



# EiT - MiA

MATEMATIKK INNEN ANVENDELSER

## **Problemstilling for Futhark, MiA 2011**

### **Steking av bacon i mikrobølgeovn**

Å. Ervik, K. H. Skrede, T. S. Solberg, P. Vo, J. Johnsen

Eksperter i Team, NTNU

09.02.2011

# Problemstilling

- Hvordan kan steking av bacon i en mikrobølgeovn modelleres matematisk?
- Hvordan vil fett-, vann- og saltinnhold påvirke steking, og hvilken effekt er optimal?

# Motivasjon



Figure: Mmmmm. . .

# Input og output

## Input:

- vann-, fett- og saltinnhold
- geometri - tykkelse
- antall baconstriper
- effekt
- (ønsket sprøhet)

## Output:

- steketid

# Modellen

1. Varme
  2. Massetransport
  3. Nøyaktige grensebetingelser for mikrobølgeovn
- 
4. Elektromagnetiske grensebetingelser
  5. App - redusert modell

# Utgangspunkt

- Massebevaring:  $\rho_0 \frac{\partial u_i}{\partial \tau} = -\nabla \cdot j_i + l_i$
- Energibevaring:  $c\rho_0 \frac{\partial T}{\partial \tau} = -\nabla \cdot q + \sum_i h_i l_i - \sum_i j_i c_i \nabla T$
- Varmelikning:  $\frac{\partial u}{\partial \tau} = \alpha \nabla^2 u$
- Størrelser:
  - $q = -\lambda \nabla T$ ,  $\lambda$  effektiv varmeledning
  - $u_i$  masseinnholdet av damp (vann) i stoff  $i$  (f.eks. kjøtt, fett)
  - $j_i$  massestrømningstetthet for stoff  $i$
  - $l_i$  kilder og sluk pga. faseoverganger,  $\sum_i l_i = 0$
  - $h_i$  varmen (termisk energi) i stoff  $i$
  - $c_i = \frac{\partial h_i}{\partial T}$  (varmekapasitet)
  - $c = c_0 + \sum_i c_i u_i$ ,  $c_0$  varmekapasitet for tørt legeme

# Løsningsmodell

- Vi har tenkt å bruke Finite Difference Method (FDM) til å løse differensial- ligningene presentert i forrige slides.
- Planen er å bruke et vanlig grid i første omgang, for så og eventuelt forbedre det, eksempelvis ved bruk av senterpunkter. For å sikre stabilitet har vi valgt å bruke Crank-Nicolson:

- 

$$\frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\Delta t} = \frac{1}{2(\Delta x)^2} ((u_{i+1}^{n+1} - 2u_i^{n+1} + u_{i-1}^{n+1}) + (u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n))$$

# Løsningskriterier

- Vi måtte finne ut hva som skulle få vår numeriske modell til å avslutte simuleringen. Flere alternativer ble diskutert, vi kom frem til to; massedifferanse og temperatur.
- Massedifferanse: Av baconpakning vet vi initielt fettinnholdet (gram), vha. massetransportligninger er det mulig å forutsi kritisk massetap (målt gjennom forsøk). Når den verdien er nådd har vi, ifølge hypotesen - oppnådd sprøtt og godt bacon.
- Temperatur: Baconstykket vil bli modellert med en fordeling av fett og kjøtt, og deles inn i noder. Ved hjelp av varmetransportligninger utregnes temperaturen i hvert punkt. I følge Maillards reaksjoner vil baconet starte å bli brunt når temperaturen når 154 grader Celsius. Simuleringen avsluttes.



# Kalibrering

- Måle effekt i mikrobølgeovnen ved å sette inn vannbad og måle hvor mye som fordamper i løpet av en gitt tid
- Sammenlikne med teoretisk effekt (f.eks. 750 W)

# Eksperimentell verifikasjon

- Lese av innholdsfortegnelsen til baconet og egenskapene til mikrobølgeovnen og bruke disse som parametre
- Gjøre den matematiske berigningen av modellen med de gitte parametrene
- Stek bacon i mikrobølgeovnen med resultatet (tiden) gitt fra beregningen
- Dokumenter forventet resultat og faktisk resultat
- Gjenta N ganger