

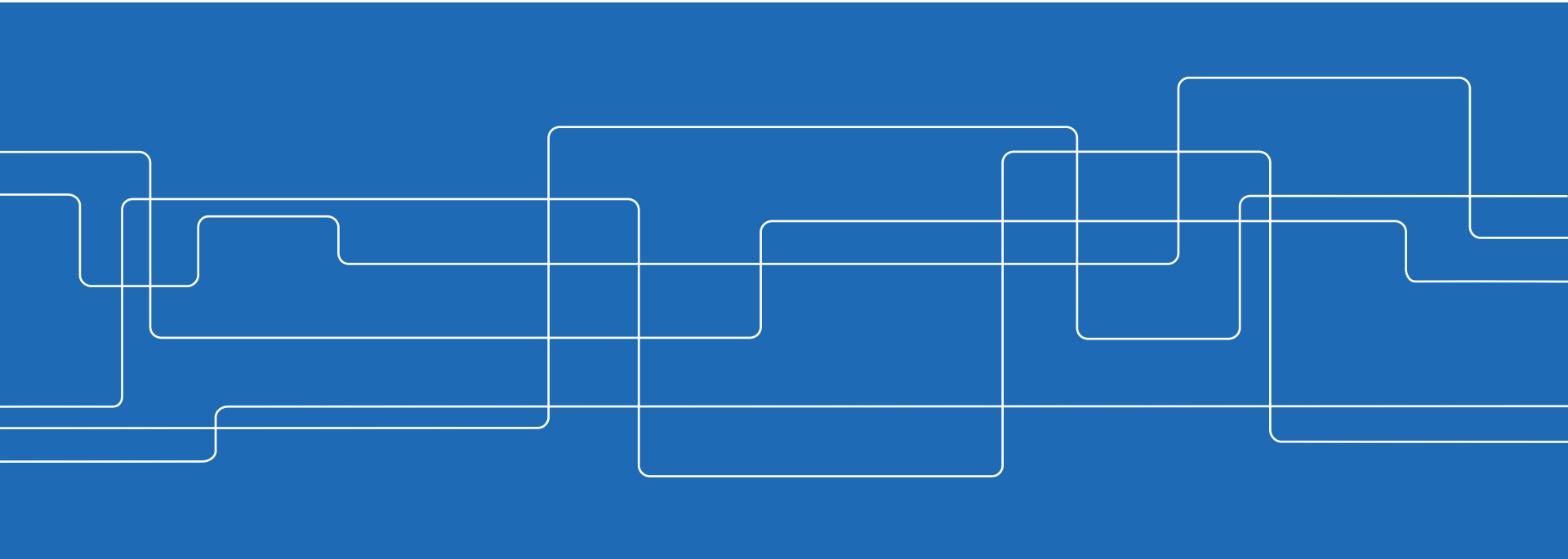


Cellulosa, papper och framtidens material

Fredrik Lundell

Professor i experimentell strömningsmekanik

Institutionen för Teknisk Mekanik



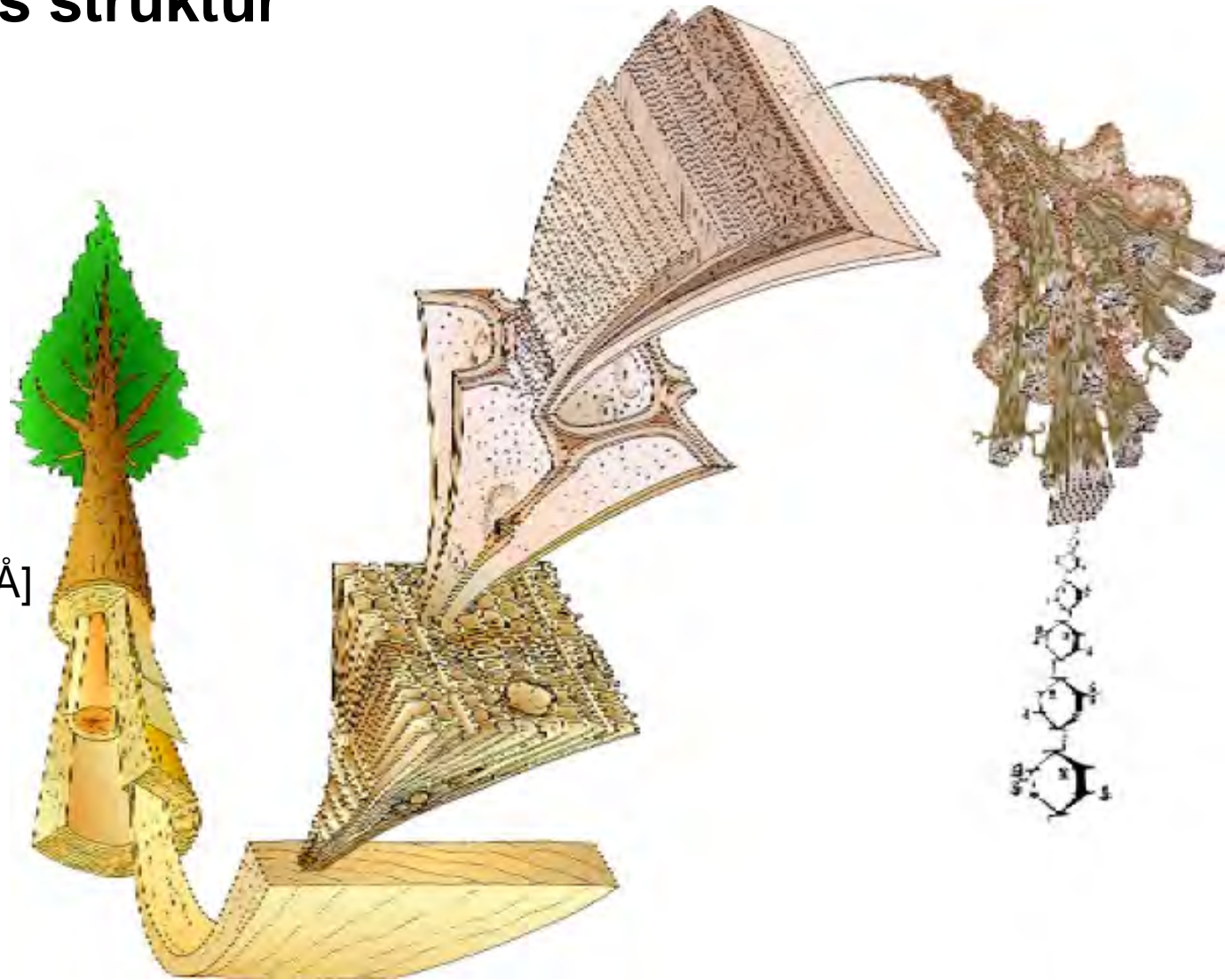






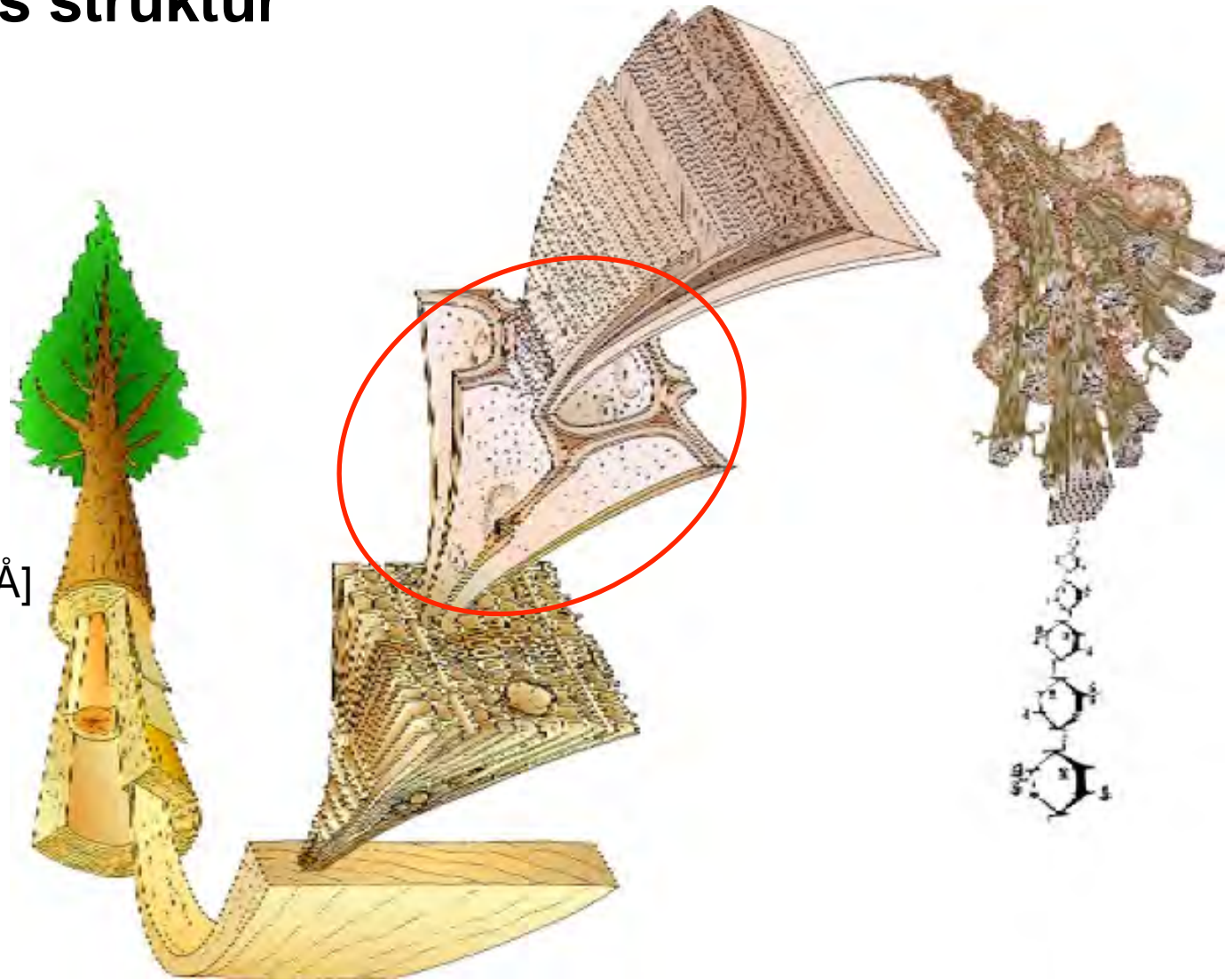
Ett träds struktur

1. Träd, [m]
2. Planka, [dm]
3. Årsring, [cm]
4. Träfiber, [mm]
5. Fibervägg, [μm]
6. Nanofibriller, [nm]
7. Cellulosamolekyler, [Å]



Ett träds struktur

1. Träd, [m]
2. Planka, [dm]
3. Årsring, [cm]
4. Träfiber, [mm]
5. Fibervägg, [μm]
6. Nanofibriller, [nm]
7. Cellulosamolekyler, [Å]



Papper och kartong: viktiga cellulosa produkter



Ett bruk (Gruvön, BillerudKorsnäs)

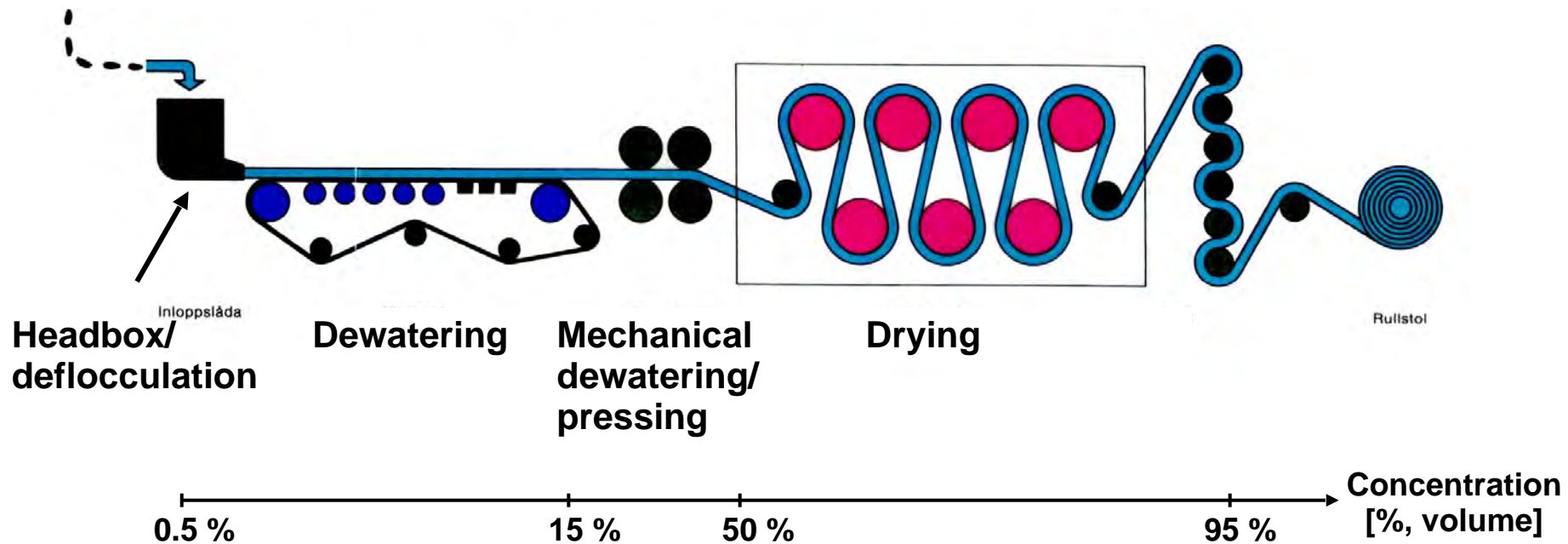


En maskin (Voith)



Pappersprocessen

Papperstillverkning sker vid de koncentrationer som anges nedan:



Produktundersökning!



Rivtest!

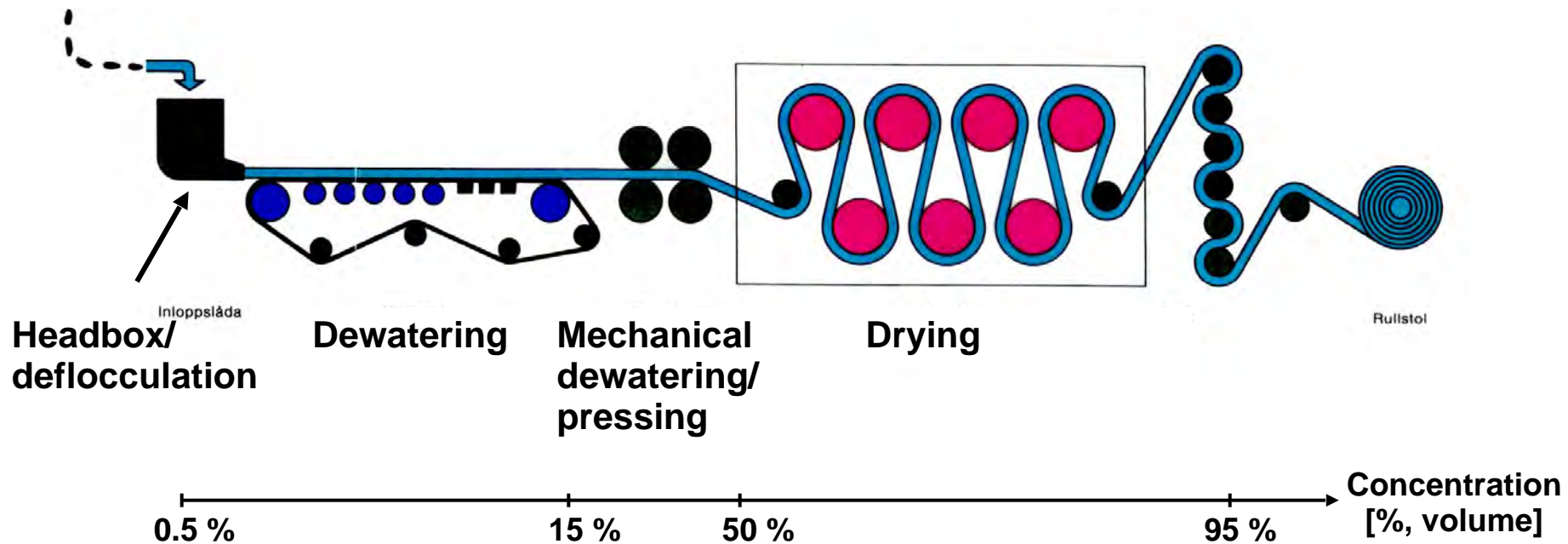
Rivbeteendet i de två riktningarna var olika för att:

1. Pappersbitarna ej är kvadratiska
2. Man river inte på samma sätt i båda riktningarna
3. Rivet går längs den dominerande fiberriktningen
4. Ingen eller flera av alternativ 1-3.

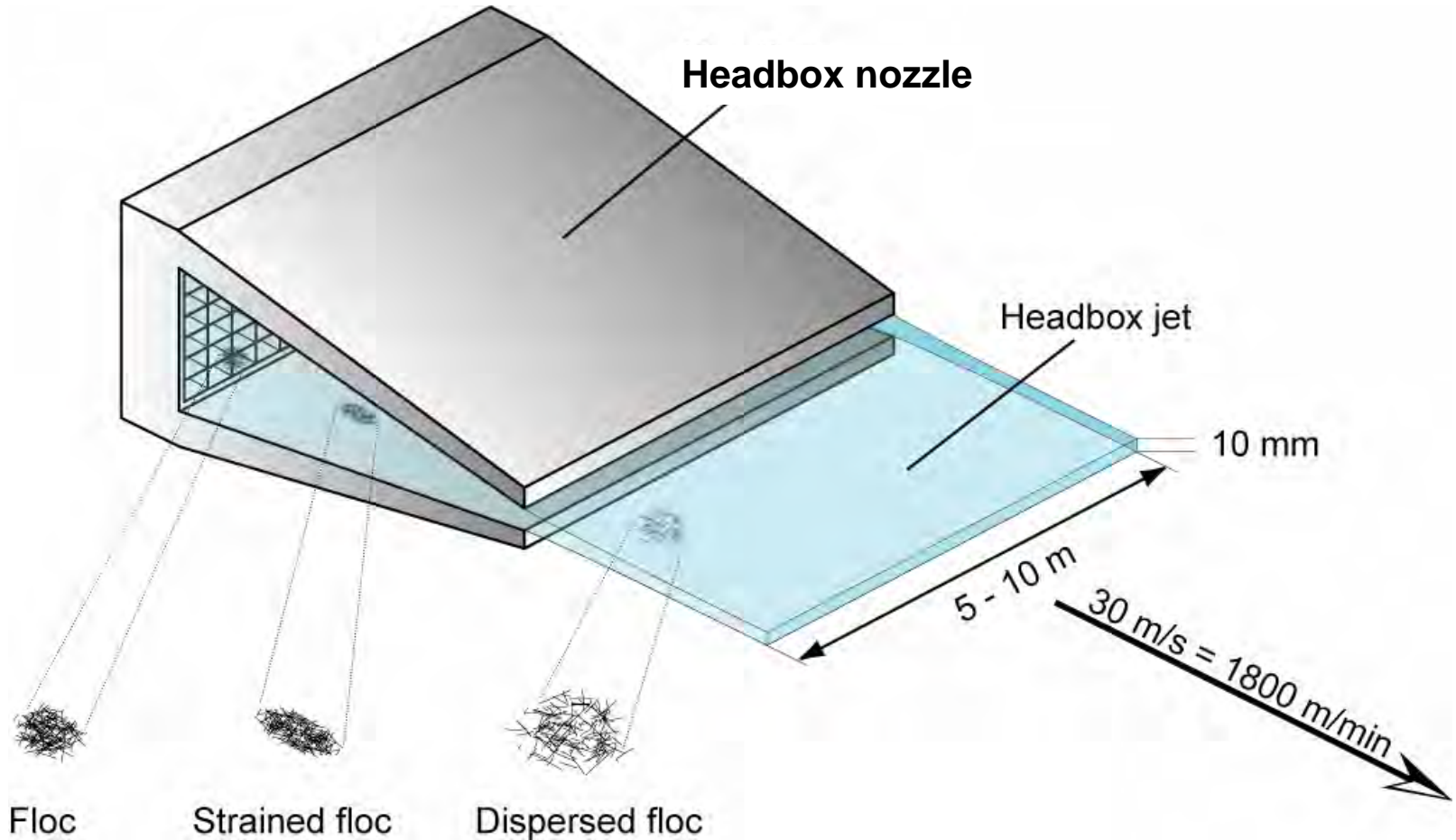
**Gå in på www.menti.com
Ange koden 23 81 98 3**

Pappersprocessen

Papperstillverkning sker vid de koncentrationer som anges nedan:



Inloppslåda: målet är att få en jämn fiberfördelning på viran

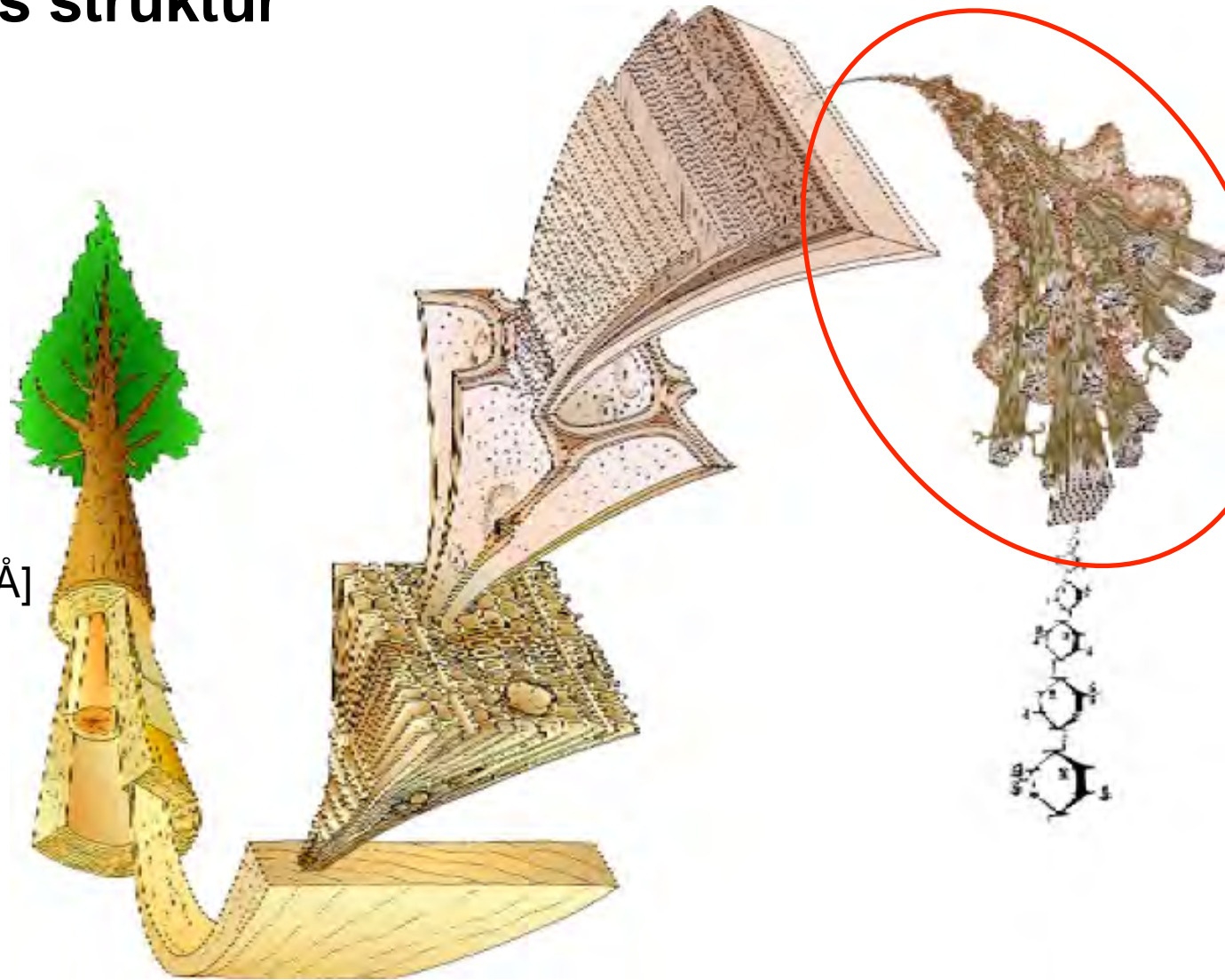


Vi kan nu alltså vissa produkttegenskaper till inloppslådan!



Ett träds struktur

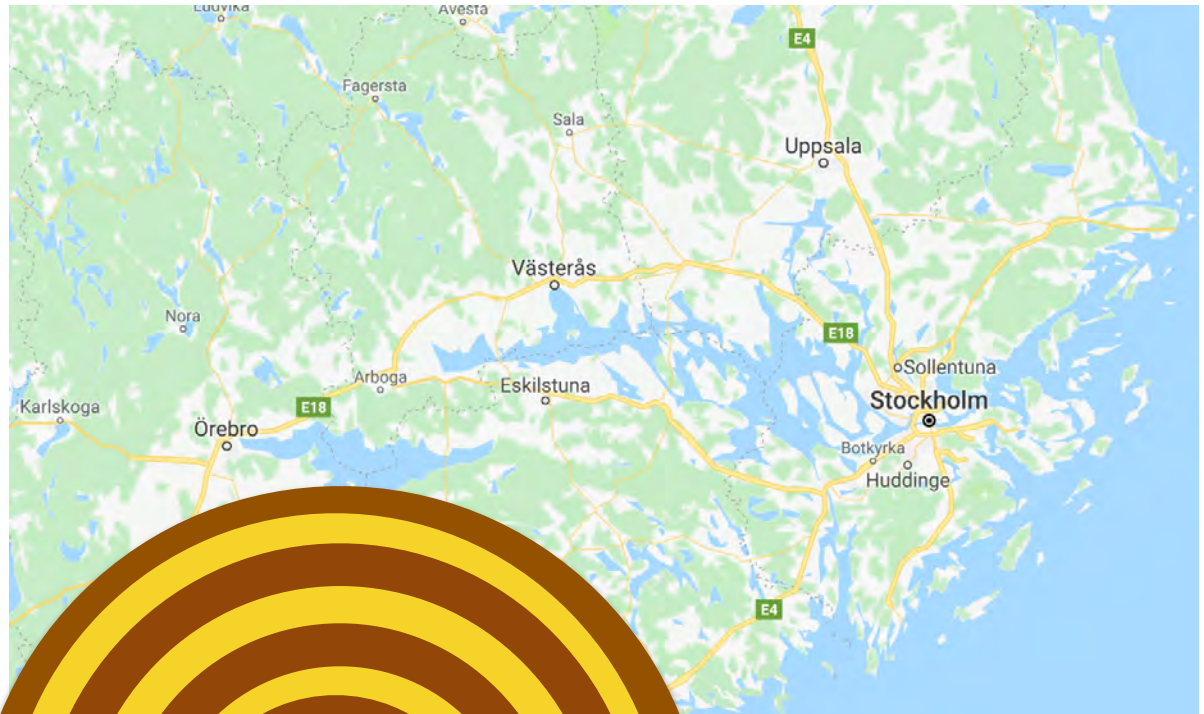
1. Träd, [m]
2. Planka, [dm]
3. Årsring, [cm]
4. Träfiber, [mm]
5. Fibervägg, [μm]
6. Nanofibriller, [nm]
7. Cellulosamolekyler, [\AA]



**Om nanofibrillen vore
ett spagettistrå så vore trädet:**



Om nanofibrillen vore ett spagettistrå så vore trädet:



väldigt stort!

Närbild på cellulosaafiber med cellulosa nanofibriller (CNF)

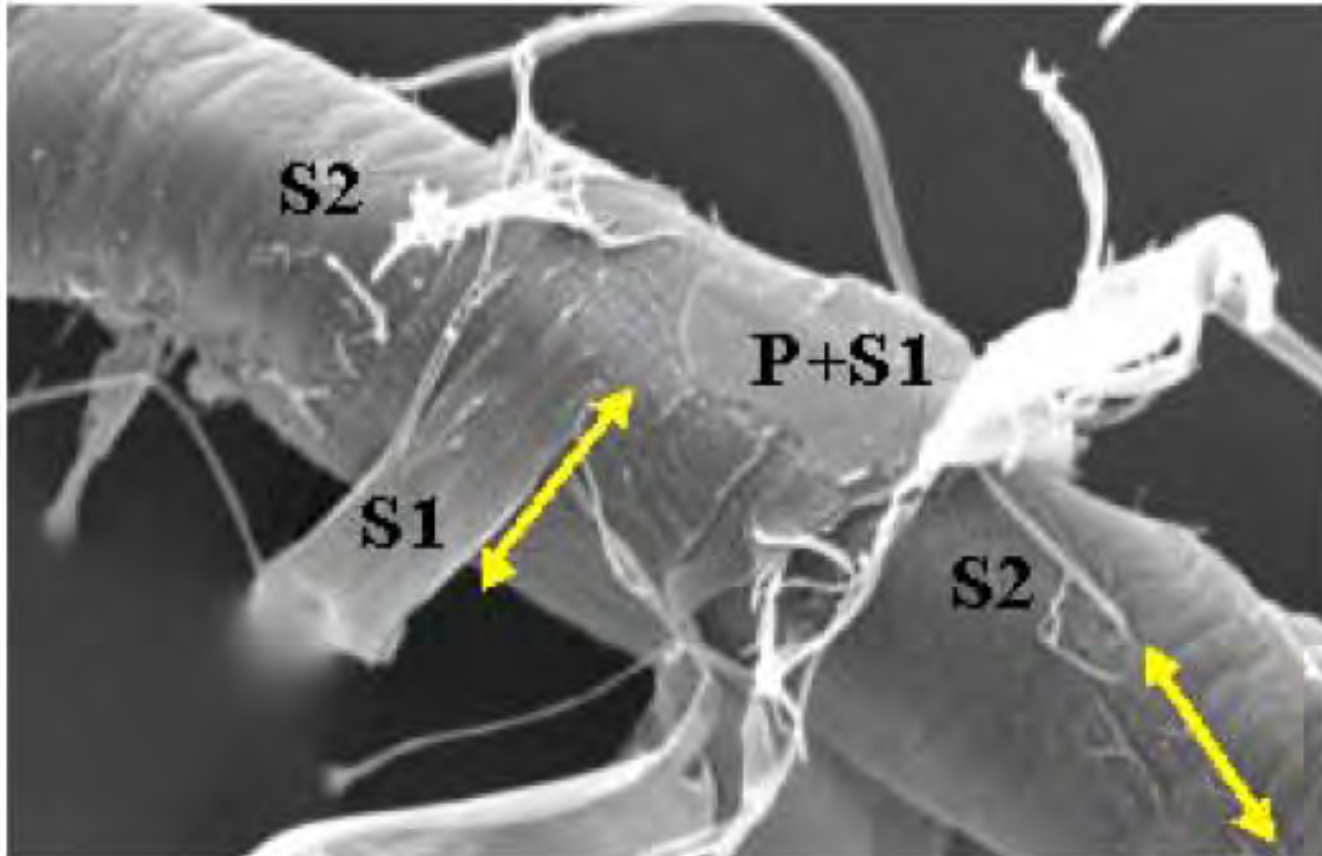
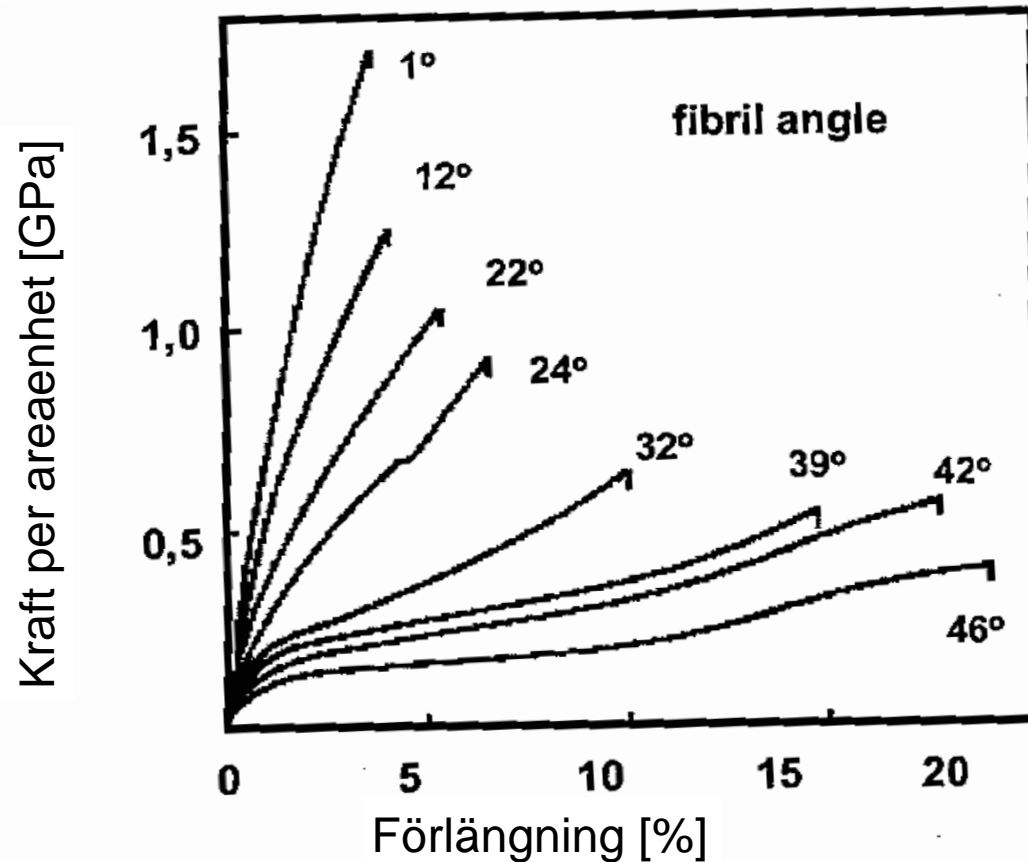
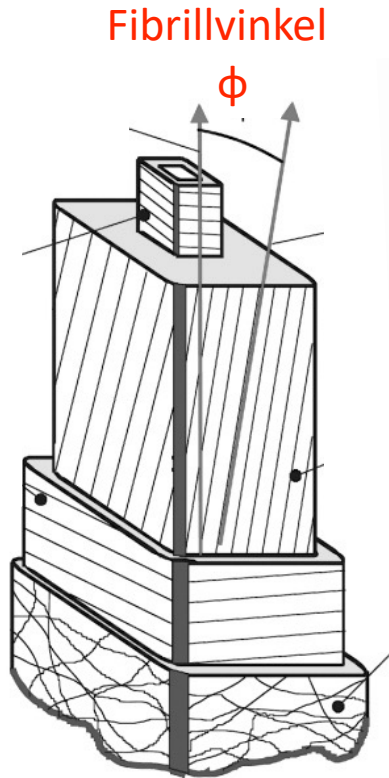
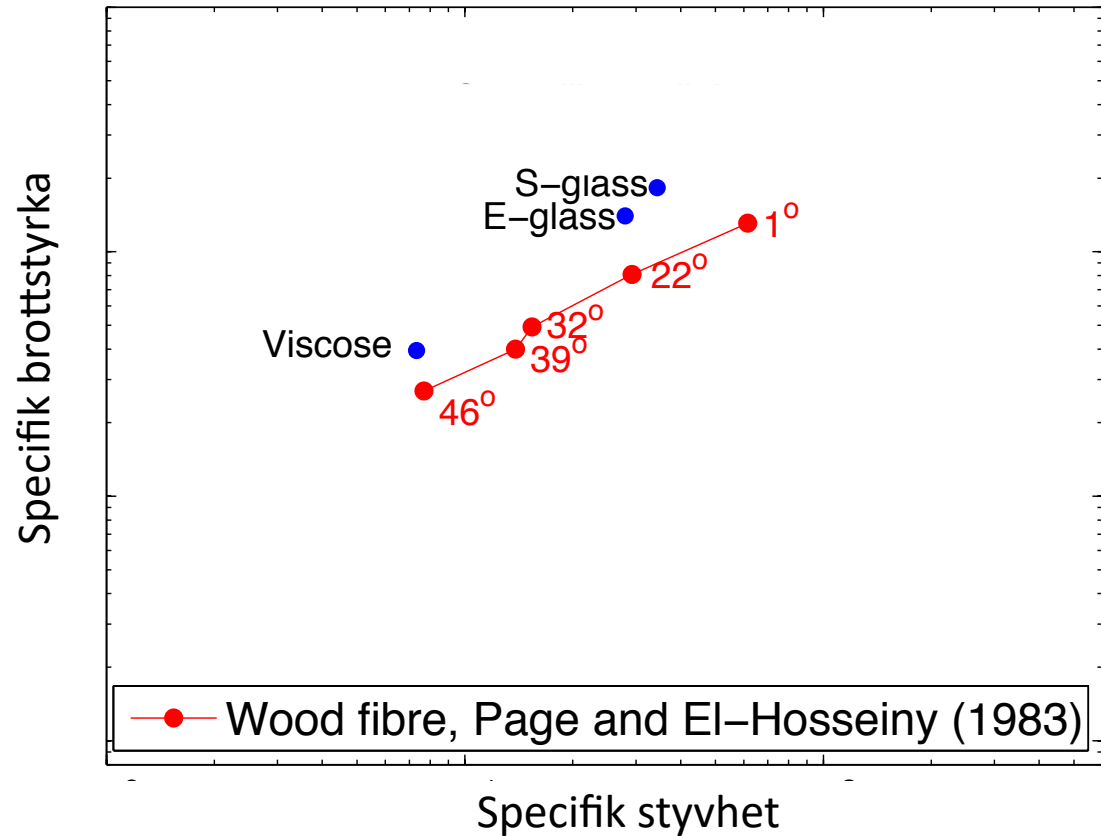
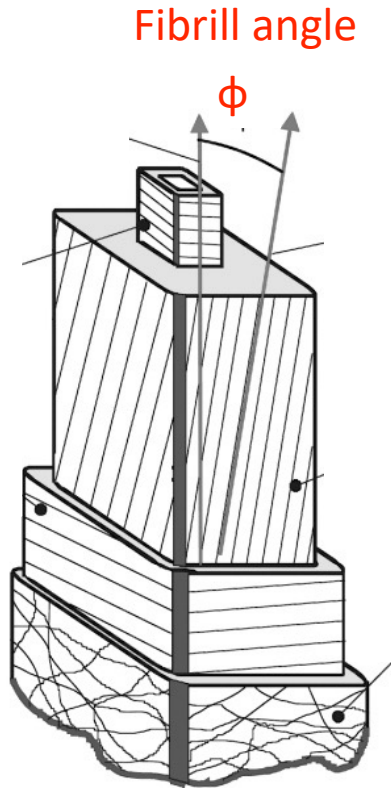


Bild: Lennart Salmén

Fiberegenskaper beror på fibrillvinkel



Viktiga materialegenskaper: Styrka och styvhet



Vision



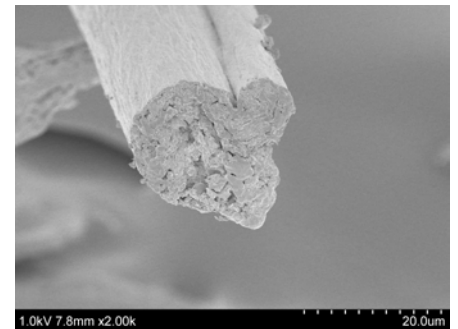
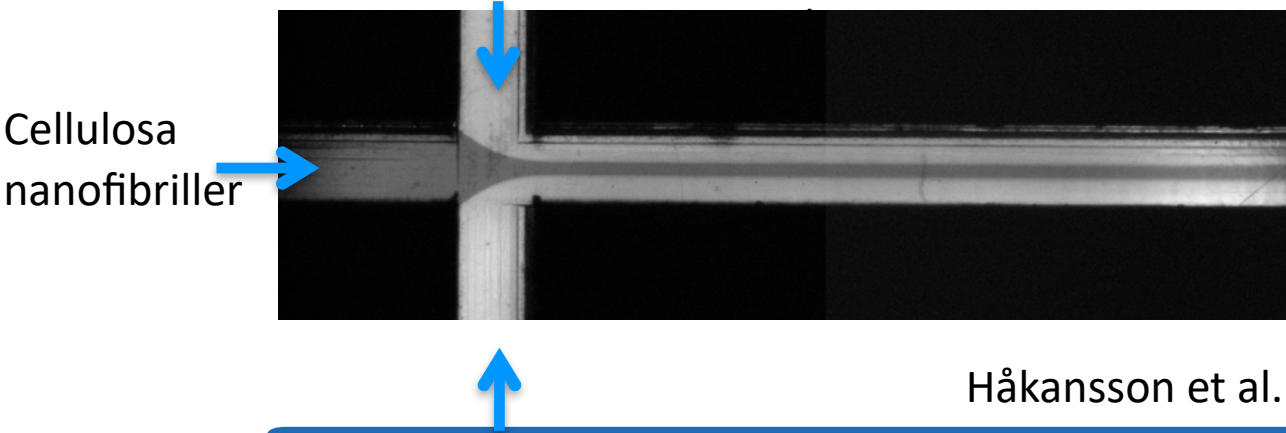
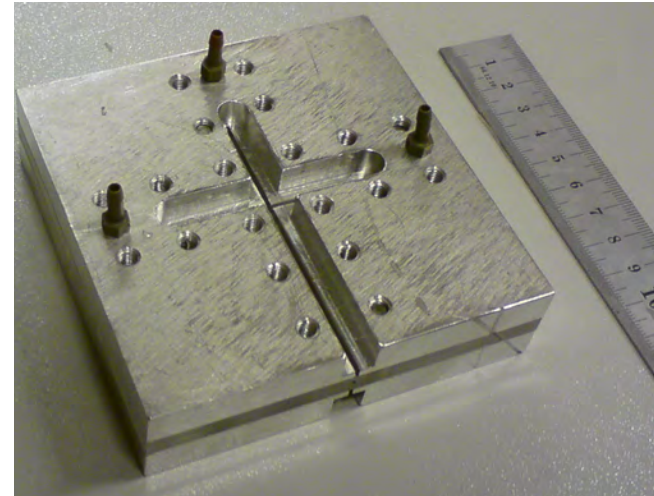
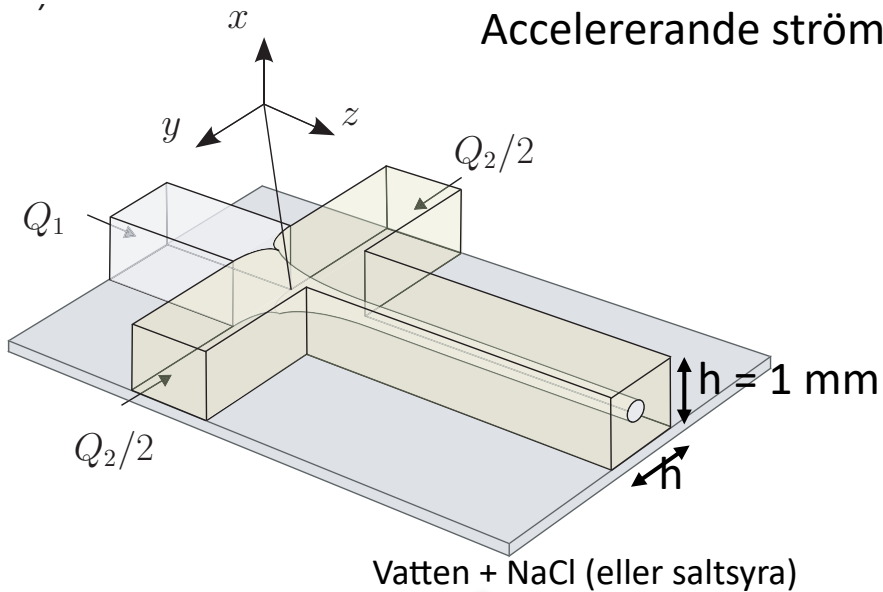
Vision



Cellulosans återkomst i high-tech tillämpningar!

Ett alternativ: strömningsfokusering

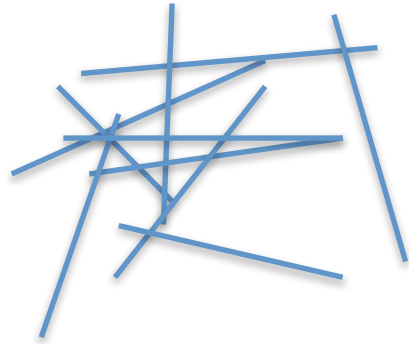
Accelererande strömning linjerar upp fibrillerna!



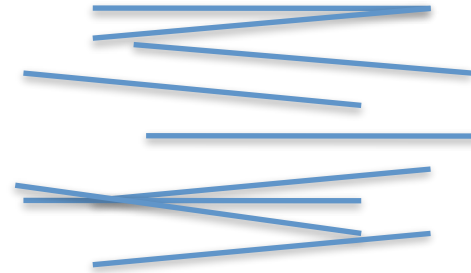
Håkansson et al. *Nature Communications* (2014)

Accelerationen linjerar upp fibrillerna

Ingen upplinjerig, mörkt



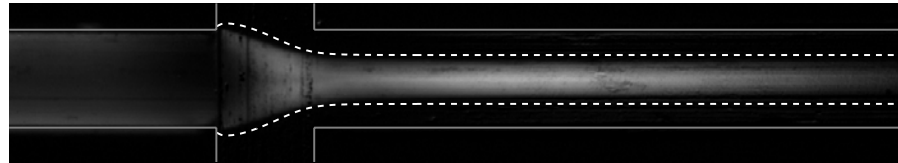
Upplinjerat, ljust



H₂O



0.3% CNF

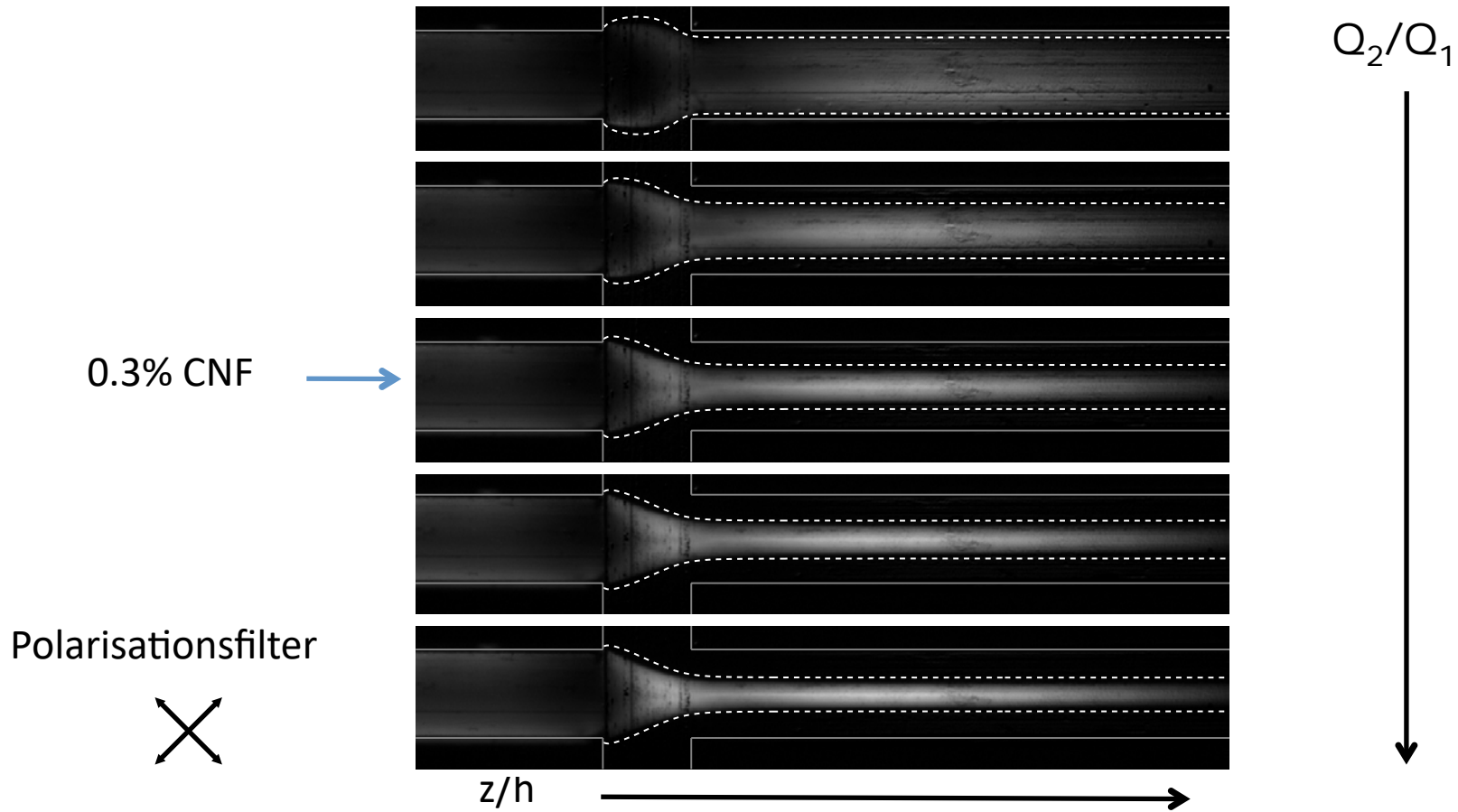


Polarisationsfilter



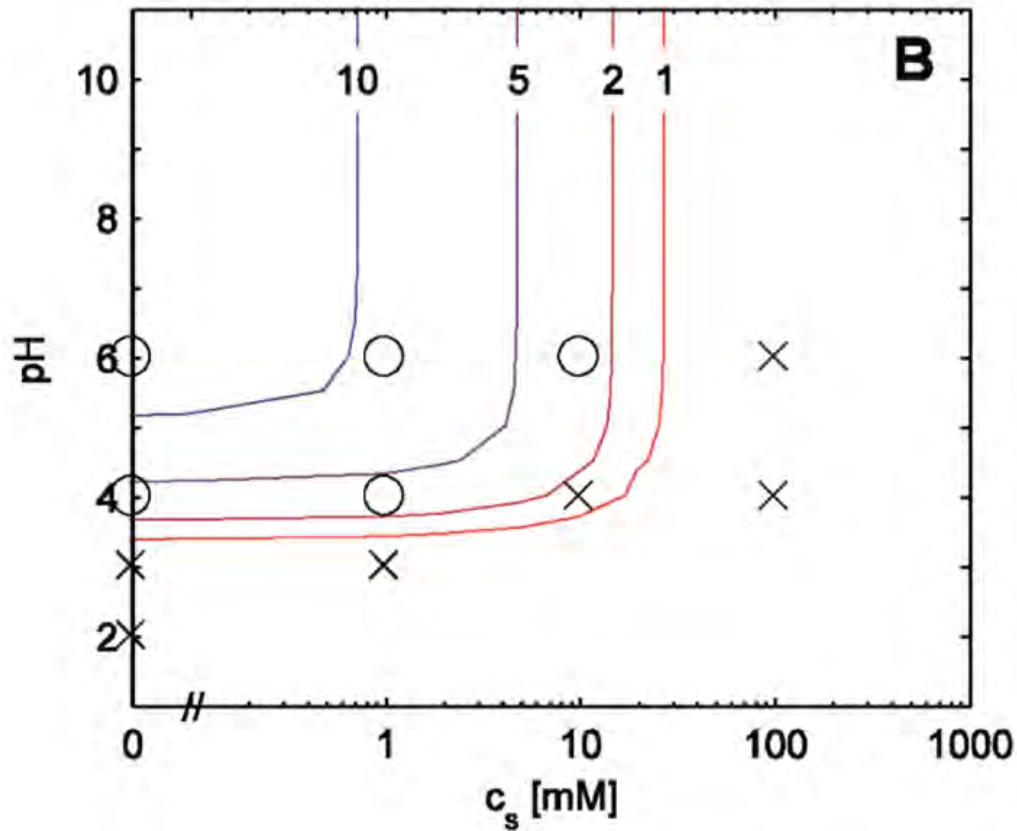
H₂O

Accelerationen linjerar upp fibrillerna



Dispersion-gel transition kontrolleras med salt eller syra

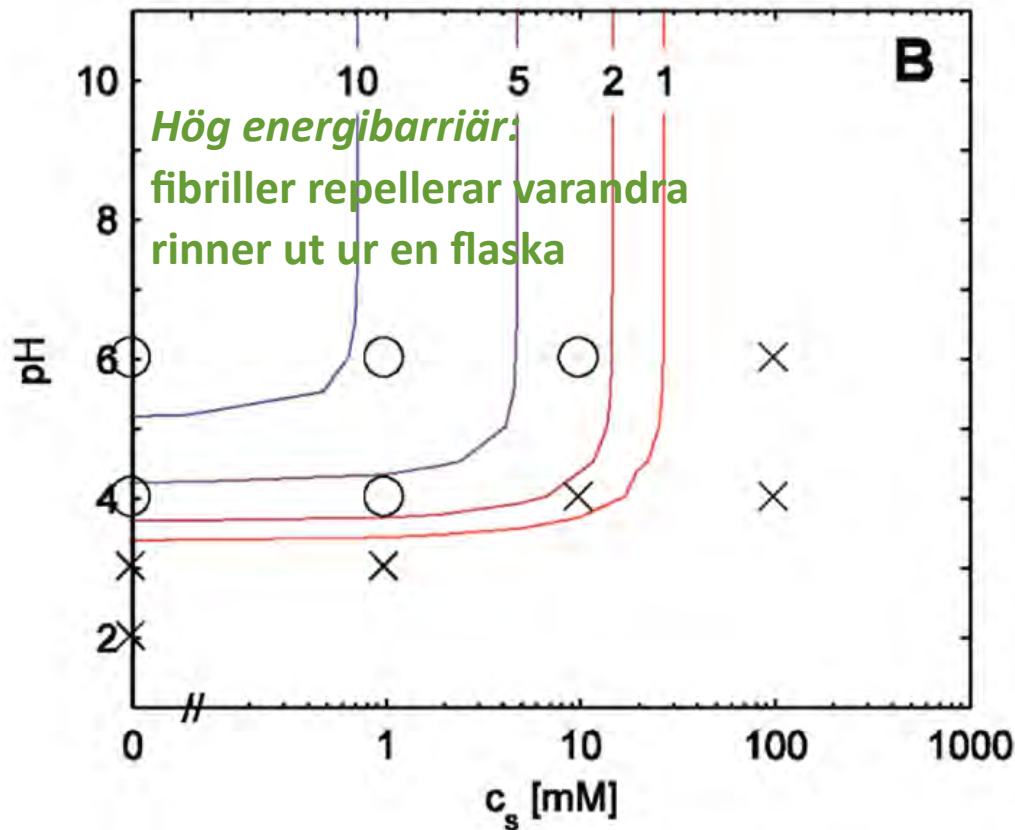
Energibarriär vs. pH och salthalt



Fall et al. *Langmuir* (2011)

Dispersion-gel transition kontrolleras med salt eller syra

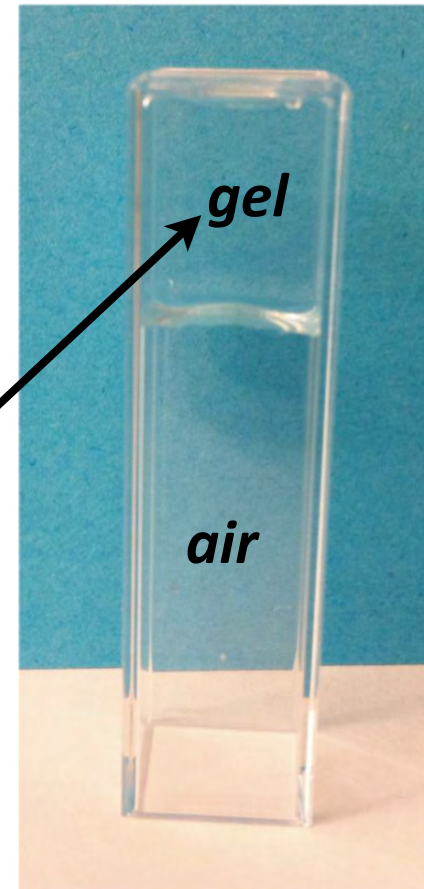
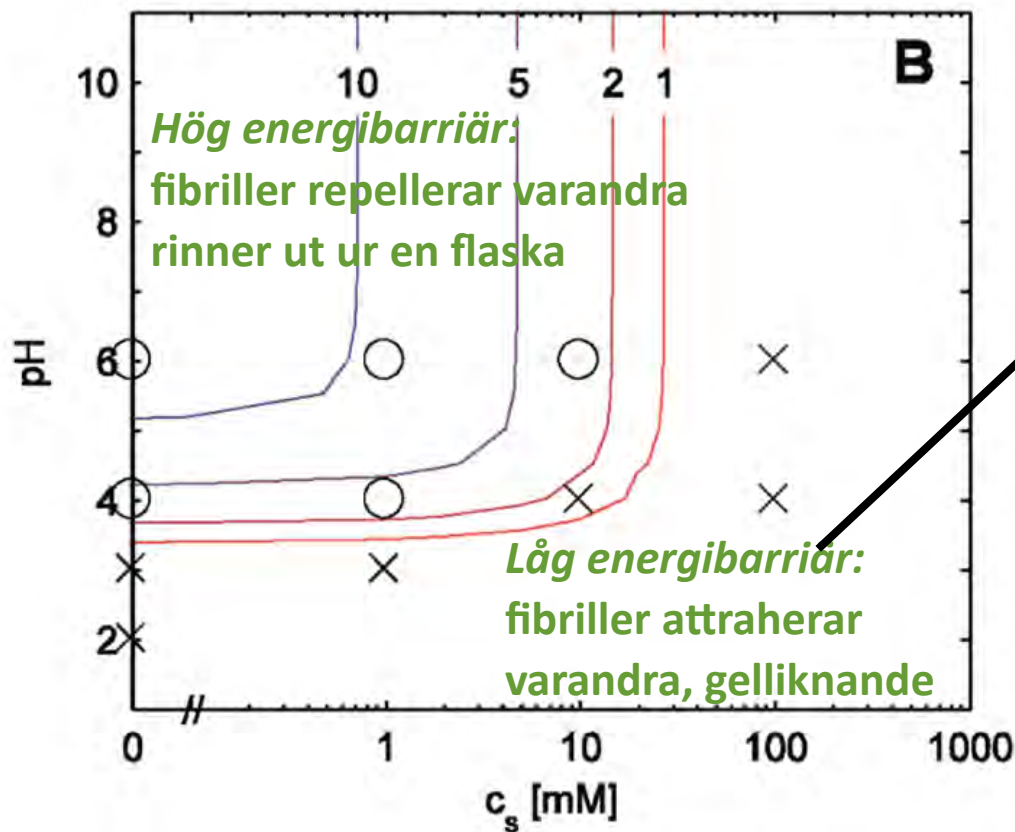
Energibarriär vs. pH och salthalt



Fall et al. *Langmuir* (2011)

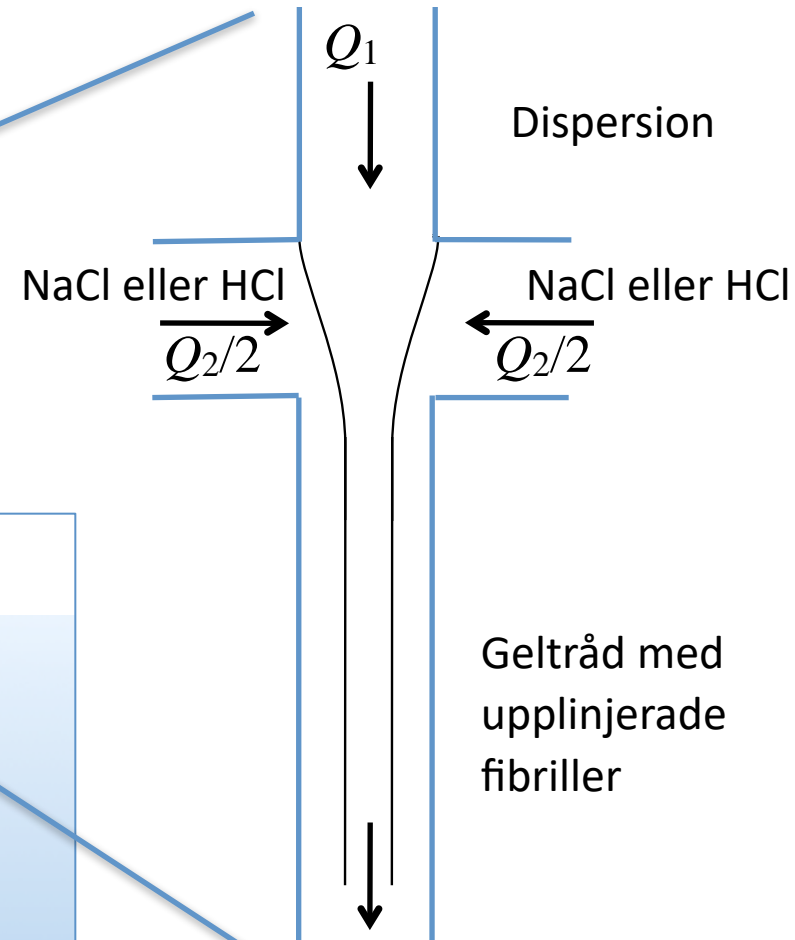
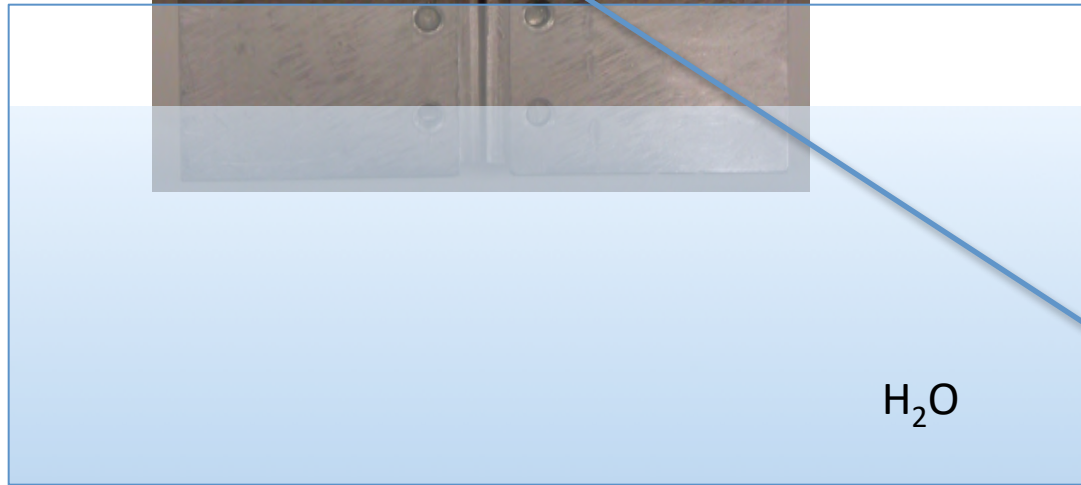
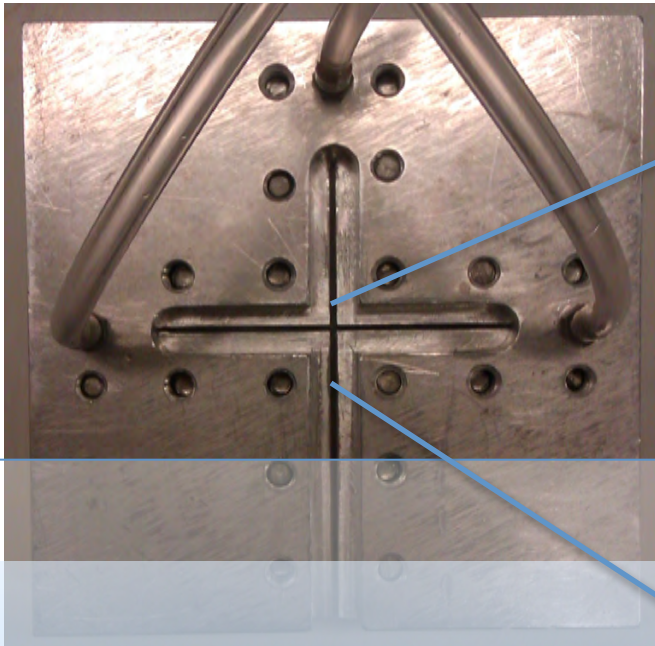
Dispersion-gel transition kontrolleras med salt eller syra

Energibarriär vs. pH och salthalt



Fall et al. *Langmuir* (2011)

Tillverkningsprocess

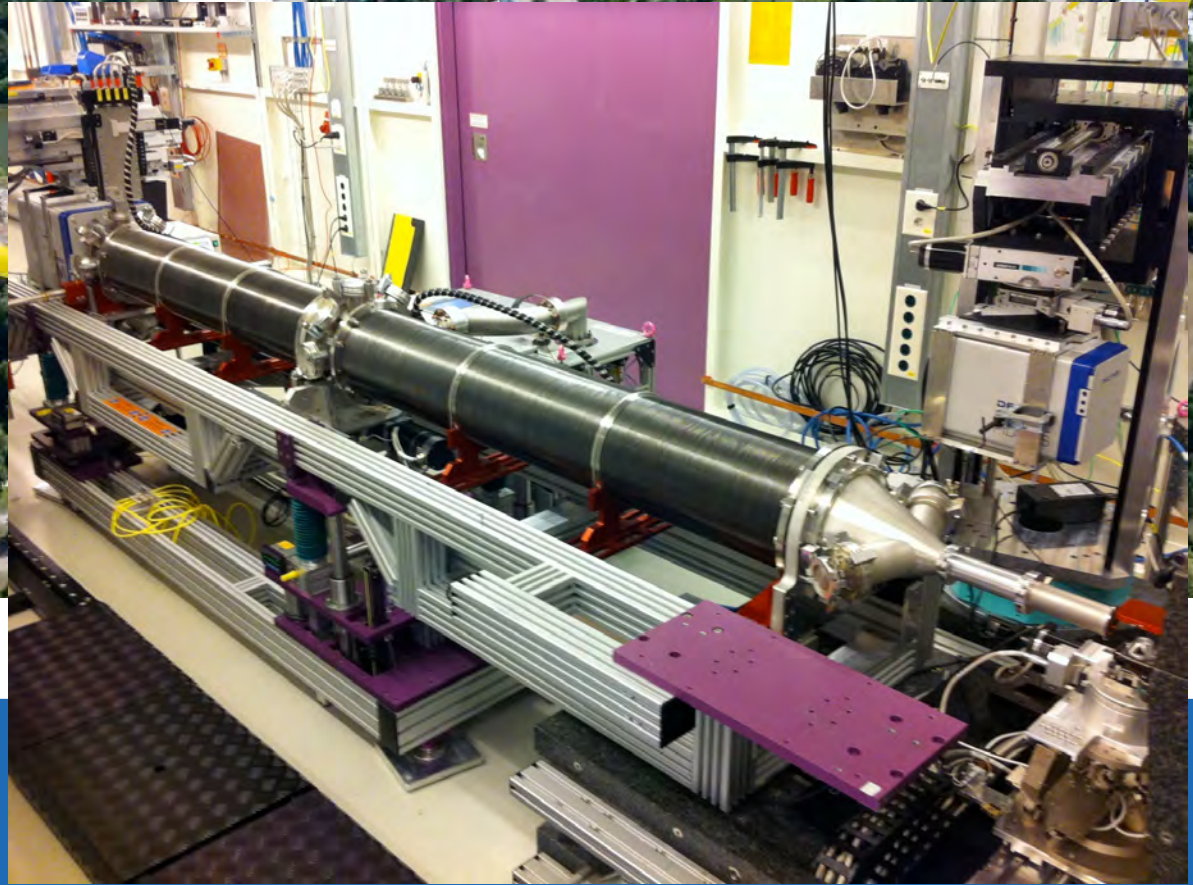


US Patent 10132005

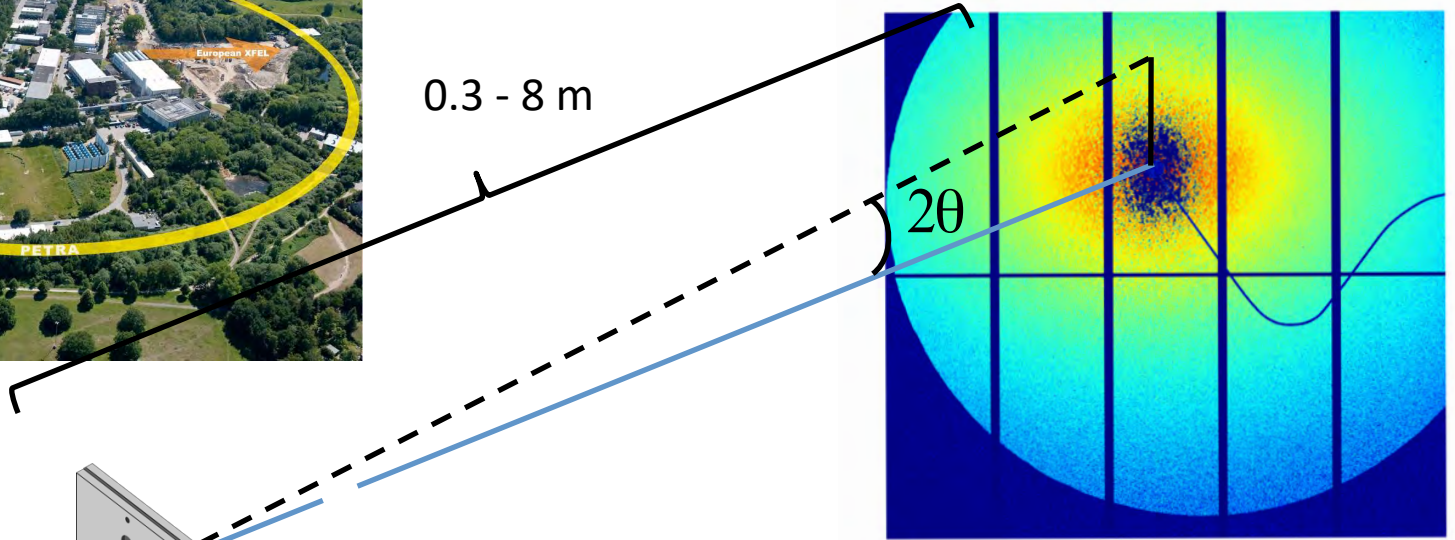
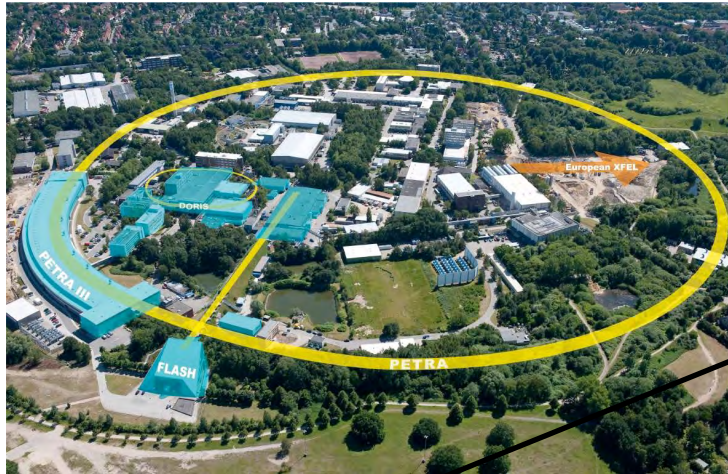
Röntgenljus från synkrotronen PETRA III i Hamburg



Röntgenljus från synkrotronen PETRA III i Hamburg



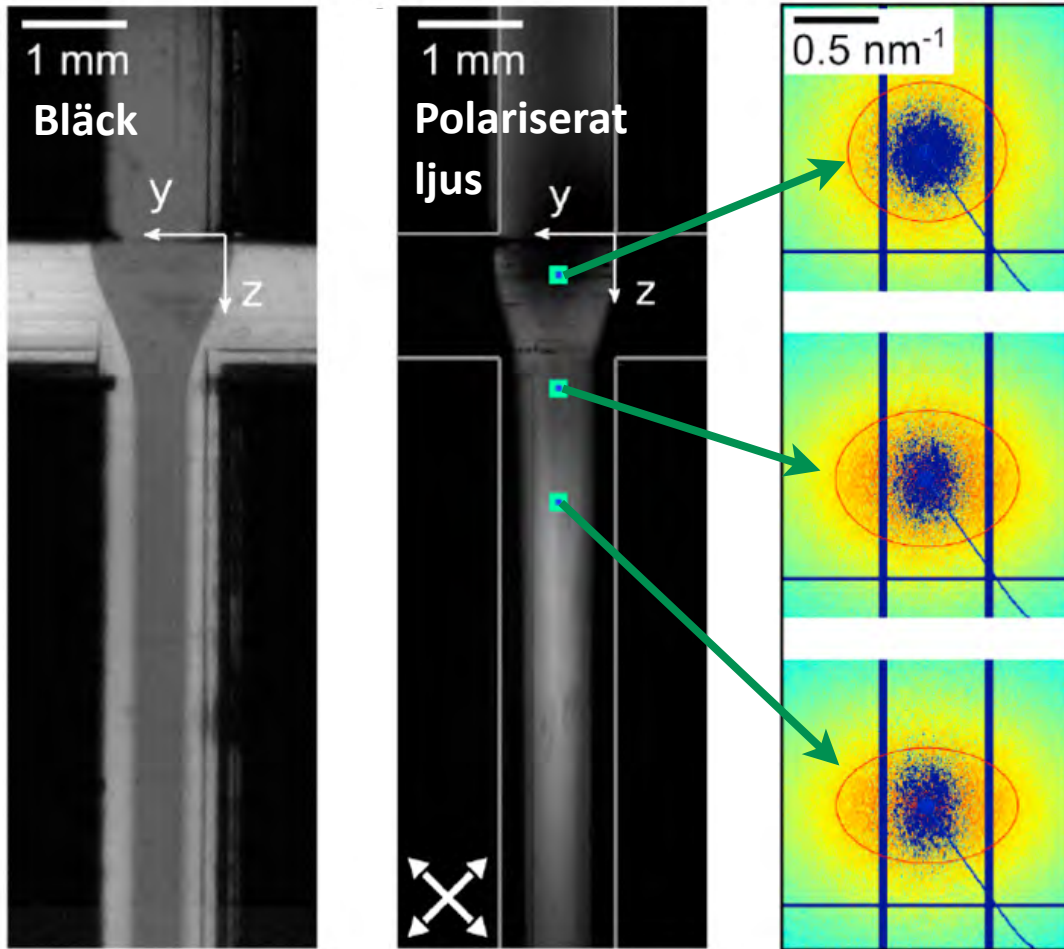
Spridningsexperiment avslöjar fibrillorientering



0.3 m: Wide Angle X-ray Scattering, **WAXS**
8 m: Small Angle X-ray Scattering, **SAXS**

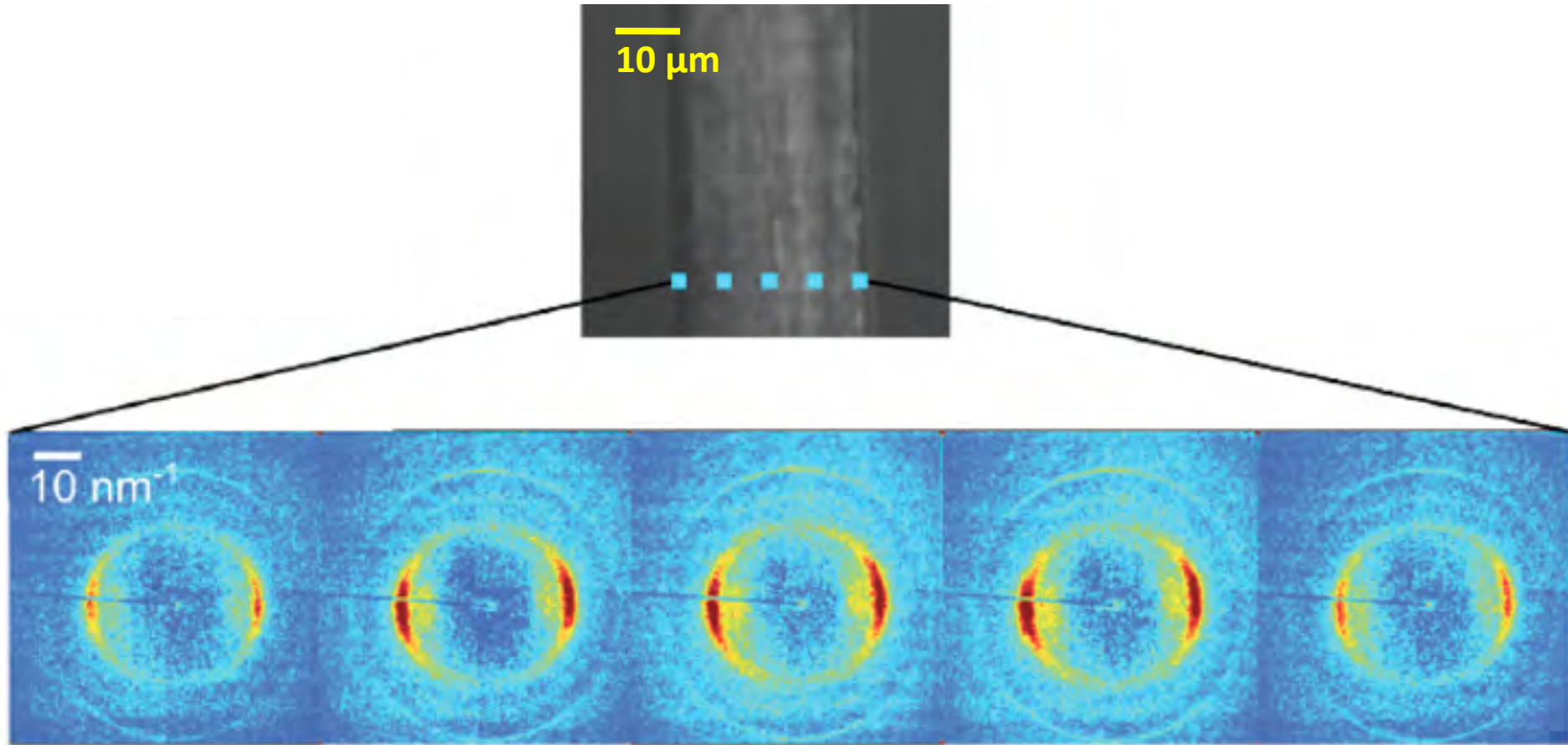
röntgenstråle

Upplinjeringen i kanalen kan mätas med röntgen



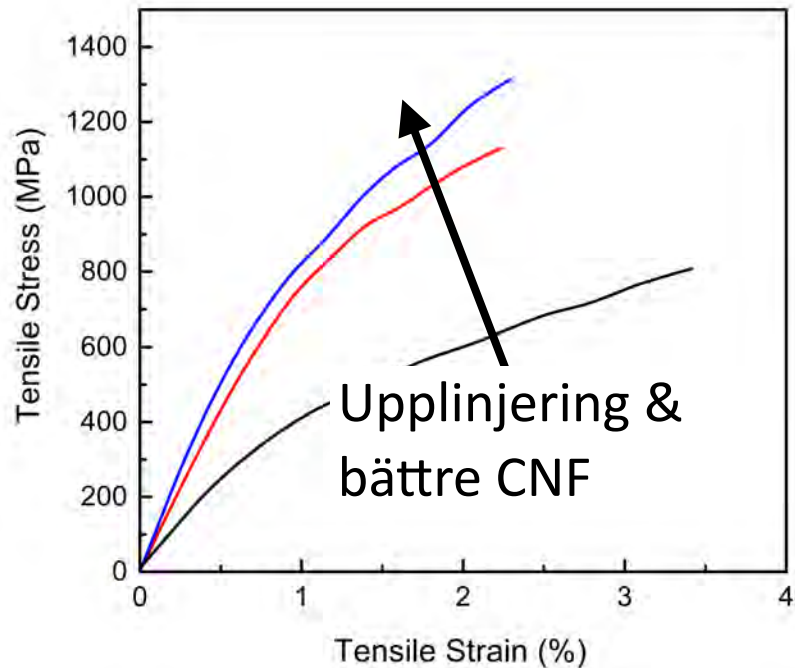
**Spridningsmönstret
deformeras tack var
upplinjering!**

Fibrillerna är orienterade längs filamentet!

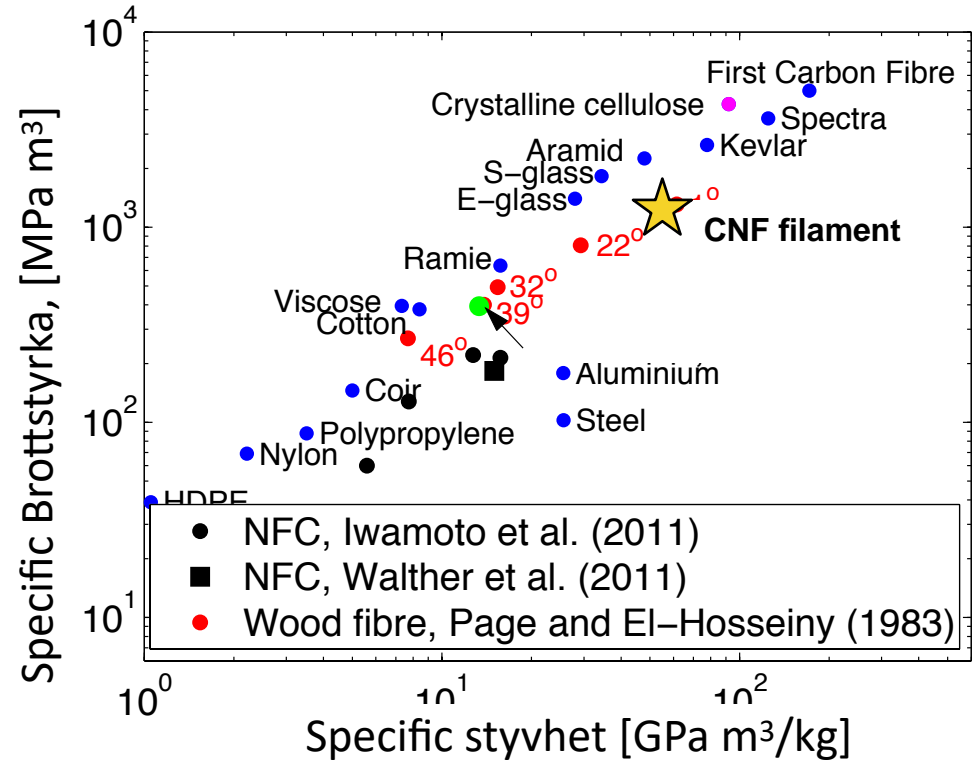


Mycket goda mekaniska egenskaper

Dragprov



Mittal *et al.* (ACS Nano)



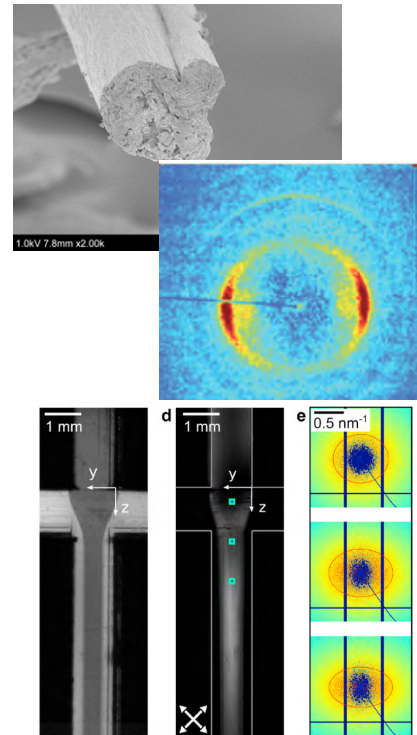
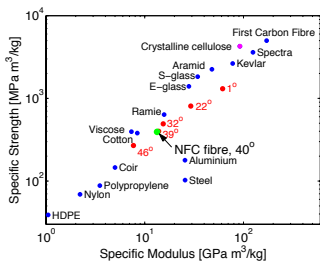
Sammanfattning och fortsättning

Papperstillverkning inspirerar till processer för nya nanomaterial

Det går att göra cellulosafilement med utmärkta egenskaper

Detaljerad kunskap om processen är nödvändig för att göra riktigt bra filament från biologiska fibriller

Vi utvecklar denna kunskap genom att kombinera beräkningar och synkrotronexperiment



Tack för uppmärksamheten och tack till finansiärer och samarbetspartners:

Kungliga Tekniska Högskolan (KTH)
Chalmers Tekniska Högskola (CTH)
Innventia AB
Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY)
Wallenberg Wood Science Center (WWSC)
Linné FLOW Centre

KTH Mechanics:

Prof. D. Söderberg
Dr. L. Prahl Wittberg
Dr. M. Kvick
Dr. Tomas Rosén
Dr. Nitesh Mittal
Ayaka Kamada

DESY Hamburg:

Prof. S. V. Roth
Dr. S. Yu
Dr. G. Santoro
Dr. C. Krywka
Wiebke Ohms

KTH Fibre & Polymer Technology:

Prof. L. Wågberg
Prof. L. Berglund
Prof. M. Hamedi

CTH Polymeric Materials & Composites:

Prof. M. Rigdahl

RISE:

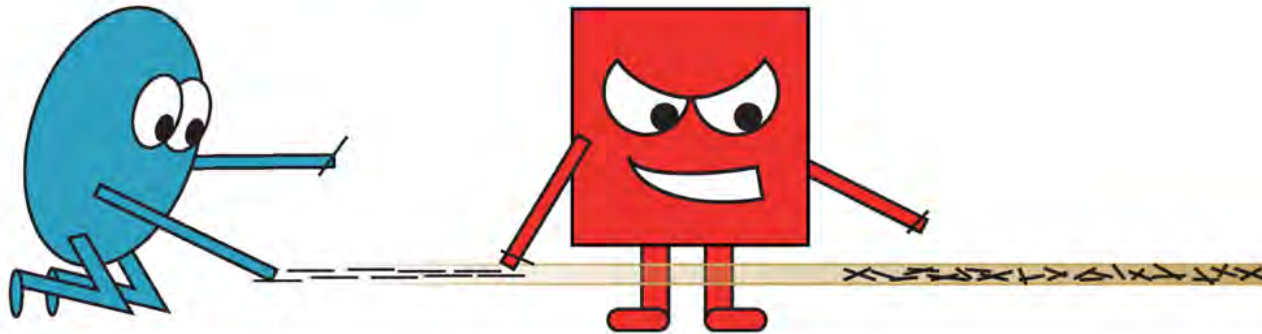
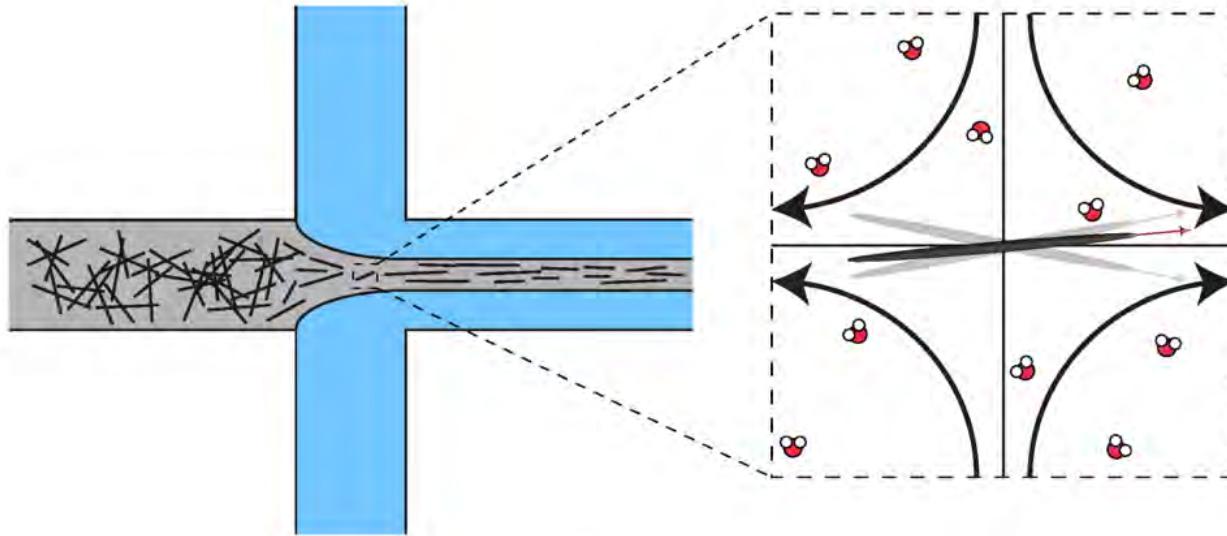
Dr. K. Håkansson
Dr. A. Fall
Prof. T. Lindström
Dr. C. Aulin

**RI
SE**

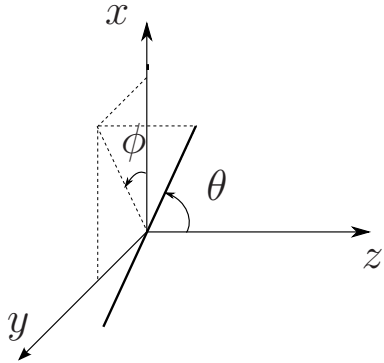
FLOW



Upplinjering mot diffusion



Finns matematiska modeller för upplinjerig:

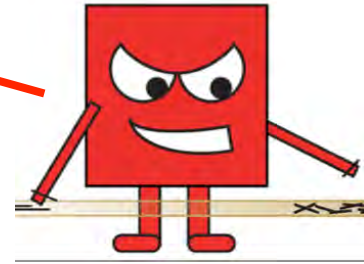


1D Smoluchowski-ekvation:

$$w^* \frac{\partial \Psi}{\partial z^*} = \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\hat{D}_r^* \sin \theta \frac{\partial \Psi}{\partial \theta} - \sin \theta \dot{\theta} \Psi \right)$$

Ordningsparameter:

$$S = \int_0^\pi \Psi(\theta) \left(\frac{3}{2} \cos^2 \theta - \frac{1}{2} \right) \sin \theta d\theta \int_0^{2\pi} d\phi$$



Rotationsdiffusionskoefficient, Doi & Edwards (1986):

$$\hat{D}_r = \frac{3k_B T (2 \ln(2r_p) - 1)}{16\pi\eta_s a^3} \beta (nl^3)^{-2} \left[\frac{4}{\pi} \int d\mathbf{p}' |\mathbf{p}' \times \mathbf{p}'| \Psi_s(\mathbf{p}') \right]^{-2}$$

Brownsk diffusion

Konc.

Orientering

Vinkelhastighet i biaxialt töjflöde (Jeffery 1922)

$$\dot{\theta} = \frac{\partial \theta}{\partial t^*} = - \frac{\partial w^*}{\partial z^*} \left(\frac{r_p - 1}{r_p + 1} \right) \frac{3}{2} \cos \theta \sin \theta$$

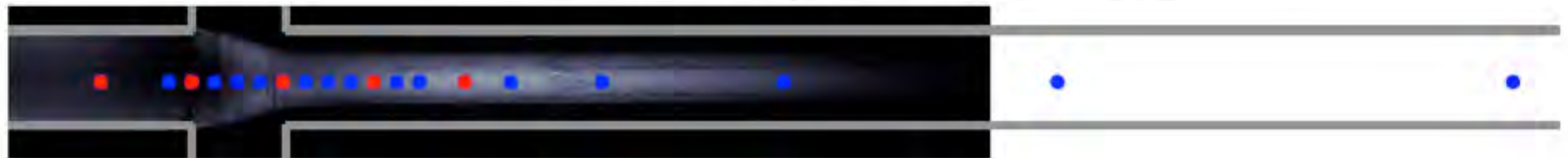
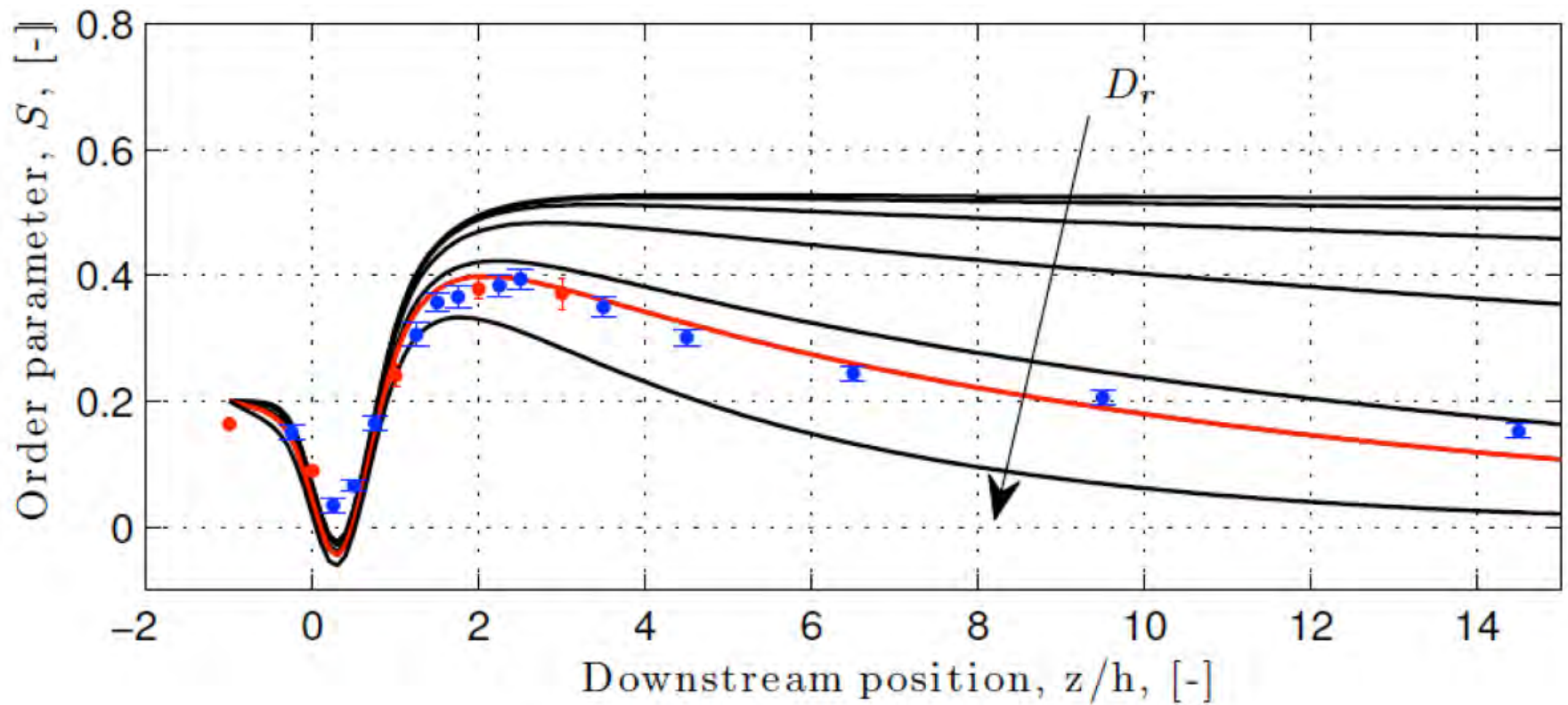
Rotationsdiffusionskoefficient: \hat{D}_r^*

Slankhet: r_p

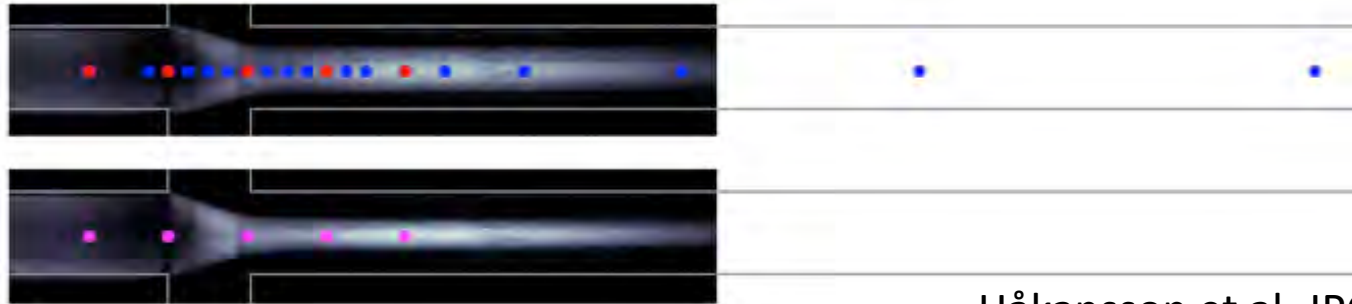
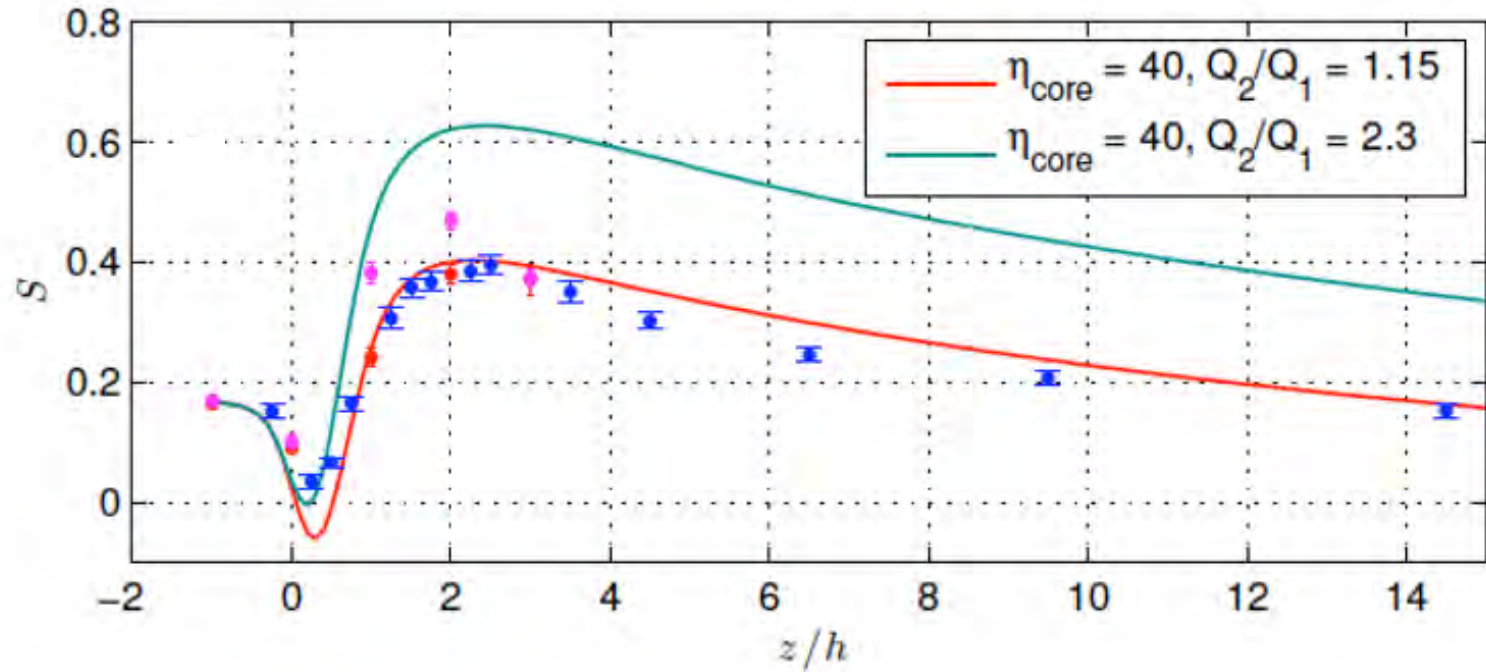
Flödes hastighet: w

Orienteringsfördelning: Ψ

Modellerad och mätt upplinjerung



Ökad acceleration -> ökad upplinjering?



Håkansson et al. JPCB 2016

Filament från vassleprotein

