

Studie av avancerade reologimodeller

Gustaf Jönsson

Lunds Tekniska Högskola - Institutionen för energiteknik - Avdelningen för strömningsteknik.

Det blir allt viktigare att kunna använda datorsimuleringar för att förutsätta olika produkters beteende i olika typer av situationer, såsom i produktionssystem. Det är därför av ytterst vikt att förstå sig på hur olika matematiska modeller kan användas för att simulera olika typer av produkters beteende.

För att kunna minimera energianvändandet, svinn och få en djupare förståelse av olika produkter som idag används i Tetra Paks produktionssystem är det av stor vikt att förstå sig på hur dessa produkter beter sig. Det är därför av intresse att studera olika typer av matematiska modeller som kan användas för att fånga så många reologiska egenskaper som möjligt, det vill säga att kunna modellera hur dessa produkter beter sig i olika situationer.

Många av produkterna i Tetra Paks produktionssystem definieras som semi-fluider. Detta innebär att de kan bete sig både som solider och fluider, beroende på omständigheterna. En produkt som i stor utsträckning används i Tetra Paks produktionssystem är olika typer av yoghurtar. Ur både experimentell och matematisk synvinkel är yoghurt en svårhanterlig produkt då det är mycket svårt att mäta dess reologiska egenskaper samt att modellera dessa, på grund av att många olika faktorer såsom avgör hur Yoghurten beter sig.

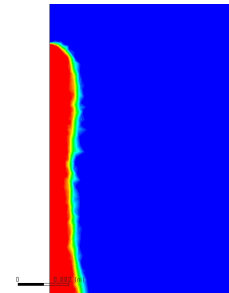
Då yoghurt utsätts för små yttre påverkan beter den sig som en solid och rör sig inte, tills den börjar flyta som en fluid. Denna gräns som skiljer dessa två beteenden å kallas för flytgräns och går experimentellt att mäta. En stor förenkling som görs för att kunna modellera detta beteende är att säga att Yoghurts viskositet, som beskriver hur trögflytande en produkt är, är väldigt stor vid små hastighetsskillnader och mindre vid höga hastighetsskillnader. En modell som flitigt används för att representera detta beteende är Herschel Bulkey modellen enligt ekvation (1).

$$\eta = \frac{\tau_y}{\dot{\gamma}} + A\dot{\gamma}^{b-1} \quad (1)$$

Detta ger dock inte hela sanningen. Då en Yoghurts egenskaper beror på vad den tidigare utsätts för, en såkallad tixotropieffekt. Detta innebär att yoghurten kommer ihåg vad som hänt under ett tidigare skede. Detta kan matematiska modelleras med en partiell differentialekvation enligt ekvation (2) som kopplas ihop med viskositeten, som därmed ger en representation av hur yoghurten kommer ihåg vad som hänt med dess mikrostruktur.

$$\frac{\partial \lambda}{\partial t} = a(1 - \lambda) - b\lambda\dot{\gamma} \quad (2)$$

För att kunna avgöra hur bra dessa matematiska modeller representerar verkligheten användes datorsimuleringar för att kunna jämföra med experiment gjorda på samma typ av produkt, i detta fallet Vaniljyoghurt, Yoghurt Naturell och Långfil. De datorsimuleringar som genomfördes var på två typer av mätinstrument som används för att mäta olika typer av reologiska egenskaper, en Bob & Cup rheometer som används för att mäta en produkts viskositet och flytgräns och en extensional rheometer vars uppgift är att avgöra hur mycket de elastiska (solida) egenskaperna spelar roll. En annan datorsimulering som också användes var att se hur ytprofilen betedde sig för olika modeller när en plåtbit doppas i en yoghurt och sedan långsamt dras bort.



Figur 1: Ytprofil för Yoghurt Naturell.

Utifrån de simuleringar som gjordes indikerade resultatet på att Herschel Bulkley modellen i ekvation (1) gav en relativt bra representativ bild av hur Vaniljyoghurt och Yoghurt Naturell, men inte Långfil. Det verkade också som att adderandet av en partiell differentialekvation för att representera tidseffekterna med ekvation (2) inte gav några markanta skillnader i någon av produkternas beteende. Det visade sig dock att hur man simulerar interaktionen med omkringliggande luft och yoghurten, såkallad ytspänning, spelade stor roll för hur yoghurtprofilen betedde sig.