



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:
 - $q = -\lambda \nabla T$, λ 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

- Hva får vår numeriske modell til å avslutte simuleringen?
- Massedifferanse: Baconpakning gir fettinnholdet ved start, massetransportligninger gjør det mulig å finne kritisk massetap (målt gjennom forsøk).
- Temperatur: Maillards reaksjoner sier at bruning starter ved 154°C . Kritisk temperatur.

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