



# LUND UNIVERSITY

## Continuum modelling of the mechanical response of paper-based materials

Borgqvist, Eric

2016

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Borgqvist, E. (2016). *Continuum modelling of the mechanical response of paper-based materials*. [Doctoral Thesis (compilation), Solid Mechanics].

*Total number of authors:*

1

### General rights

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

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

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

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

### Take down policy

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

LUND UNIVERSITY

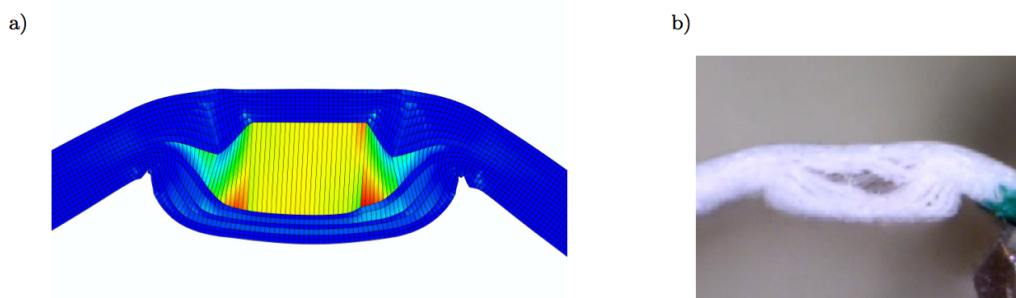
PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00

# Från fiber till förpackning: Formning av förpackningar i den virtuella världen.

För att tillverka en pappersbaserad förpackning är det viktigt att materialet är tillräckligt hållfast. Förpackningsmaterial består ofta av kartong, aluminium och polymerfilmer där kartong utgör den största delen av förpackningen och bidrar mest till styvheten. Det säljs årligen mer än hundra miljarder förpackningar i världen och om kostnaden samt materialåtgång för att tillverka en kartong kan reduceras, så kan stora besparingar göras både ekonomiskt och miljömässigt. När förpackningsmaterialet spricker under konverteringen till en förpackning är anledningen till detta inte alltid helt klart. Mycket material och tid kan gå till spillo under felsökningen och det är inte alltid säkert att man finner orsaken till bristerna. Ett verktyg för att analysera hur förpackningsmaterialet belastas kan därmed vara till stor hjälp för att få en ökad förståelse av konverteringsprocessen. Ett sådant verktyg för kartongmaterialet har utvecklats i den här avhandlingen.

En materialmodell som kan beskriva relationen mellan krafter och deformationer som kartongen utsätts för har utvecklats. Kartongen består primärt av cellulosafiber som är ett par millimeter långa med en bredd och tjocklek på cirka 10-50 mikrometer. Kartongen som har betraktats i detta arbete har en tjocklek på 400 mikrometer. På grund av tillverkningsprocessen så är de flesta av fibrerna riktade åt samma håll, och fibrerna ligger sedan väsentligen ovanpå varandra. Den riktning som fibrerna ligger staplade ovanpå varandra definieras som ut-ur-planet riktningen. Kartongens hållfasthetsegenskaper är som starkast i den riktning som fibrerna ligger i, dvs i-planet och mycket svagare ut-ur-planet. Det kan skilja en faktor hundra i styvhet mellan i-planet och ut-ur-planet. Detta är en av anledningarna som gör modellering av kartongen utmanande.

Fokus i detta arbete har varit inriktat på att simulera bignings och vikningsprocessen med hjälp av den utvecklade modellen. De mycket stora lokala deformationer som sker under dessa processer har studeras med hjälp av modellen. Viker man en obigad kartong uppkommer rynkor vilket gör det mycket svårt att vika kartongen rakt. Dessa rynkor formas på ett instabilt sätt och röntgenbilder visar att fibrerna har omorienterats inuti rynkorna. Det är därför viktigt att man först bigar kartongen så att man kan få väl definierade viklinjer. I bigprocessen pressas ett hanverktyg på kartongen så att kartongen förs in i ett honverktyg. Kartongen skjivas och skadas genom tjockleken och en viklinje uppkommer, vilket gör att kartongen låter sig formas till en förpackning. En figur som visar deformationen genom tjockleken av kartongen efter den har bigats och vikts finns nedan.

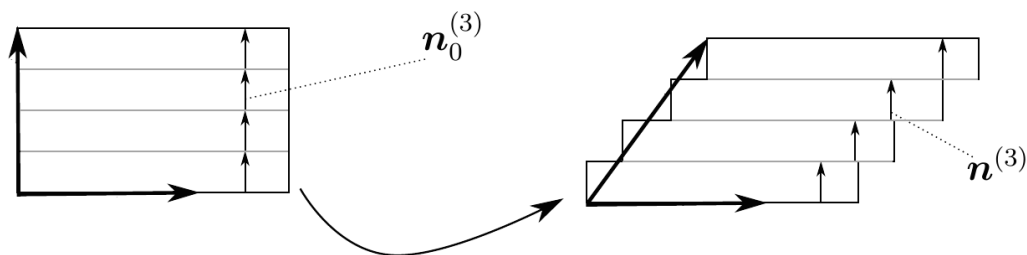


**Figur:** Simulering (a) och mikroskop (b) bilder av vikning av en bigad kartong. Färgkonturen i simuleringen indikerar hur skadat materialet är.

Figuren visar dels deformationen från en finita element simulering (a) och från mätningar med ett mikroskop (b). Som synes i figuren har fibrer separerats från varandra i mitten av kartongen under vikprocessen. Eftersom skadorna uppkommer lokalt där man har bigat så är det mycket enklare att

kontrollera vikprocessen jämfört med om man inte har bigat kartongen. Med simuleringsmodellen så har man möjlighet att i detalj studera vad som händer i kartongen och hur olika parametrar påverkar konverteringsprocessen.

Kartongen har approximerats som ett kontinuum i detta arbete och modellen har gjorts i ett ramverk där första termodynamikens lag uppfylls. Modellen tar hänsyn till de stora permanenta deformationer samt skadan som uppkommer. En nyckel-aspekt i modellen är att en karaktäristisk riktning som är normal till i-planet riktningarna införs för att modellera ut-ur-planet egenskaperna. En inspirationskälla för införandet av denna riktning är hur en kortlek deformeras vid skjuvning, se figur nedan.



**Figur:** Idealiserad deformation av kartongen vid skjuvning. Normal vektorn,  $n^{(3)}$  bibehåller sin riktning vid deformationen.

Korten glider över varandra i figuren och normalvektorn till varje kort bibehåller sin riktning. På liknade sätt kommer normalriktningen för fibrerna i kartongen bibehålla sin normal-riktning vid skjuvning.

Modelleringsverktyget som har utvecklats kan vara till hjälp att prediktera vad som händer med kartongen. Genom att först simulera och se vad som händer i den virtuella världen innan man utför ändringar i verkliga världen så kan stora besparingar göras. Modellen kan användas för undersöka och förstå vad som händer under konverteringen och därmed effektivisera hur man formar förpackningar från fibrer.