Tekniska Högskolan  
allan@mech.kth.se

Experiment utförs på fibersuspensioner i en skjuvströmning över en solid yta. Skjuvströmningen genereras genom att en film av en fibersuspension, med en tjocklek av ca 10 mm, strömmar nedför ett lutande plan. Av särskilt intresse är hur fibrerna orienterar sig i parallella plan till den solida ytan. För att kunna visualisera fibrerna och bestämma denna orientering har en CCD-kamera monterats under det lutande planet, som är konstruerat av ett transparent material. Bildanalys används för att bestämma fibrers position och orientering i samtliga bilder. Utöver detta används en algoritm för att identifiera individuella fibrer i flera efter varandra följande bilder. På så sätt bestäms fibrernas hastighet. Hastigheten i sin tur ger en indikation av hur långt från den solida ytan som fibrerna är positionerade och fiberorienteringen kan därigenom

studeras som en funktion av väggavståndet. Studien finansieras av EU-projektet ECOTARGET, vars mål är att stödja papper- och massaindustrin med nya innovativa lösningar, från tillverkning av pappersmassa till papper. Fiberorientering är bland annat av betydelse för ett pappers mekaniska egenskaper. Tidigt i pappers-tillverkningsprocessen strömmar en fibersuspension, med en masskoncentration av fibrer mindre än 1 %, genom en del av maskinen som kallas inloppslådan. Inuti inloppslådan finns ofta ett stort antal solida ytor (lameller) som suspensionen strömmar över. Längs samtliga ytor av lamellerna, i kontakt med fibersuspensionen, bildas skjuvskikt i strömningen. Det finns därav ett intresse av att utöka förståelsen av hur fibrer rör sig i skjuvströmning med solida ytor närvarande.



## Flow measurements in fiber suspension by NMR

Shiho Tanaka<sup>1,2</sup>, Sergey Dvinskikh<sup>1</sup>, Fredrik Lundell<sup>2</sup>, István Furó<sup>1</sup> & L. Daniel Söderberg<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Industrial NMR Centre, KTH Physical Chemistry

<sup>2</sup>Linné Flow Center, KTH Mechanics, <sup>3</sup>STFI-Packforsk AB

Shiho@mech.kth.se

In the process of making paper, cellulose fibers are suspended in water. The suspension is spread out by a nozzle (the so called headbox) in the form of a plane liquid jet on, or in-between, two moving permeable wire bands. Next, in the forming section, dewatering is performed when the water pass through the small pores in the wire. The quality of the final paper sheet is directly influenced by the conditions of the fiber distribution in the headbox and during the dewatering process.

The coupling between the acceleration/ deceleration of the liquid just outside and in a fiber network and the deformation of the network are still not well understood.

Due to its complexity and intricacy, the study of fiber networks and its interaction with water is very difficult. The typical concentration of fibers in the headbox is 1% or lower and after the dewatering process it becomes 15%. This suspension is opaque and therefore optical techniques, commonly used for flow studies, are impossible to employ.

Nuclear Magnetic Resonance (NMR) and Magnetic Resonance Imaging (MRI) are widespread techniques in chemistry and medical diagnostics for both in-vivo and in-vitro measurements. NMR methods can also access flow velo-

cities in opaque liquids and some measurements have been conducted previously in pipe flow with cellulosic fibers suspended in water. However, the conventional NMR setup, which allows for vertical cylindrical flow, limits applications. Conventional NMR equipments are also non-portable.

A single-sided portable NMR MOUSE<sup>®</sup> was adapted for the present experiment (see figure 42a). The NMR MOUSE is constructed around an open-geometry permanent magnet with a built-in radio-frequency detector with a sensitive volume of 0.1 mm thickness and of 10x10 mm<sup>2</sup> area. A surface gradient coil providing pulsed lateral field gradients was designed. Its geometry was optimized to allow accurate velocity measurements in the range 1-200 mm/s within the sensitive volume of the NMR sensor.

The mean velocity profile of a fiber-suspension flow in a rectangular channel was successfully measured using a NMR MOUSE. (See Fig.42a and 42b) The NMR-derived velocity profile was compared to that from Laser Doppler Velocimetry (LDV) in pre measurements with transparent liquids without fibers. The results show an excellent agreement. Comparisons between NMR data with and without fibers show that the fibers have a considerable effect on the mean flow (figure 42b).

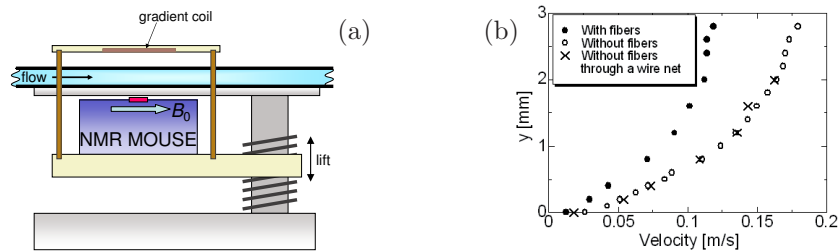


Figure 42: (a) Setup for NMR measurements. The LDV measurements were performed after dismantling the setup, moving it to a different laboratory and refilling it. (b) Velocity profiles obtained with and without cellulose-acetate fibres in the flow. Measurements were also performed through a wire of the type used in papermaking in order to assure that a wire does not disturb the measurements.

## Trä som kompositmaterial

Lars A. Berglund<sup>1</sup>, Carl S. Moden<sup>2</sup> & Andrey Shipsha<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Inst. för fiber och polymerteknologi, KTH Kemi och Kemiteknik

<sup>2</sup>Inst. för farkost- och flygteknik, KTH Teknikvetenskap  
blund@kth.se

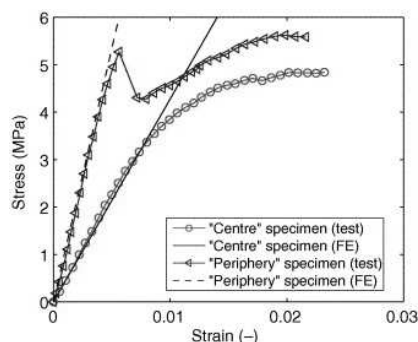
Trä är det i särklass mest använda biologiska konstruktionsmaterialet. Även om man i viss utsträckning utnyttjar materialets anisotropi, så skulle den mekaniska effektiviteten hos trästrukturer kunna ökas genom att i större utsträckning ta hänsyn till just anisotropa egenskaper. Särskilt när det gäller egenskaper tvärs fibririktningen finns det stora brister i förståelsen. Styvheten hos barrved beror på effekter från strukturer på flera skalor. Cellväggen, cellaggregat, årsringar och den cylindriska geometrin i stammen påverkar tillsammans elasticitetsmodulen i radiell och tangentiell riktning i stammen.

Trä är ett ortotrop material. Styvheten i längsriktningen (10-14 GPa) är ungefär tio gånger högre än styvheten i radiell och tangentiell riktning. Radiellt (1.0-1.5 GPa) är barrved mellan en och en halv och två gånger styvare än tangentiellt (0.7-1 GPa). Det elastiska beteendet i tvärsriktningen i strukturella element, t. ex. limträbalkar, påverkas starkt av den låga transversella skjuvmodulen ( $G_{rt}$ ) som är omkring 40-50 MPa. Tidigare har detta låga värde ofta negligerats. Konsekvenserna av detta har analyserats med utgångspunkt från klassisk laminatteori och FEM, och en experimentell provmetod har utvecklats för att mäta  $G_{rt}$  mha tryckprovning och

digital specklefotoграфи (DSP).

Trädstammen har en cylindrisk geometri och när den används till rektangulära plankor kommer materialriktningarna att variera över plankans tvärsnitt. Den variationen beror också på var i stocken som plankan tas ut. En plankan som kommer långt ifrån mörgen (stockens mitt) kommer att ha årsringarna mer eller mindre parallella med plankans kanter, medan en plankan tagen nära mörgen kommer att ha en betydande kurvatur. Den starka effekten från skjuvkoppling, orsakad av låg transversella skjuvmodul, ger plankan en kraftigt reducerad transversell styvhet. En FEM-modell har utvecklats och fenomenet analyseras. En plankan med stor andel böjda årsringar jämförs med en med parallella årsringar och jämförelsen visar att den med parallella ringar kommer att ha en effektiv styvhet som mer än en faktor två högre.<sup>1</sup>

Fenomenet är betydelsefullt inte bara i styvhets-sammanhang utan också när det gäller effekter av fukt. Under torkning kommer brädan att deformeras kraftigt om årsringarna inte är parallella med brädans kanter. Även sådana effekter kan analyseras med klassisk laminatteori i kombination med FEM. Gradienter i fukthalt i kombination med anisotropieffekter orsakar också sprickbildning i trä.



Figur 43: Spännings-töjningskurva från kompressionstester och FE analys av en plankan tagen från centrum respektive periferin av en stock. Symbolerna på kurvanmärker ut de diskreta mätpunkterna från DSP.

<sup>1</sup>A. Shipsha och L.A. Berglund, "Shear coupling effects on stress and strain distributions in wood subjected to transverse compression", Composite Science and Technology, (2007) In press, doi:10.1016/j.compscitech.200609.013

## Belastningsstimulerad tillväxt av kortikalt ben

Per Ståhle<sup>1</sup> & Lelie Banks-Sills<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Malmö Högskola

<sup>2</sup>Tel Aviv University, Israel  
pers@ts.mah.se

Belastningsstyrd bentillväxt har varit föremål för omfattande experimentella studier. Ett flertal matematiska modeller har föreslagits för att förklara de observationer som gjorts. Observerade skillnader vid statisk respektive cyklisk last, frekvensberoende, tillväxtens fördelning etc. har därvid antagits bero på flera samverkande faktorer. I denna undersökning har tillväxt av kortikalt ben analyserats matematiskt. Vi har antagit att tillväxten ökar när tillväxtstimulerande ämnen, som kväveföreningar och prostaglandin koncentreras vid det kortikala benets rand och tas upp av osteoblaster, en typ av benceller, vars huvudsakliga uppgift är att stimulera produktionen av ny benvävnad. Transporten av de tillväxtstimulerande ämnena antas härvid vara en töjningsstyrd diffusionsprocess. Den teoretiska modellen är i korthet som följer: Betrakta tvärsnitt av ett kortikalt ben. Antag att de dominerande drivkrafterna för diffusionen,  $J$ , i tvärsnittet är gradienter av koncentration,  $c$ ,

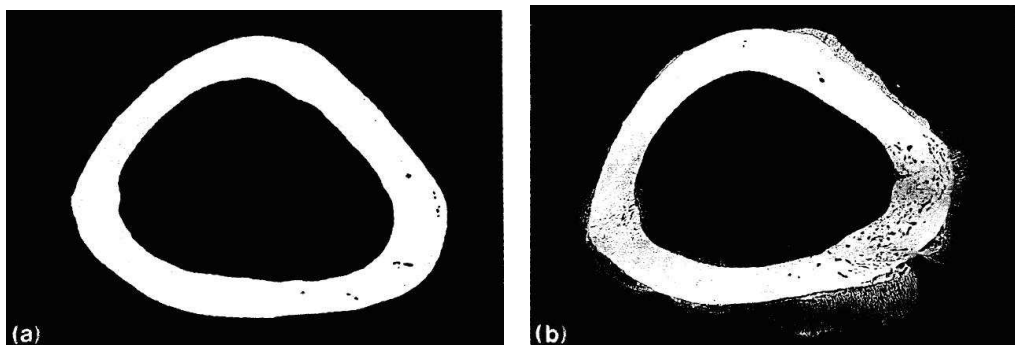
och gradienter av volymetrisk töjning,  $\epsilon$ . Flödet skrivs då

$$J = -D\nabla c + F\nabla\epsilon$$

där  $D$  är diffusionskoefficienten och influenskoefficienten  $F$  kan relateras till  $D$  och materialets porositet. Koefficienterna  $D$  och  $F$  är generellt funktioner av spänning och koncentration. Här antas dock att variationen av spänning och koncentration förblir liten så att  $D$  och  $F$  kan betraktas som konstanter. I kombination med divergenssatsen ger detta oss följande differentialekvation

$$\frac{\partial c}{\partial t} - D\nabla^2 c = F\nabla^2 \epsilon$$

Med utgångspunkt från lösningen har slutsatser dragits angående olika mekaniska faktorerers inverkan. Resultaten diskuteras i ljuset av experiment som förekommer i litteraturen.



Figur 44: Bentvärsnitt hos en kalkon a) före och b) efter cyklisk belastning

# Väggskevspänning i individualspecifika modeller av aorta

Roland Gårdhagen, Johan Renner, Dan Loyd & Matts Karlsson

Institutionen för Ekonomisk och Industriell Utveckling (IEI) och Institutionen för medicinsk teknik (IMT)

Linköpings universitet  
roland.gardhagen@liu.se

Väggskevspänningen (engelska: wall shear stress, WSS), är friktionsbelastningen från blodet på kärlväggen och tros vara av fundamentalt betydelse för uppkomsten av ateroskleros (åderförkalkning). Detaljerad kännedom om väggskevspänningen kommer därför att utgöra viktig information i samband med diagnoser, interventionsplanering och uppföljning av behandlingar.

Den noggrannhet som krävs för att bestämma WSS är i praktiken omöjlig att erhålla direkt från mätdata, men däremot är det fullt möjligt att med god noggrannhet beräkna flödesfältet i individualspecifika kärlmodeller och utifrån detta bestämma WSS. Tiden från datainsamling till färdiga simuleringsresultat har minskat drastiskt tack vare automatisering av processen.

Individualspecifika kärlmodeller skapas från magnetkamera- (MR) eller datortomografi- (CT) bilder i vilka kärlväggen kan lokaliseras. Denna procedur sker i princip helt automatiskt, vilket är en förutsättning för att tekniken skall kunna användas rutinemässigt inom hjärt- och kärlsjukvården.

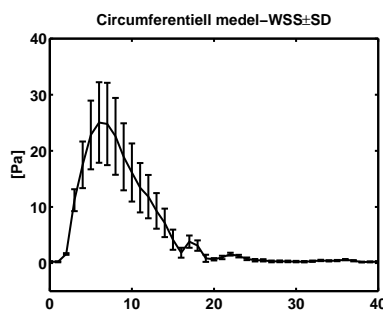
För nätgenereringen används ICEM 10.0 (ANSYS, Inc., Canonsburg, Pennsylvania, USA) och för beräkningarna simuleringsprogrammet Fluent 6.1.18 (Fluent Inc., Lebanon, New Hampshi-

re, USA). MR-teknik utnyttjas även för att mäta hastigheten i ett lämpligt plan, vilket ger randvillkor för simuleringarna. Hastigheten mäts tidsupplöst och ger således flödet i ett antal tidpunkter under ett hjärtslag.

Våra studier har gjorts på modeller av mänsklig aorta (stora kroppspulsådern) från aorta ascendens till thorakala aorta. Uppmätt inloppshastighet, d.v.s. i aorta ascendens, visar en långt ifrån fullt utbildad hastighetsprofil i denna del av aortan.

WSS har studerats i detalj i ett område strax nedströms aortabågen som är särskilt utsatt för ateroskleros. Materialet utgjordes här av aortamodeller från nio friska män mellan 20 och 30 år. Laminära flöden har simulerats med uppmätt inloppshastighet som randvillkor och individualspecifik viskositet. Resultaten visar att WSS varierar kraftigt såväl spatiellt som temporalt, se Figur 1 som visar medel-WSS och standardavvikelse i ett tvärsnitt nedströms bågen vid 40 tidpunkter under ett hjärtslag för en specifik person.

Reynoldstalet i thorakala aorta visar sig under systole vara så högt att man kan misstänka turbulent strömning under delar av hjärtcykeln. Inledande simuleringar av turbulent flöde har påbörjats.



## Mekanisk modell för muskelkontraktionen i artärer

Jonas Stålhand<sup>1</sup>, Anders Klarbring<sup>1</sup> & Gerhard A. Holzapfel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Avdelningen för mekanik  
Linköpings Tekniska Högskola

<sup>2</sup>Institutionen för hållfasthetslära  
KTH

jonas.stalhand@liu.se

En artär består huvudsakligen av elastin, kollagen och glatt muskulatur. Elastin och kollagen är proteiner som tillsammans bestämmer artärens passiva egenskaper<sup>2</sup>, medan den glatta muskulaturen reglerar de aktiva egenskaperna. Denna reglering möjliggör en anpassning av kärlstyvheten och lumenarean, vilket har stor betydelse för kärlfunktionen. På en makroskopisk nivå kan cellkontraktionen härledas till interaktionen mellan två filament (proteinkedjor): aktin och myosin. I en kemisk process kopplas myosinhuvuden, s.k. korsbryggor, till bindningspunkter på aktinet. Korsbryggorna genomför sedan en paddelrörelse och förflyttar filamenten relativt varandra, varefter de släpper aktinet och fäster till en ny bindningspunkt. Cykeln återupprepas och summan av alla korsbryggor i ingrepp bestämmer muskelcellens totala kraftproduktion och kontraktionshastighet. Unikt för glatt muskulatur är att kopplade, icke-cykliska korsbryggor kan överföra kraft. Detta haspade tillstånd (eng. latch-state) medger en bibehållen kontraktion av muskelcellen vid mycket låg energikonsumtion<sup>1</sup>. Oberoende av muskeltypen är dock intracellulära caliumjonkoncentra-

tionen ( $[Ca^{2+}]$ ) den huvudsakliga regulatorn av kraftproduktionen.

Till skillnad från den passiva responsen finns det få studier som försökt modellera mekaniken vid aktiva kontraktion, se t.ex. Yang et al.<sup>3</sup>, och de få studier som existerar använder en fenomenologisk ansats för att modellera kraftproduktionen. Resultatet är ofta att dessa modeller inte är termodynamiskt konsistenta. Vår forskargrupp har därför utvecklat en kontinuumsmekanisk modell för glatt muskelkontraktion vid ändliga deformationer utifrån grundläggande mekaniska principer. Modellen består av två parallella element: en fjäder för cellstyvheten och ett kontraktilelement för aktin-myosin-interaktionen. Kinematiken bygger på en multiplikativ uppdelning av deformationen i en filamentkontraktion och en elastisk deformation av korsbryggorna. Dessutom introduceras också muskelcellens kemiska tillstånd och  $[Ca^{2+}]$ , och tillsammans med deformationerna utgör de tillståndsvariablerna i den fria energin. Genom att specialisera fria energin och linjärisera den kemiska utvecklingslagen kan man sedan visa att vår modell innehåller modellen från Yang et al.<sup>3</sup> som ett specialfall.

<sup>1</sup>Hai C.M., Murphy R.A. Cross-bridge phosphorylation and regulation of latch state in smooth muscle. *Am J Physiol.*, 254 (1988) C99-106

<sup>2</sup>Holzapfel G.A., Gasser T.C., Odgen R.W. A New Constitutive Framework for Arterial Wall Mechanics and a Comparative Study of Material Models. *J Elasticity*, 61 (2000) 1-48

<sup>3</sup>Yang J, Clark JW Jr, Bryan RM, Robertson C. The myogenic response in isolated rat cerebrovascular arteries: smooth muscle cell model. *Med Eng Phys.* 25 (2003) 691-709.

## Deposition av nanopartiklar i luftvägarna: analys med CFD

Sofie M. Högberg, Hans O. Åkerstedt & T. Staffan Lundström

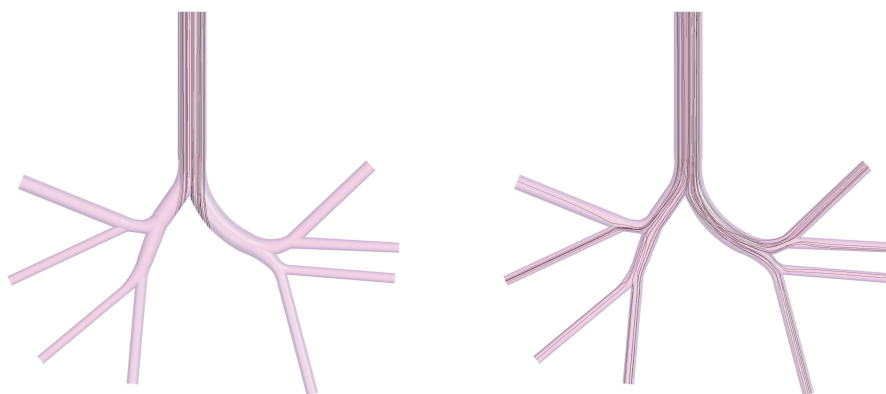
Avd. för Strömningslära  
Luleå tekniska universitet  
sofie.hogberg@ltu.se

Studier har visat att nanopartiklar kan vara farligare än större partiklar av samma material, men de eventuella hälsoriskerna beror även på hur stor del av partiklarna som vi utsätts för. I det här projektet tas hänsyn till exponering via inandning, vilket medför att det är viktigt att klargöra skillnader i depositionsegenskaper mellan nano- och mikropartiklar. Resultaten kan även tillämpas vid medicinering med aerosoler. Analys sker med hjälp av datorstödda strömningsberäkningar (CFD).

Partikeldeposition studeras för stationärt, laminärt flöde i en asymmetrisk 3D-modell av trachea till segmentbronkerna, med geometriska data från Horsfield et al.<sup>1</sup>. Deposition jämförs både avseende effektivitet och lokalisering för partiklar i storleksordningen 15 nm till 50 mikrometer, vid inloppsflöden på 0.1-1.0 l/s. För simuleringar används CFD-programmet ANSYS CFX 10.0, förbättrat med Fortran subrutiner. Geometrin diskretiseras med ett beräkningsnät av finita kontrollvolym, bestående av tetradrar och prismor. Gridkonvergensstudier utförs

och residualer drivs mot datornoggrannhet.

Resultaten visar att partikelstorleken har stor betydelse för depositionen, jämför partikelspår för partiklar 50 mikrometer och 15 nm i diameter, figur 45. De största partiklarna fångas effektivt upp i den första förgreningen på grund av tröghetskrafter. Partiklar 3-10 mikrometer deponeras mindre effektivt och mer uniformt i modellen på grund av tröghetskrafter och gravitation. Nanopartiklarna följer strömlinjerna och går i stort sett rakt igenom modellen och verkar inte påverkas av varken tröghet, gravitation eller Brownsk diffusion i det modellerade området. Detta innebär att transport av nanopartiklar till djupare delar av lungorna kan antas betydande. Nanopartiklarna tar sig eventuellt ända ned till alveolerna vilket ofta är önskvärt i medicinering med aerosoler men kan innebära en hälsorisk om vi ser till potentiellt skadliga nanopartiklar. Depositionen påverkas även av den geometriska asymmetrin, med lokala avvikelser på upp till 25 procent i andel deponerade partiklar.



Figur 45: Partikelspår partiklar 50 mikrometer (vänster) och 15 nm (höger) vid 0.5 l/s.

<sup>1</sup>Horsfield, K., Dart, G., Olson, D. E., Filley, G. F. and Cumming, G., Models of the human bronchial tree, J Appl Physiol, 31 (1971), pp. 207-17.

# Hastighetsvalidering av en CFD-baserad estimeringsmetod för väggskjuvspänningen i individspecifika mänskliga artärer

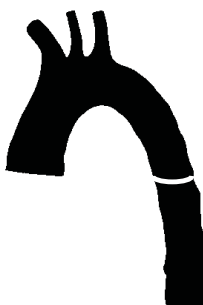
Johan Renner, Roland Gårdhagen, Dan Loyd & Matts Karlsson

Institutionen för Ekonomisk och Industriell Utveckling och Institutionen för Medicinsk Teknik  
Linköpings universitet  
Johan.Renner@liu.se

Forskningen behandlar metodframtagning för att estimerar väggskjuvspänningen (friktionsbelastningen) på artärväggen. Det är naturligtvis viktigt att på något sätt kontrollera sina resultat. Det vore bra om man kunde jämföra metoden som man utvecklar med en bättre metod eller med den bästa möjliga för att ta fram just väggskjuvspänningen. Det visar sig att detta inte är möjligt eftersom det inte finns några sådana referensmetoder för att uppskatta väggskjuvspänningen i kärlen hos en människa. Man kan då ta ett steg tillbaka och titta på de alternativ man har att tillgå och som ger en uppskattning av väggskjuvspänningen. Eftersom väggskjuvspänningen baseras på viskositeten och hastighetsderivatan blir det naturligt att försöka jämföra hastighetsfälten på något sätt. Detta är möjligt om man utnyttjar magnetkamerateknik som kan mäta blodflödeshastigheter inuti den mänskliga kroppen utan att behöva föra in något i kroppen en icke invasiv mätmetod. Detta har också fördelen att vi inte påverkar flödet med någon mätprob i kroppen. Jämförelseparametern är alltså blodhastigheten och i detta fall i ett tvärsnitt av aor-

tan descendens thorakalt (figur 46) som är den neråtgående delen av aortan strax efter aortabågen. Här jämförs simulerade flödes hastigheter från vår metod, som använder magnetkamera geometri tillsammans med CFD simulering, med flödeshastigheter uppmätta med magnetkamera i det individspecifika kärlet. Hastighetsjämförelsen är till för att validera vår metod så att den ger rättvisande resultat för hastigheten och de estimerade väggskjuvspänningsvärdena.

Jämförelsen mellan uppmätt och beräknad hastighet i ett snitt i aorta descendens visar på mycket god överensstämmelse. Vissa resultat antyder även att inloppshastighetens profil spelar en mycket liten roll för flödet i thorakala aorta medan en korrekt återskapad kärmodell är av stor betydelse. Det senare understryker vikten av individspecifika modeller. Förbättringar av metoden med bland annat mätning av hastighetsdata i flödes avledningarna i aortabågen och användning av denna information i modellen är en del av det framtida arbetet.



Figur 46: Mesh av aorta med snittet för hastighetsjämförelsen markerat.



# Trä som cellulärt kompositmaterial - en förenklad mikromekanisk analys

Carl S. Moden<sup>1</sup> & Lars A. Berglund<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Inst. för farkost- och flygteknik, KTH Teknikvetenskap

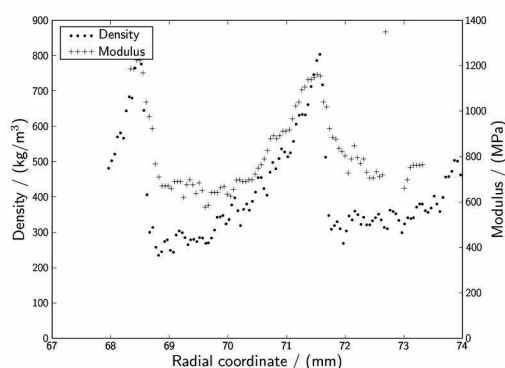
<sup>2</sup>Inst. för fiber och polymerteknologi, KTH Kemi och Kemiteknik  
carlmod@kth.se

Trä är ett cellulärt konstruktionsmaterial med mycket intressanta egenskaper. I "Cellular solids" av Gibson och Ashby (1997) utvecklas enkla skalningsmodeller för honeycombstrukturer. Man antar att cellväggen i trä deformeras genom böjning av balkar och kan på så sätt förklara skillnader i elastiska egenskaper pga främst densitet. Modellen är förenklad i bemärkelsen att endast böjning tillåts som deformationsmekanism. Fördelen i pedagogiskt perspektiv är att uttrycken har mycket enkel form och väsentliga material- och geometri-parameterer identifieras. Ett oförklarad problem är fortfarande varför tangentiell E-modul är högre än radiell för barrved. Ashbys modell utgår från att märkestrålar i radiell riktning ökar styvheten i den riktningen. I vårt arbete visar vi att cellgeometrin i sig är en tillräcklig förklaring till anisotropin. I första delen redovisar vi experimentella data för radiell modul på millimeterskala, bestämd från töjningsfält mätta med digital speckelfotografi (DSP). Variationen mellan vår- och sommarvedens emoduler kan bestämmas med den metoden. Korrelationen med densitetsdata bestämda med Silviscan-metoden (STFI-Packforsk) är mycket god. En intressant observation är att gran har en funktionell gradient-struktur som

gör att modulen varierar gradvis mellan de olika skikten. Sådan variation är gynnsam när det gäller att reducera spänningskoncentrationer i gränsskiktet vårved/sommarved.<sup>1</sup>

I andra delen utvecklas den enkla analytiska modell som tar hänsyn till såväl böjning i cellväggen som deformation till följd av dragbelastning. Dessutom införs en tvåfas-modell så att såväl vårved som sommarved finns med. Jämfört med den enfasmmodell som Ashby använder, så blir överensstämmelsen mellan förutsägelser och experimentella data mycket bättre för vår modell. Data hämtas dels från vår egen experimentella studie, dels från litteraturen. Vår modell beskriver på ett förbättrat sätt de fysikaliska mekanismer som verkar i trä. I radiell riktning dominerar sträckning av cellväggar, speciellt i sommarveden, som har hög densitet. I tangentiell riktning dominerar böjning av cellväggen, speciellt i vårveden som har låg densitet.

Det praktiska värdet av modellen ligger i en förlängning främst i att den kan utvidgas till att på cellnivå beskriva det tekniskt viktiga problemet med fuktsvällning och krympning i trä. Det finns anledning att kombinera vårt analytiska angreppssätt med numeriska metoder för att öka förståelsen av fenomenen.



<sup>1</sup>C.S. Moden och L.A. Berglund, "Elastic deformation mechanisms of softwoods in radial tension - cell wall bending or stretching?", *Holzforschung*, (2006), Accepted



## Tryckestimering i artärer

**Carl-Johan Thore**

Avdelningen för mekanik  
Linköpings tekniska högskola  
carth392@student.liu.se

Under de senaste årtiondena har intresset ökat för kopplingen mellan kärlväggens mekaniska egenskaper och utvecklandet av olika kardiovaskulära sjukdomar, t ex pulsåderbråk och ateroskleros. I syfte att diagnostisera en patient görs ofta en mätning av pulstrycket. I allmänhet utförs mätningen på något perifert kärl. Delvis på grund av vågreflektioner och varierande elastiska egenskaper, kommer tryckkurvans utseende att variera mellan olika kärl. Det innebär ett problem, då det av olika skäl ibland är önskvärt att erhålla tryckkurvan i något centralt beläget kärl, t ex bukaortan. Eftersom mätning av tryckkurvan i bukaortan inte kan göras icke-invasivt, har därför en överföringsfunktion som beskriver hur tryckkurvan i ett kärl relaterar till tryckkurvan i ett annat kärl tagits fram. Överföringsfunktionen är baserad på en mekanisk modell av vågutbredning i artärer.

Som utgångspunkt vid modelleringen tas Navier-Stokes ekvationer för ett rotationssymmetriskt flöde tillsammans med kontinuitetsekvationen. Dessa integreras sedan över ett tvärsnitt av kärlet och en koppling till väggens rörelse görs genom att studera hur kärlets tvärsnittsarea beror av trycket. För att undvika att modellera

hela kärlträdet ner till arterioler och kapillärer, måste trädet trunckas med lämpliga randvillkor. Här används en så kallad windkessel-modell. Med en elektrisk analogi kan den beskrivas som ett lågpasfilter; det pulsatile flödet i artärerna transformeras gradvis till ett kontinuerligt flöde i de mindre kärlen.

Genom att specificera ett initialvillkor, i det här fallet en perifer tryckkurva, och applicera ekvationerna på en modell av det mänskliga kärlträdet är det sedan möjligt att räkna ut tryckdistributionen i hela trädet. På grund av stora individuella variationer i anatomi och fysiologi måste dock kärlträdsmodellen individanpassas. Detta åstadkommes genom att lösa ett optimeringsproblem. Eftersom det är möjligt att räkna ut tryckkurvan i ett godtyckligt kärl, är det möjligt att ta tryckkurvan i t ex brachialis (överarmen) och sedan räkna ut tryckkurvan i femoralis (låret). Det framräknade trycket i femoralis jämförs sedan med det uppmätta trycket i femoralis, och optimeringsproblemet blir således att minimera skillnaden mellan den framräknade och den uppmätta tryckkurvan. Exempel på beroende variabler är trädets randvillkor, kärlets elasticitet och radie.

## Simulering av smörjfilmsuppbyggnad i glidlager

Patrik Isaksson

Avdelningen för maskinelement  
Luleå tekniska universitet  
patrik.isaksson@ltu.se

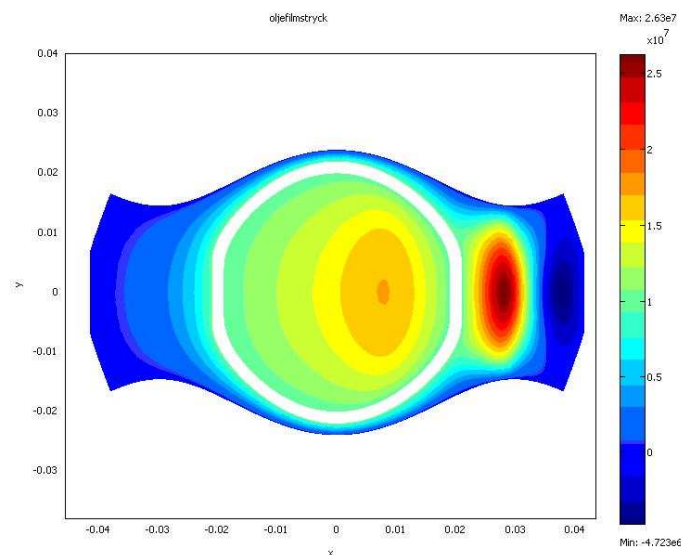
Hydrauliska radialkolvmotorer används i en mängd tillämpningar där höga vridmoment och robusthet krävs. Hägglunds Drives är ledande i branschen och erbjuder hög prestanda, flexibilitet och säkerhet i krävande miljöer. För att behålla dess position på marknaden behövs löpande utveckling.

Hägglunds Compact är en hydraulmotor där det drivande momentet mellan utgående axel och chassiet överförs via ett kolvparti. Compact motorns prestanda är beroende av friktion och läckage av olja i detta kolvparti. Omfattande testning utförs för att förbättra kolvpartiets design. För att förenkla designprocessen vill man nu kunna köra simuleringar på kolvpartiet, något som man inte har kunnat göra tidigare.

Kolvpartiet består av en kolv och en rulle. I kontakten mellan kolv och rulle byggs en smörjfilm upp genom att när rullen roterar så skapas ett

hydrodynamiskt tryck. Trycket i smörjfilmen kan vara högt och påverka hur kolvpartiet deformeras. Sådana smörjförlopp brukar kallas för elasto-hydrodynamisk smörjning. Dessa innebär ett icke-linjärt problem och kräver numeriska beräkningsmetoder.

En modell skapades genom att definiera ekvationer och samband mellan kolvpartiets deformationer och tryckuppbyggnaden i oljefilmen mellan kolv och rulle. Modellen baseras på fysiken bakom elasto-hydrodynamisk smörjning, så kallad EHL. I modellen som byggdes upp beräknas kolvens deformationer och tryckfördelningen i smörjfilmen mellan kolv och rulle med hjälp av numeriska metoder i programmet Comsol Multiphysics. Utifrån dessa kan sedan friktion och läckage beräknas. Användning av simuleringsmodellen gör att det blir billigare och enklare att utveckla nya kolvdesigner.



# En tomografisk undersökning av lastöverföring i kompositmaterial baserade på träfibrer

Karin Almgren & Kristofer Gamstedt

Institutionen för hållfasthetslära, KTH  
karin@hallf.kth.se

Kompositmaterial baserade på träfibrer och biopolymerer används i allt större omfattning som förpackningsmaterial. Fördelen är att dessa kommer från en förnyelsebar råvara, är nedbrytbara och finns tillgängliga till en överkomlig kostnad. Infrastrukturen för framtagning av lämpliga träfibrer finns i befintlig massa- och pappersindustri. Träfibrer som är skräddarsydda för användning i papper och kartong med goda mekaniska egenskaper är därmed kanske inte de mest lämpliga i en komposittillämpning. En utökade förståelse för hur de förstärkande träfibrerna bidrar till styvhet och styrka i kompositmaterial är därmed önskvärd. Sådan kunskap skulle kunna användas i materialutveckling av bättre förpackningsmaterial. Stor pappersmekanisk erfarenhet finns om den framträdande roll som bindningar mellan fibrer har med avseende på dragstyrka och styvhet hos pappersark. Det är emellertid inte lika utrett till vilken grad dessa bindningar i fibernätverket bidrar till kompositmaterialets styrka och styvhet. En experimentell studie har genomförts där pappersark med olika grad av fiberbindningar har tillverkats genom att variera lösningsmedelsbyte och pressning vid framställning. Därefter tillverkades kompositmaterial genom att injicera pappersarken med en vinylesterharts som sedan härdades. Tredimensio-

nella bilder togs därefter av pappersark och kompositprover vid Röntgen-synkrotronen ESRF i Grenoble<sup>1</sup>. Efter datorbaserad bildanalys visade det sig att såväl ark som motsvarande kompositter uppvisade kvantitativt större grad av fiberbindningar för de välkonsoliderade arken (pressade utan lösningsmedelsbyte).

Sedan utfördes mekanisk provning av både papperark och kompositmaterial. Den förväntade korrelationen mellan pappersarkens mekaniska egenskaper och graden av fiberbindning visade sig från den mekaniska provningen: Ju starkare fiberbindningar desto starkare och styvare pappersark. Däremot kunde ingen korrelation konstateras mellan täthet av fiberbindningar och kompositmaterialets styvhet och styrka. Slutsatsen är att gränsytan mellan fiber och matris har betydligt större inverkan på kompositmaterialets mekaniska egenskaper än inverkan av fiberbindningarna. Ett flertal studier i litteraturen indikerar att gränsytan mellan fibrer och matris är av största vikt för mekaniska egenskaper hos kompositmaterial baserade på pappersark<sup>2,3</sup>. Till författarnas vetskap är emellertid detta den första studien som direkt påvisar att bindningarna mellan fibrerna har försumbar inverkan på styvhet och styrka hos denna typ av kompositmaterial.

<sup>1</sup>Bogren, K., Gamstedt, E.K., Nygård, P., Malmberg, F., Lindblad, J., Svensson, S., Berthold, F. & Lindström, M., "Stress transfer and failure in pulp-fibre reinforced composites: Effects of microstructure characterized by x-ray tomography", Proceedings of the Progress in Paper Physics Conference 2006, Coffin, D.W. (Ed.), Miami University, Oxford, 2006a, 16-19.

<sup>2</sup>Bogren, K.M., Gamstedt, E.K., Neagu, R.C., Åkerholm, M. & Lindström, M., "Dynamic-mechanical properties of wood-fiber reinforced polylactide: Experimental characterization and micromechanical modeling", Journal of Thermoplastic Composite Materials, 19(6), 2006b, 613-637.

<sup>3</sup>Bogren, K., Gamstedt, E.K., Åkerholm, M., Salmén, L. & Lindström, M., "Effects of relative humidity on load redistribution in wood-fibre composites analyzed by dynamic Fourier transform infrared spectroscopy", Proceedings of the 5th Plant Biomechanics Conference, vol. I, Salmén, L. (Ed.), STFI-Packforsk AB, Stockholm, 2006c, pp. 157-162.

## Fluid flow in wood fiber networks

**Patrik Pettersson**

Metso Paper Sundsvall AB  
patrik.pettersson@metso.com

Cellulose material is processed to pulp suspensions and MDF boards in order to produce e.g. papers, magazines, laminate floors and door skins. A critical stage of these processes is when the cellulose fiber networks are compressed to specific densities and when most of the fluid originally positioned between and inside the fibers is forced to leave the network. Hence, in addition to the solid load the fiber network is exposed to a drag force generated by the flow. The magnitude of this force is dependent upon how easy the fluid can flow through the network which is commonly described by the permeability of it. The solid load response, in its turn, is often expressed with the compressibility of the fiber network. To be able to model and predict the compression stage these two material properties must be known. In this work two equipments to measure the permeability of MDF networks and pulp suspensions are evaluated and a neat model for a part

of the MDF-compression stage is developed. A reference material consisting of spherical particles and relevant fiber networks are used as test objects for the equipments enabling a comparison to theoretical models and existing experimental results. The outcome is that correct enough permeability data are obtained with respective equipment as long as Reynolds number is sufficiently low. The equipments are then used to study different materials showing, for instance, that highly compressed MDF-networks are strongly anisotropic as to permeability and that the tested hardwood pulps have an overall higher permeability compared to the softwood pulps investigated. It was also found that the permeability of the pulps was not influenced by different mechanical treatments of the fiber network, as long as the geometrical dimensions of the fibers were constants.



---

# FÖREDRAGSHÅLLARE

---

Almgren, Karin	5:16	Jonsén, Pär	3:9
Almqvist, Andreas	1:8	Jonsson, Anders	4:18
Babu, Bijish	3:16	Jonsson, Pontus	2:4
Barsoum, Imad	1:18	Karlsson, Martin	2:9
Bellani, Gabriele	3:10	Kjellander, Malte	3:1
Berglund, Lars	5:7	Krajonovic, Sinisa	4:2
Biel, Anders	4:11	Larsson, Fredrik	1:5
Bjerken, Christina	1:9	Lind, Eleonora	1:20
Bodén, Hans	4:24	Lindkvist, Göran	3:3
Boij, Susann	4:5	Ljung, Anna-Lena	3:12
Burak, Markus	4:1	Lycksam, Henrik	3:18
Cameron, Christoper	4:23	MackAldener, Magnus	4:16
Carlsson, Allan	5:5	Mannberg, Peter	3:11
Cuppilard, Samuel	1:11	Marjavaara, Daniel	2:7
Dahlberg, Carl	4:22	Mark, Andreas	1:22
Davidson, Lars	1:21	Marklund, Erik	5:4
Ebermark, Sofia	3:6	Marklund, Magnus	2:12
Efraimsson, Gunilla	4:21	Mfoumou, Etienne	1:1
Eitzenberger, Johannes	1:7	Moden, Carl S	5:13
Ekh, Magnus	1:19	Mulu, Berhanu	2:5
Eman, Jesper	4:8	Nilsson, Håkan	2:8
Fisk, Martin	3:17	Nybacka, Mikael	4:4
Forsberg, Fredrik	2:17	Nyman, Pär	4:12
Gavelin, Anders	5:1	Olausson, Martin	2:11
Gebart, Rikard	2:13	Oldenburg, Mats	4:10
Green, Torbjörn	5:3	Olsson, Erik	1:13
Gustafsson, Erik	3:13	Olsson, Pär	1:4
Gustafsson, Gustaf	3:14	Pettersson, Patrik	5:17
Gyllenram, Walter	2:6	Prahl, Lisa	2:16
Gårdhagen, Roland	5:9	Rapetto, Marco	1:10
Haller, Kristian	1:2	Renner, Johan	5:12
Hardell, Jens	3:4	Revstedt, Johan	2:14
Hedberg, Claes	1:3	Runnemalm, Anna	4:7
Hejman, Ulf	5:2	Schreyer, Anne-Marie	2:18
Hellström, Gunnar	2:15	Setterqvist, Eric	4:6
Hemida, Hassan	4:19	Sigfrids, Timmy	3:8
Hofwing, Magnus	4:9	Sjövall, Per	1:23
Håkansson, Paul	3:5	Stec, Mateusz	1:15
Högberg, Sofie	5:11	Strömberg, Niclas	1:16
Isaksson, Patrik	5:15	Strömbro, Jessica	3:2
Jacobsson, Lars	1:14	Stähle, Per	5:8
Jansson, Ida	2:2	Stålhand, Jonas	5:10
Jiang, Janna	1:17	Svanberg, Magnus	4:15
Johansson, Anders	1:24	Tammisola, Outi	3:15
Johansson, Christian	4:14	Tanaka, Shiho	5:6
Johansson, Håkan	1:6	Tatar, Kouros	3:7

---

Thomas, Michael	2:3	Wallin, Fredrik	4:3
Thore, Carl-Johan	5:14	Wallin, Mathias	1:12
Tillberg, Johan	4:20	Wentzel, Henrik	4:17
Tivert, Tobias	2:10	Wiinikka, Henrik	2:1
Torbacke, Marika	4:13		