Optimering af multifysisk-systemer

DANSIS, 29. marts 2006, DTU

Fridolin Okkels, Laurits H. Olesen, og Henrik Bruus

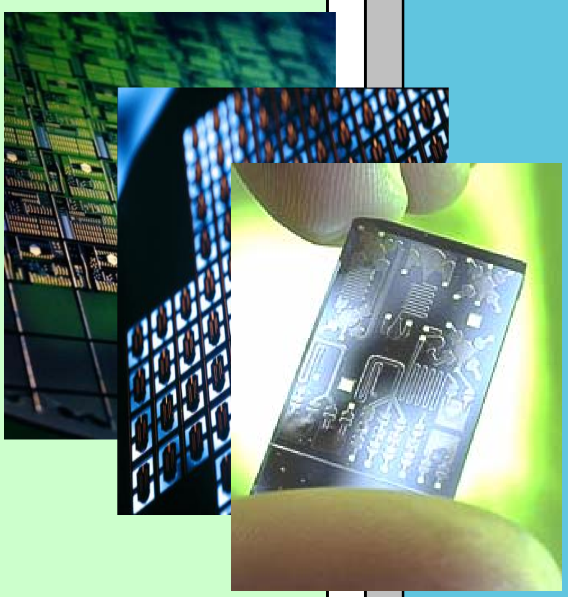
MIC – Institut for Mikro- og Nanoteknologi
Danmarks Tekniske Universitet

www.mic.dtu.dk/research/MIFTS

Micro-Fluidics Theory and Simulation (MIFTS)

DANCHIP

Rentrum



MIC, DTU

Bio/Chemical MicroSystems

MEMS

NanoSystems Engineering

MIFTS

- Elektrohydrodynamik
- Elektro-osmotiske pumper
- Magnetophoresis
- Partikel transport og sortering
- Topologi optimering

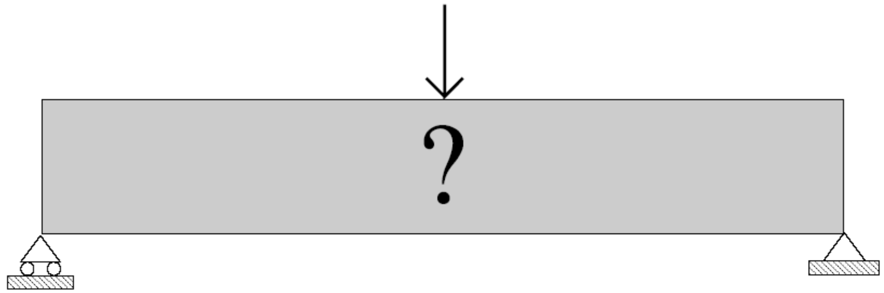
Optimering af fluide kanal-netværk

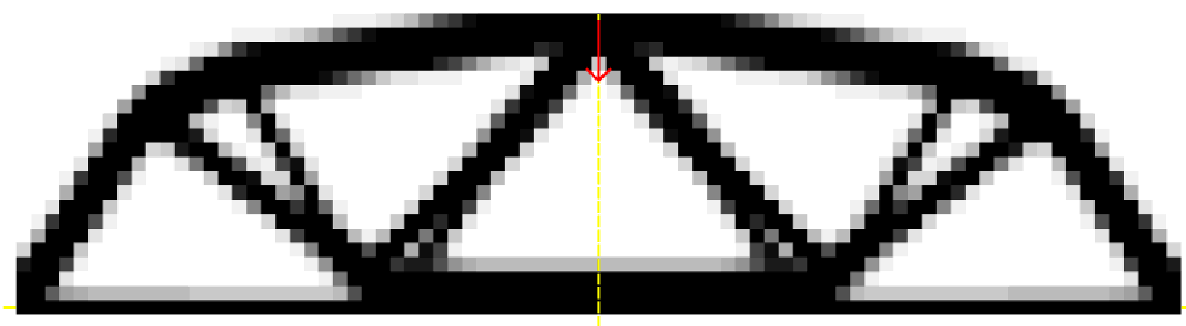
Hvilken form?

Topologi Optimering!

Grundlæggende (topologi-) optimering
Bærende strukturer (Bendsøe og Sigmund 1988-)

- **Inverse Problemer**
- **Tilpasse design-variablene (γ) for et problem, så mål-funktionen (Φ) minimeres, med givne begrænsninger.**



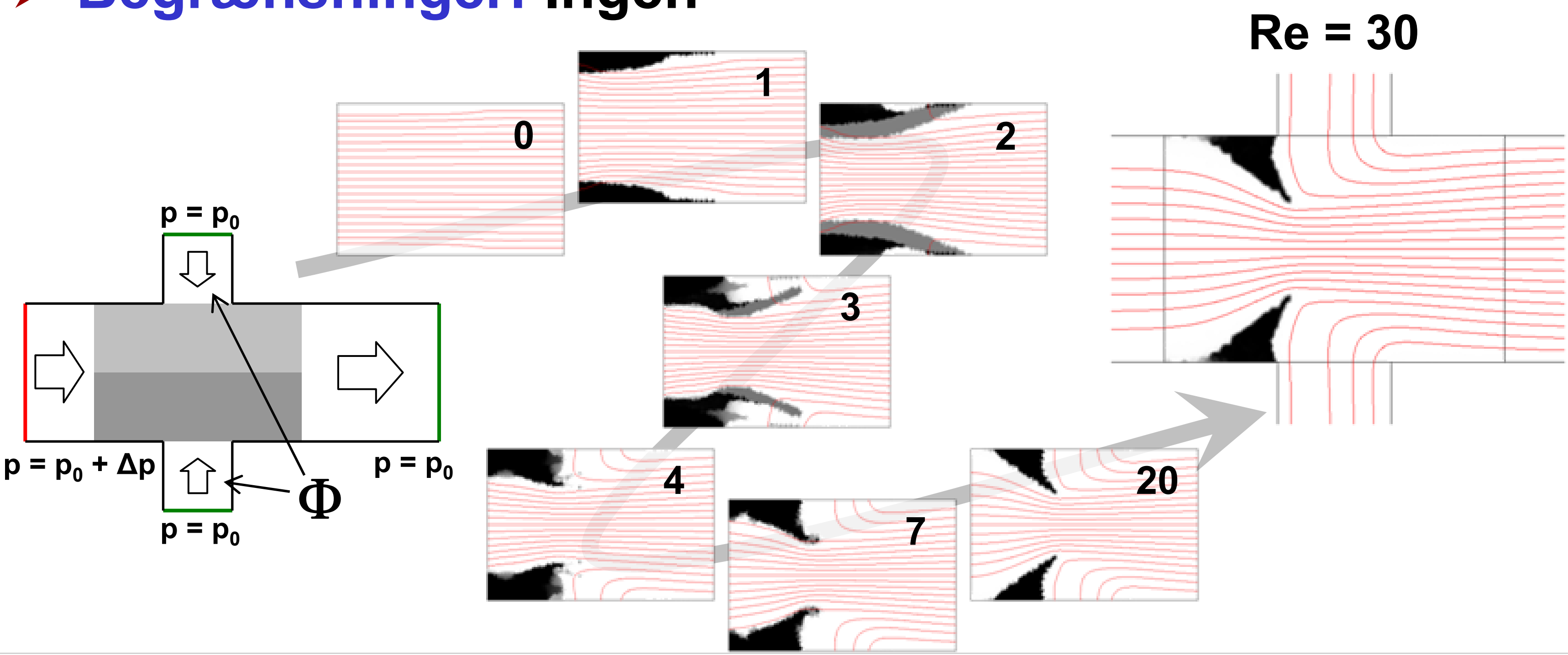


Topologi optimering af fluidik: Vakuum-pumpe

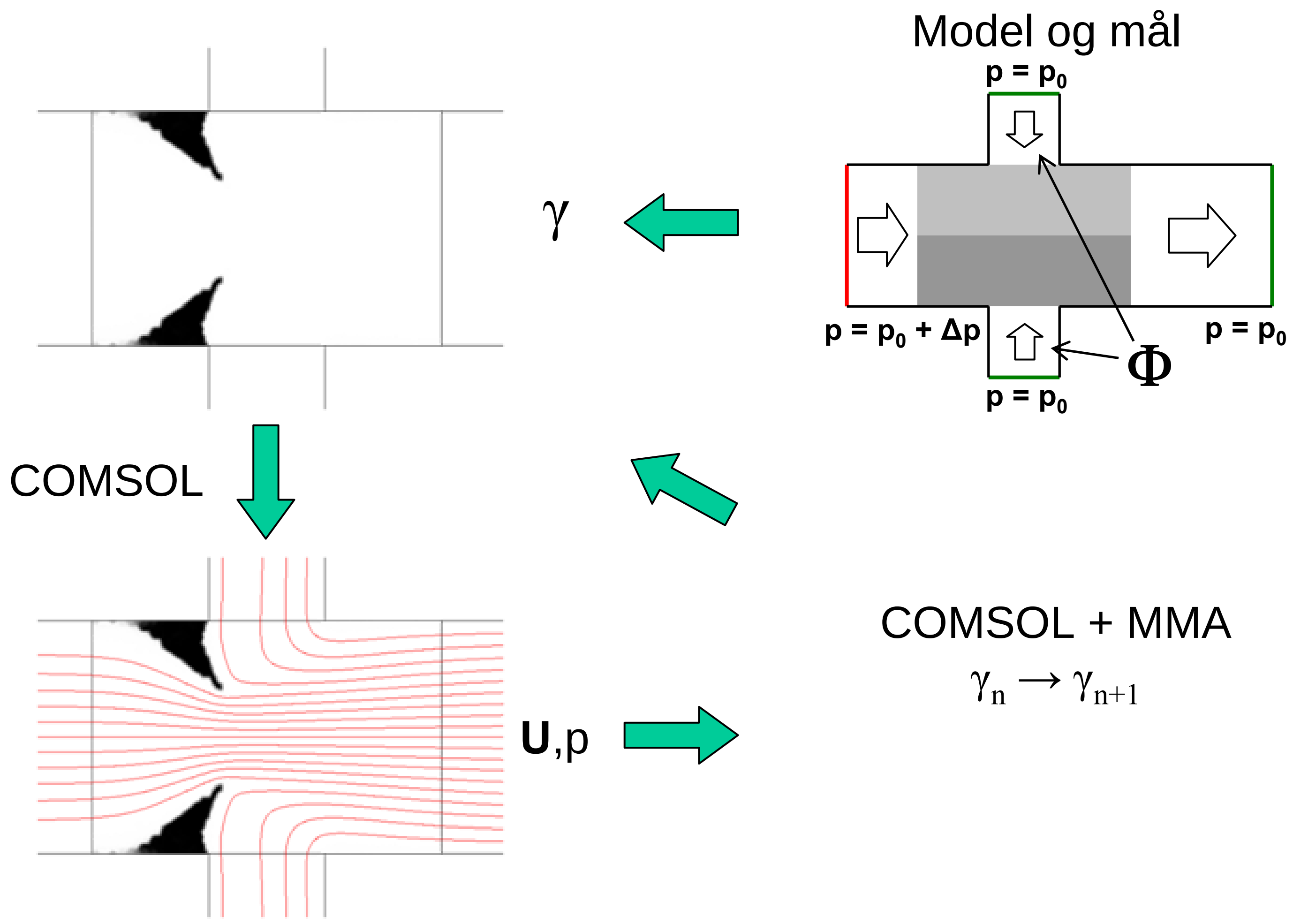
(Metoden introduceret af Borrvall & Petersson 2003)

- **Design-variablene ♑(r)**

  (0 = ingen porer → væg, 1 = ingen materiale → fluid)
- **Mål-funktion Φ : maksimere side-indstrømning**
- **Begrænsninger: Ingen**



Iterativ proces



Porøsitet som design variabel

Introduceret af Borrvall and Petersson for Stokes strømning (2003)

- **Diskret vs. kontinuert design problem:**
  antag porøst materiale med rumligt varierende permeabilitet

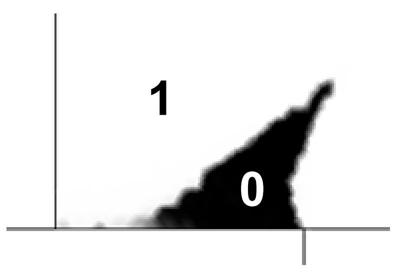
- **Stationær Navier-Stokes ligning med Darcy dæmpningsled**

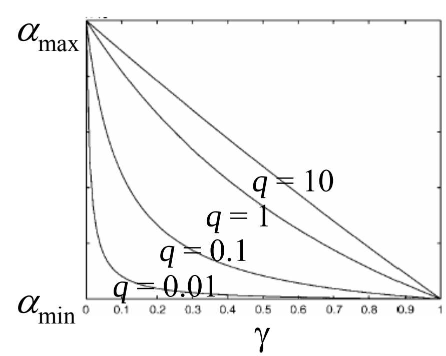
$$\rho(\mathbf{u}\cdot\boldsymbol{\nabla})\mathbf{u} = -\boldsymbol{\nabla} p + \eta\boldsymbol{\nabla}^2\mathbf{u} - \alpha(\gamma)\,\mathbf{u}$$
$$\boldsymbol{\nabla}\cdot\mathbf{u} = 0$$

- **Darcy dæmpnings koefficienten $\alpha(\mathbf{r})$ afhænger af design variablen $\gamma(\mathbf{r})$**

$$\alpha(\mathbf{r}) \equiv \alpha_{\min} + (\alpha_{\max} - \alpha_{\min})\,\frac{q\left[1-\gamma(\mathbf{r})\right]}{q+\gamma(\mathbf{r})}$$

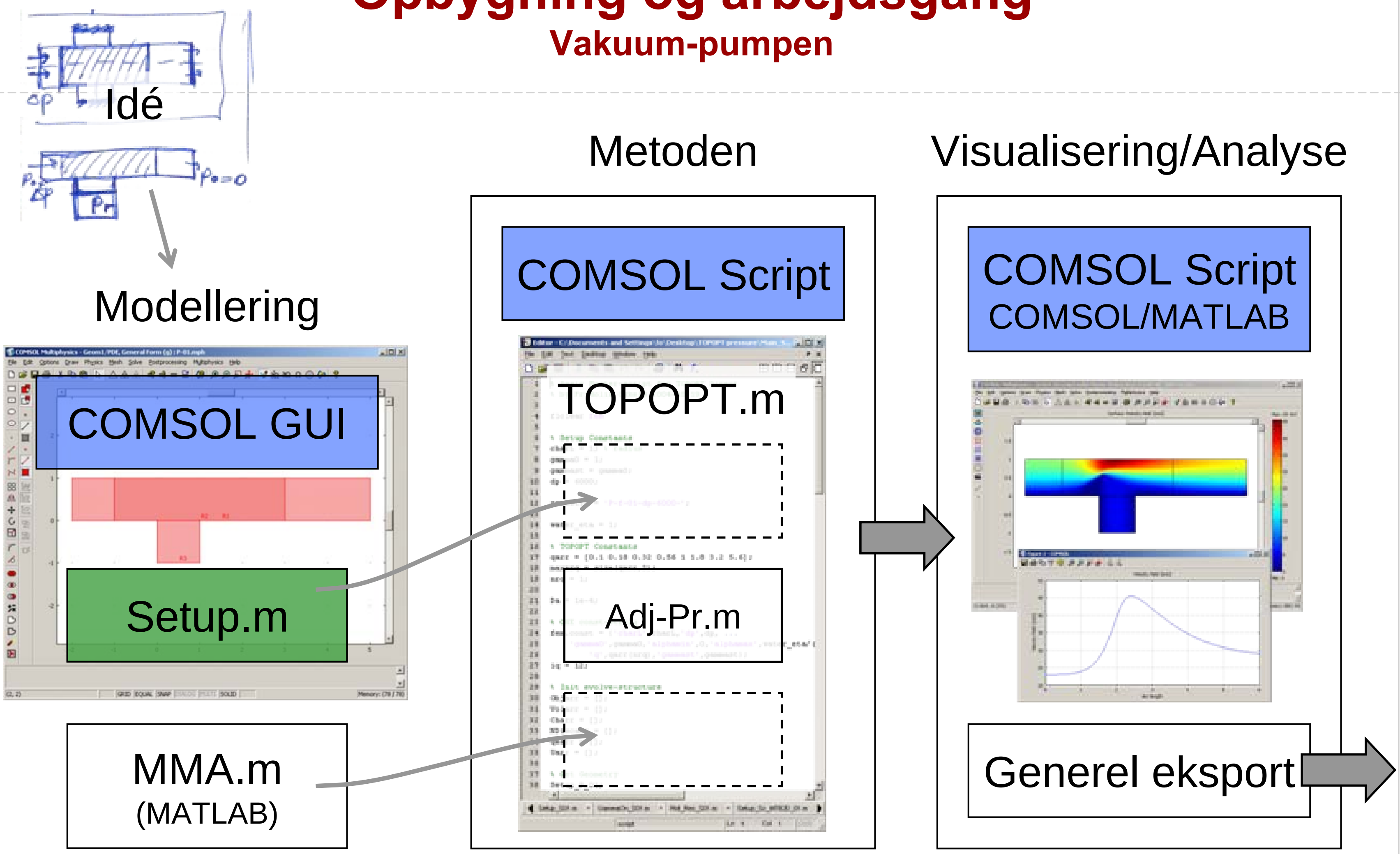
hvor $0 \leq \gamma(\mathbf{r}) \leq 1$ **[0: væg, 1: kanal]**





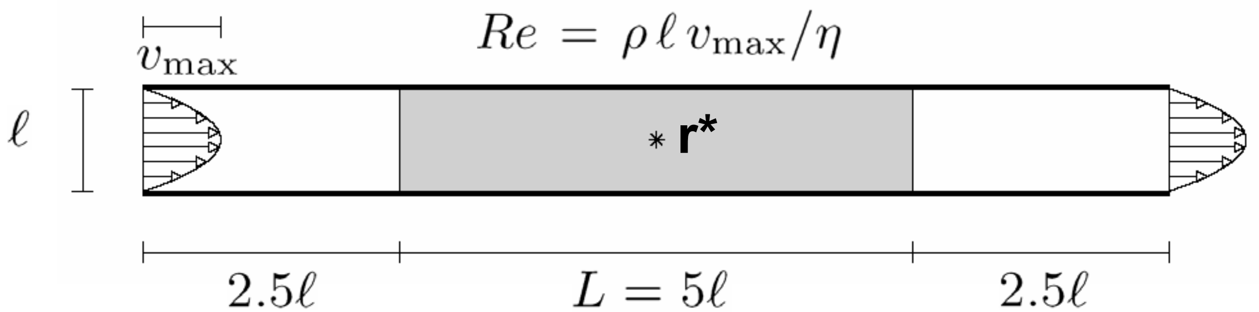
Opbygning og arbejdsgang

Vakuum-pumpen



www.mic.dtu.dk/research/MIFTS L.H. Olesen, F. Okkels, og H. Bruus, Int. J. Num. Meth. Eng. **65**, 975 (2006)

Maksimal tilbagestrømning i kanal



<u>Grænsebetingelser:</u>

1) konstant trykfald Δp, og parallel ind/ud strømning

2) 'no-slip' på kanal-væggene

3) lang ind-/udledning garanterer at grænsebetingelserne ikke bliver ufysiske

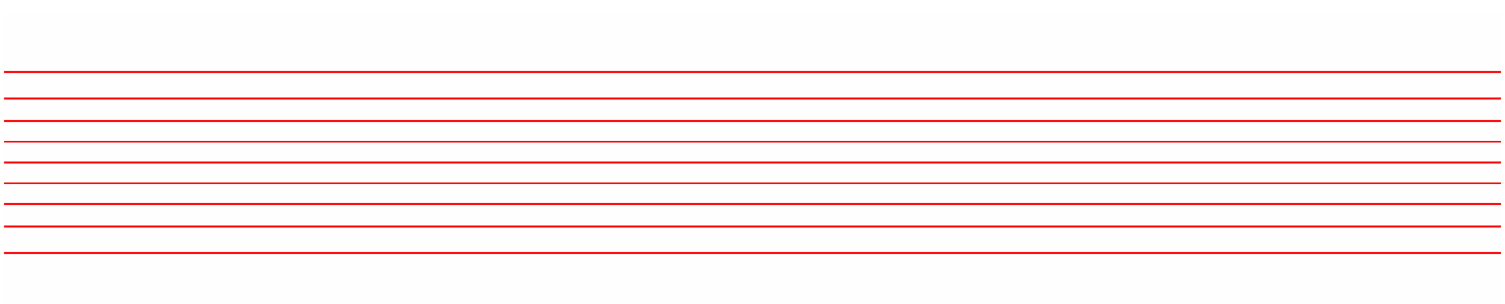
<u>Mål:</u>

find γ felt som giver den mindste (mest negative) *x*-komponent af hastighedsfeltet ved centerpunktet r*

Den iterative proces

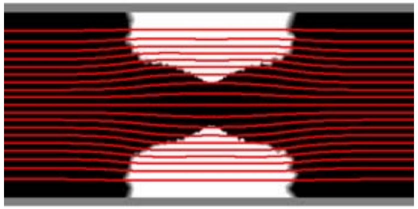
I grænsen af Stokes strømning (Re = 0)

- Begynder med tom kanal
- Første strategi: bloker strømningen ved **r***
- Bedre strategi: Modsat strømning ved **r*** vha. S-formet kanal
- Veldefineret design

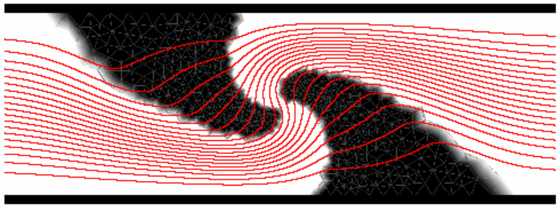


Porøsitetens betydning (Da) for *Re* = 0

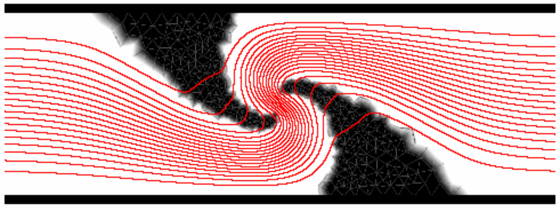
Strømlinierne adskiller hver 5% af den totale strømning



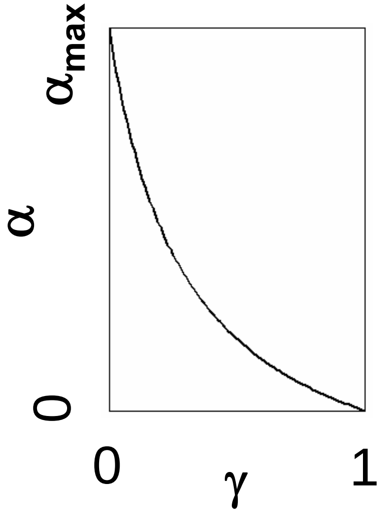
Da = 10^{-2}

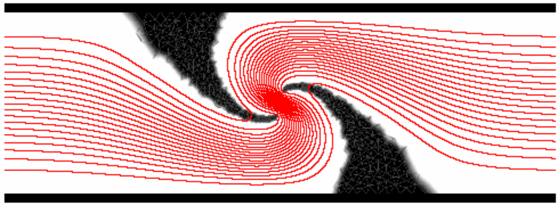


Da = 10^{-3}

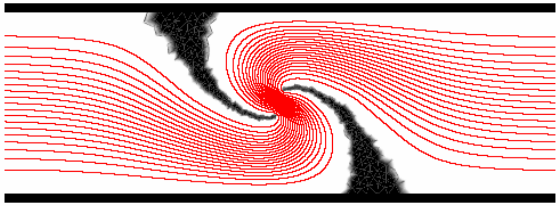


Da = 10^{-4}





Da = 10^{-5}

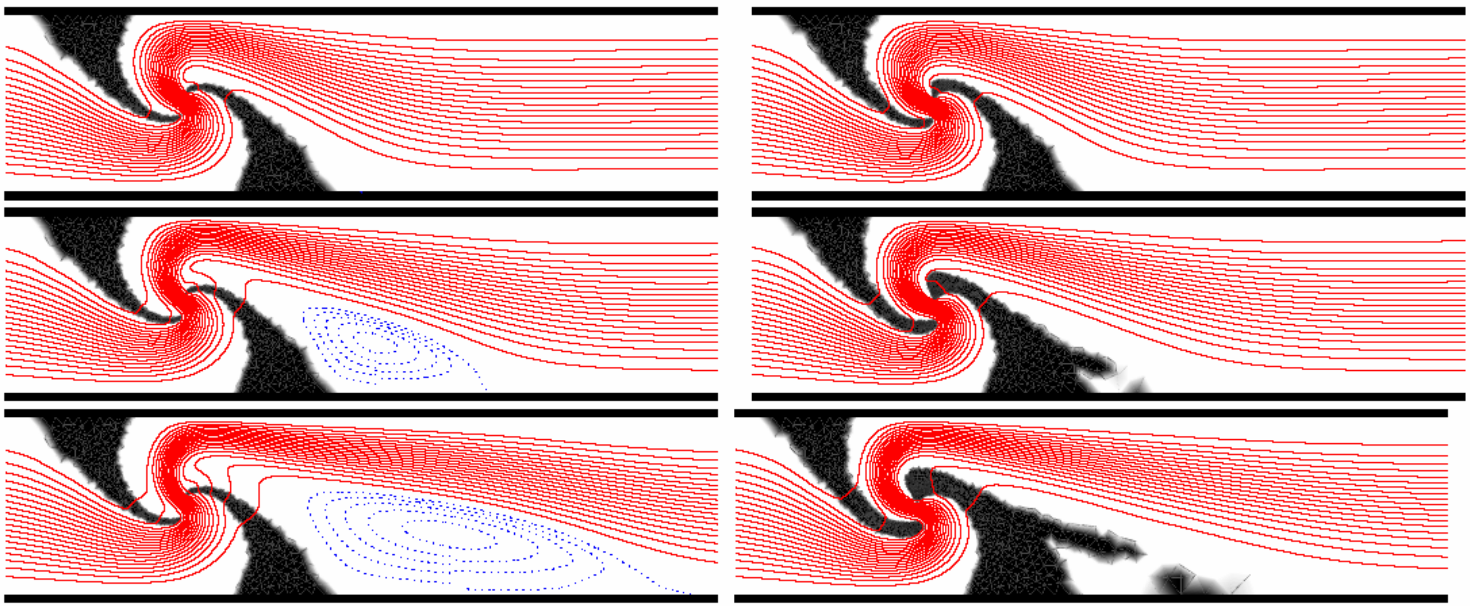


Da = 10^{-6}

$$Da = \frac{\eta}{\alpha_{\max}\ell^2}$$

Inertiens betydning (Re) for Da=10^{-5}

Re
23
42
64



Re
23
42
64

Venstre side:
Re = 0 løsningen udsat for stigende Reynolds tal

$$Re = \rho v_{\max} \ell / \eta$$

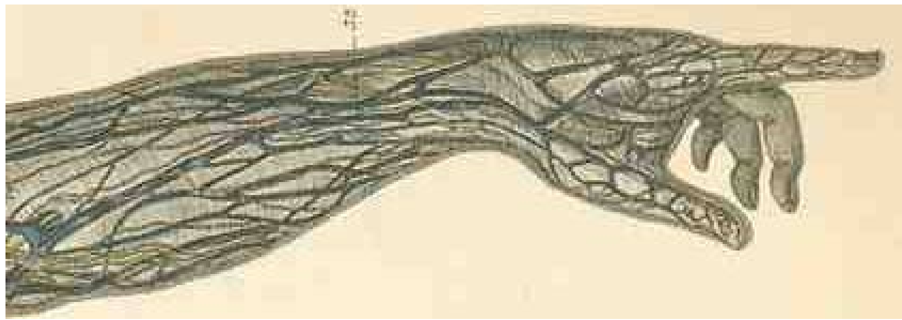
Højre side:
Den optimale løsning fundet for hvert Reynolds tal

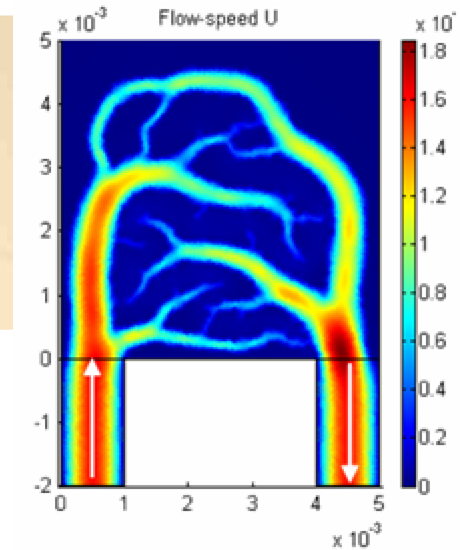
$$Da = \frac{\eta}{\alpha_{\max} \ell^2}$$

Opsummering

- **Topologi optimering er et nødvendigt værktøj til design af fluide kanalstrukturer / systemer**
- **Simpel implementering af topologi optimering vha. COMSOL (metoden er frit tilgængelig)**
- **Begrænset til stationære systemer (indtil videre!)**
- **Kan optimere stærkt koblede og ikke-lineære multifysik-systemer**

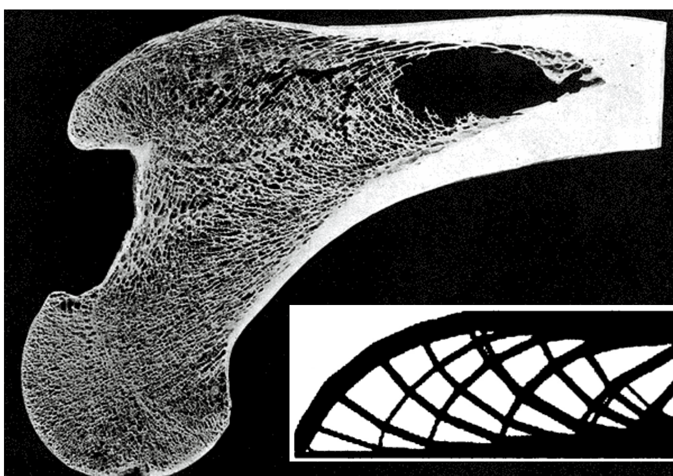
Vision:



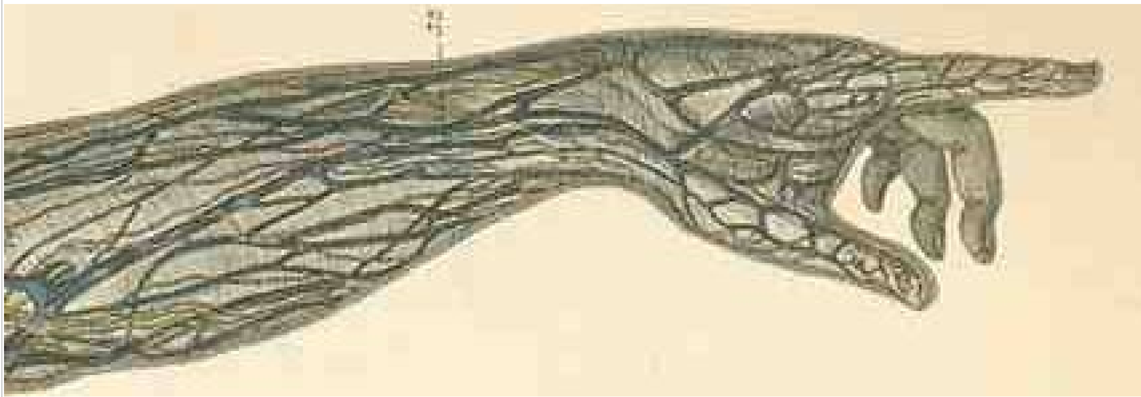


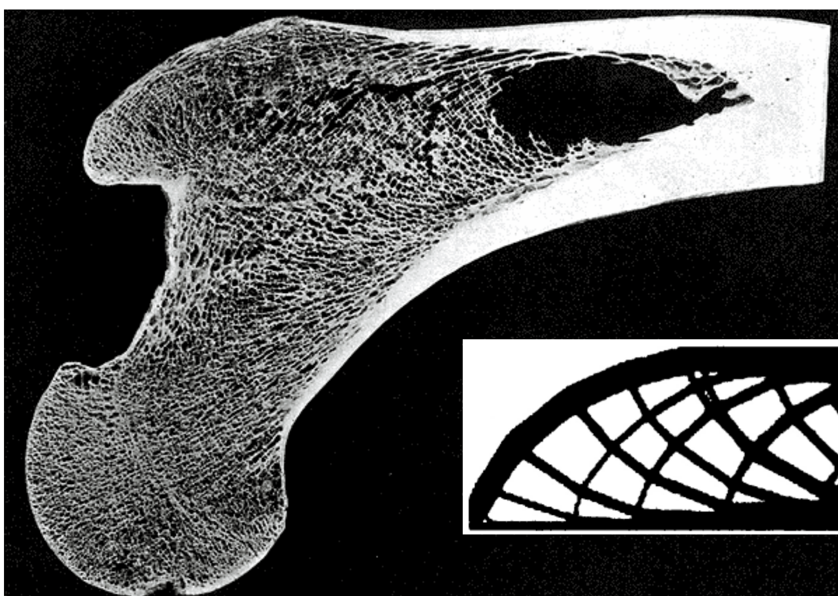
Komplekse biologiske strukturer

Optimering af simple systemer / principper?

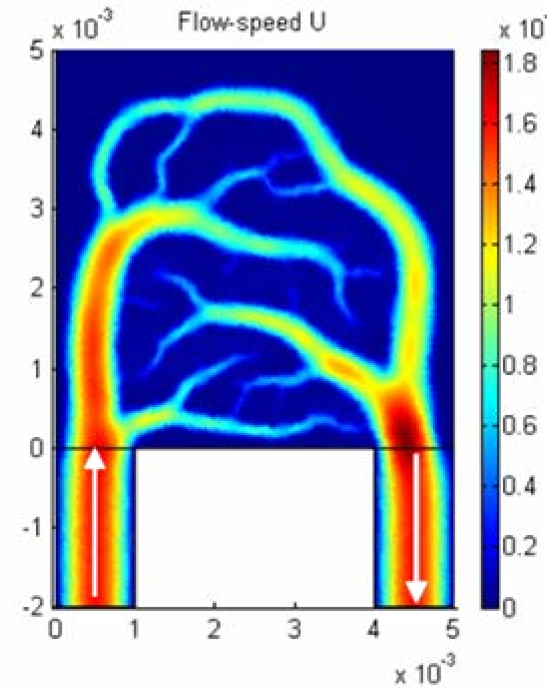


Slut





?



www.mic.dtu.dk/research/MIFTS

Checking the optimization of v_1*: fix each of the four geometries and change Da

v_1^* is normalized by the velocity of the empty channel, $v_1 = \frac{8\ell^2}{\eta}\frac{p_0}{10\ell}$