

# Beräkningsbaserad design

Martin Berggren

Installationsföreläsning  
20 oktober 2007

## Innehåll

- Vad är beräkningsteknik?
- Varför är det viktigt?
- Vad är min roll?

# Tack

*Tidigare/nuvarande doktorander och andra medarbetare som bidrar med resultat/bilder:*

Olivier Amoignon, Sven-Erik Ekström, Daniel Noreland,  
Rajitha Udawalpola, Eddie Wadbro

# Beräkningsteknik? Datorer?



förknippas väl mest med...



**Här:** Datorn som **instrument** för **vetenskap** och **teknik**

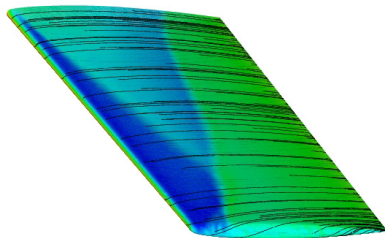


# Beräkningar i vetenskap och teknik

- Utveckling av nya instrument: viktig drivkraft för naturvetenskaplig utvecklings
- Datorn: numera det enskilt viktigaste vetenskapliga instrumentet
- Beräkningsteknik centralt

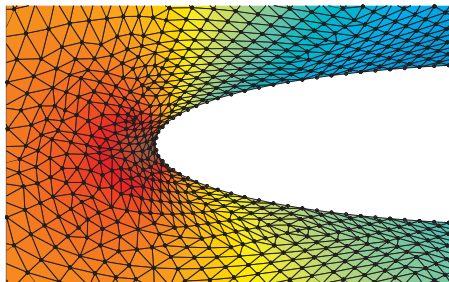
# Exempel

- Simulerar luftströmningen kring en flygplansvinge vid Mach 0.84
- Detaljerade förutsägelser endast möjliga med beräkning
- Bilden visar tryckfördelning och visualiserar partikelspår
- “ $\lambda$ -stöt” : ökad luftmotstånd
- “Luftkrypning” runt spetsen: minskad lyftkraft



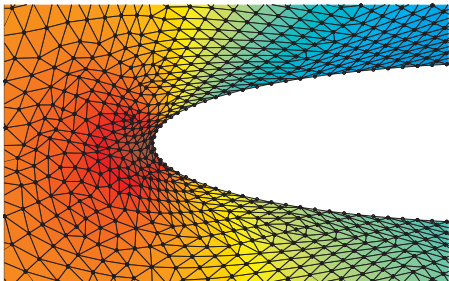
Beräkning: Olivier Amoignon

# Hur gör man?



- Omger vingen med ett *beräkningsnät*
  - Densitet, hastighet och tryck bestäms i varje knutpunkt
  - Beräkningsalgoritmen omfördelar längs trådarna till dess att massa, rörelsemängd och energi är i balans
- Sådana “Finitavolymsmetoder” dominerar i industriell programvara
  - Metoden robust, välutvecklad. Svårt att erhålla hög noggrannhet.

# Hur gör man?



- Omger vingen med ett *beräkningsnät*
- Densitet, hastighet och tryck bestäms i varje knutpunkt
- Beräkningsalgoritmen omfördelar längs trådarna till dess att massa, rörelsemängd och energi är i balans

- Sådana "Finitavolymmetoder" dominerar i industriell programvara
- Metoden robust, välutvecklad. Svårt att erhålla hög noggrannhet.

## Pågående projekt:

- Utveckla en mer noggrann metod, kompatibel med existerande programvara
- Tillsammans med Sven-Erik Ekström och inom EU-projektet Adigma



# Beräkningsteknikens vetenskapliga hemvist

- **Teori** och **experiment**: de klassiska kunskapsvägarna för vetenskap/teknik
- Beräkningsteknik: teori eller experiment?

# Beräkningsteknikens vetenskapliga hemvist

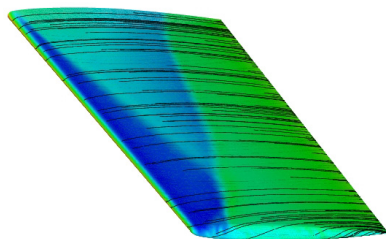
- **Teori** och **experiment**: de klassiska kunskapsvägarna för vetenskap/teknik
- Beräkningsteknik: teori eller experiment?
- Har aspekter av bägge!
  - Teorin ger de matematiska modellerna
  - “Numeriska experiment” producerar siffrvärden, precis som experiment

# Beräkningsteknikens vetenskapliga hemvist

- **Teori** och **experiment**: de klassiska kunskapsvägarna för vetenskap/teknik
- Beräkningsteknik: teori eller experiment?
- Har aspekter av bägge!
  - Teorin ger de matematiska modellerna
  - “Numeriska experiment” producerar siffrvärden, precis som experiment
- **Beräkningsteknik**: en *tredje* kunskapsväg, vid sidan om teori och experiment
- Beräkningstekniken erbjuder unika fördelar (och unika utmaningar)

# Beräkningar och design

- Antag att vi vill minska luftmotståndet eller öka lyftkraften
- Förbättra utformningen!
- Testa sig fram?
- En vindtunnelmodell kostar ca 1 MSEK. . .



# Beräkningar och design

- Ekonomiskt fördelaktigt att designa “virtuellt”
- “Normalanvändning”: utvärdera prestanda via datorsimuleringar, införa designförändringar manuellt, simulera igen

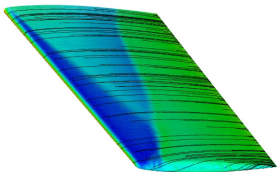
# Beräkningar och design

- Ekonomiskt fördelaktigt att designa “virtuellt”
- “Normalanvändning”: utvärdera prestanda via datorsimuleringar, införa designförändringar manuellt, simulera igen
- Alternativ: **Beräkningsbaserad design** (“matematisk konstruktionsoptimering”)
  - Specificera krav på prestanda
  - Specificera tillåtna designmodifieringar
  - En datoralgoritm modifierar successivt utformningen till dess prestandakraven uppfylls
- Möjliggjorts av snabb utveckling av hårdvara och beräkningsmetoder

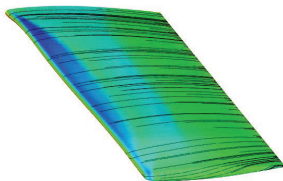
# Vetenskapliga utmaningar

- Interdisciplinärt!
- Specificera prestandakraven matematiskt
- Specificera möjliga designförändringar. Avvägning generalitet—enkelhet
- Effektiva algoritmer för designmodifieringar
  - Gradientbaserade numeriska optimeringsmetoder
  - Känslighetsinformation via lösning av adjungerade (duala) problem
- Effektiv implementering som väl utnyttjar modern datorarkitektur

## Exempel 1: omdesignad vinge



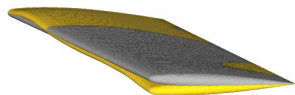
Ursprunglig



Modifierad

- Prestandakrav: fixerad lyftkraft och vridmoment; minimalt motstånd
- Motståndet minskat med 30 "drag counts"
- I Olivier Amoignons avhandling (2006)

Metoder och programvara används i EU-projektet NACRE för utvärdering av framtida flygplanskoncept

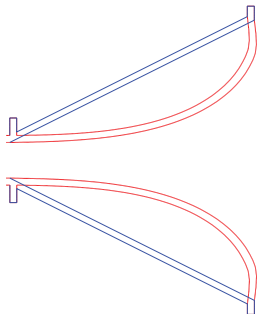


Ursprunglig Onera M6 (grå)  
modifierad (gul)

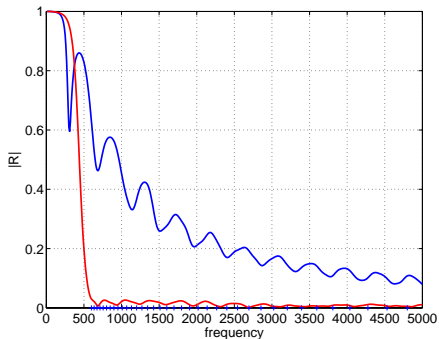


## Exempel 2: omdesignat högtalarhorn

- Samarbete med Beyma, Spanien
- Prestandakrav: maximal transmission i frekvensbandet 600–4800 Hz



Ursprunglig (blå) och modifierad (röd)  
Beräkning: Rajitha Udawalpola



Reflektioner tillbaka i vågledaren



Pågående projekt, endast det tråkiga koniska hornet har tillverkats och testats. . .

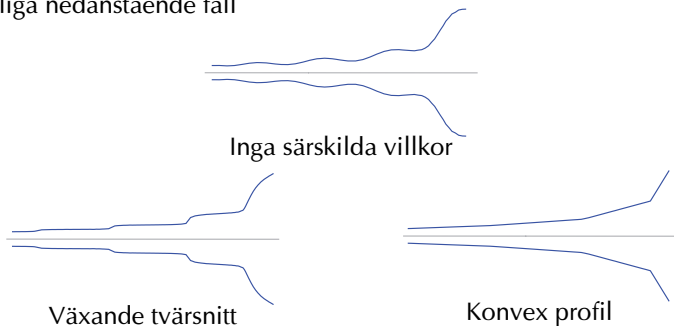
## Exempel 3: Design av brassinstrument



- Munstyckets, rörets och klockstyckets tvärsnittsvariation i längsled bestämmer spelbarhet, intonation och klang
- Klockstyckets funktion skiljer sig från hornhögtalarens
  - Högtalare: maximal transmission för alla frekvenser
  - Brassinstrument: starka reflektioner tillbaks i instrumentet vid frekvenser man spelar (stående vågor; naturtonsserien)
- Traditionella klockstycken (sen 1600-talet) är sk Besselhorn (ungefär)
- Beräkningsbaserad design? Kan man få ännu bättre instrument? Instrument med helt nya egenskaper?

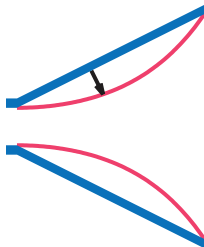
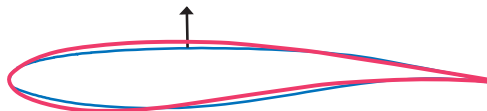
# Nyskapande klockstycken!

- Prestandakrav: att instrumentets egenresonanser stämmer så bra som möjligt med naturtonsserien
- Mycket god överensstämmelse egenresonanser—naturtonsserien i samtliga nedanstående fall
- Den slutgiltiga formen beror på vilka villkor som ställs på utformningen
- Beräkning: Daniel Noreland, Rajitha Udawalpola



# Vilka designförändringar tillåts?

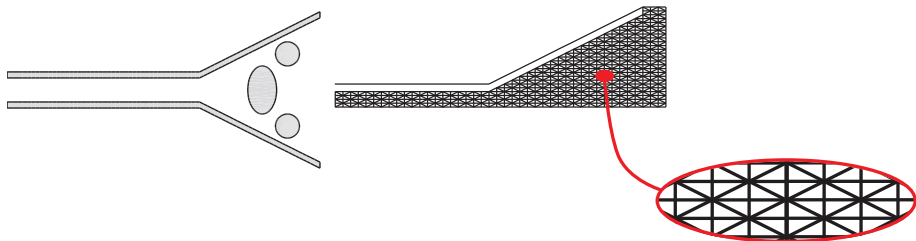
Hittills enbart *randformsdesign*:



Man "knölar till" en given *referenskonfiguration*

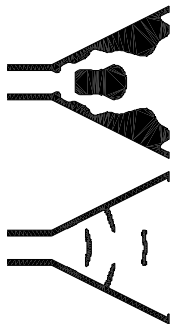
- Fördel: går att åstadkomma mycket noggrann geometribeskrivning. Bra för slutgiltig design.
- Begränsningar: Svårt att göra dramatiska förändringar. Dåligt för konceptuell design.

# Alternativ: Fri materialplacering, "topologidesign"



- I **varje punkt** inom ett givet område, bestäm material/icke-material
- I praktiken, bestäm vilka trianglar i ett **nät** som skall ha andra materialparametrar
- Liknar "pixlar" i digitala bilder
- **Fördel:** flexibelt, förutsättningslöst. Godtyckligt komplicerade former möjliga. Bra för konceptuell design
- **Begränsning:** släta ytor kräver mycket hög upplösning. Inte idealt för slutgiltig design.

## Exempel: Topologidesign av högtalarhorn



- Fri materialplacering inne i "tratten"
- Prestandakrav: maximal transmission i medelfrekvens (övre) och vid låga frekvenser (mellan)
- Beräkning: Eddie Wadbro



- Randformsdesign för hornet
- Fri materialplacering framför ger en akustisk lins
- Prestandakrav: maximal transmission och jämn spridning i stort frekvensområde
- Beräkning: Eddie Wadbro/Rajitha Udawalpola

# Och nu till nånting helt annat. Eller kanske inte. . .

Varför ser **träd Kronor** och **rotsystem** ut som de gör?



*Från Wikipedias artikel om Umeå. Bild: Tage Olsin*



# Och nu till nånting helt annat. Eller kanske inte. . .

Varför ser **träd**kronor och **rots**system ut som de gör?



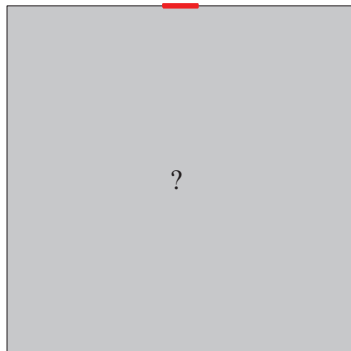
*Från Wikipedias artikel om Umeå. Bild: Tage Olsin*

Hypotes

Formen ges av en designprincip

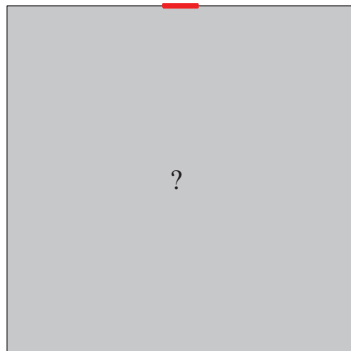
# Hypotesprövning via beräkning

- Grå yta innehåller (t ex) fukt
- Antag att ett svart material leder fukt mycket väl
- Fyll den grå ytan **till hälften** med svart material



# Hypotesprövning via beräkning

- Grå yta innehåller (t ex) fukt
- Antag att ett svart material leder fukt mycket väl
- Fyll den grå ytan **till hälften** med svart material

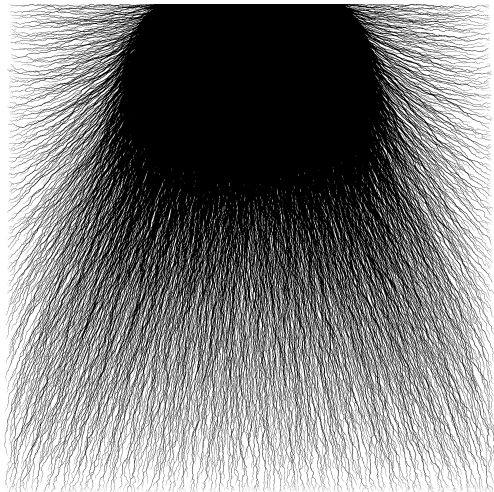


## Designproblem

Vilken fördelning av svart material transporterar fukten på bästa sätt upp till röd linje?

# Rotsystem transporterar optimalt

- Upplösning:  $2100 \times 2100$  pixlar
- Varje pixel bestäms för optimal transport
- Ju fler pixlar, desto finare strukturer!
- Beräkningstungt problem
- Ny twist: beräkningen genomförd direkt på datorns grafikkort
- Ungefär 20 gånger uppsnabbning jämfört med CPU:n



Beräkning: Eddie Wadbro

# Blick framåt

Användbarhet

Breddning

Fördjupning

# Blick framåt

## Användbarhet

- Demonstrera att beräkningsbaserad design är en användbar strategi
- Driva något lovande projekt närmare produktrealisering

## Breddning

## Fördjupning

# Blick framåt

## Användbarhet

- Demonstrera att beräkningsbaserad design är en användbar strategi
- Driva något lovande projekt närmare produktrealisering

## Breddning

- Utöka klassen av problem som kan hanteras
- Beräkningsbaserad design för multifysikproblem

## Fördjupning

# Blick framåt

## Användbarhet

- Demonstrera att beräkningsbaserad design är en användbar strategi
- Driva något lovande projekt närmare produktrealisering

## Breddning

- Utöka klassen av problem som kan hanteras
- Beräkningsbaserad design för multifysikproblem

## Fördjupning

- Effektivare algoritmer genom bättre utnyttjande av varje problems specifika struktur
- Bättre utnyttjande av stora beräkningsresurser, modern datorarkitektur