

Afslutningsrapport

Skånsom mekanisk procesbehandling af mælk

Mejeribrugets ForskningsFond

Rapport nr. 2005-71

September 2005



mejeriforeningen

danish dairy board

Afslutningsrapport

Skånsom mekanisk procesbehandling af mælk

Projekt periode:

Start dato: 1. september 1999

Slut dato: 30. juni 2003

Projektdeltagere (alle BioCentrum-DTU):

Lektor Alan Friis (projektleder)

PhD studerende Jesper Sæderup Lindeløv (tidl. Nielsen)

Professor Jens Adler-Nissen

Finansieringskilder:

Mælkeafgiftsfonden, Mejeribrugets ForskningsFond

FELFO-rammeprojektet "Interdisciplinary approaches to innovation in the food sector with special emphasis on the concept of CARE"

Sammendrag

Fløde-prop kan forekomme i uhomogeniserede fedtholdige konsummælkeprodukter, især fede produkter som sødmælk og fløde. Fænomenet, der ses som uopløseligt fedt på overfladen af produktet eller på emballagens sider, skal ikke forveksles med den naturlige flødestigning. Fløde-prop betragtes i branchen som en produktionsfejl når dette optræder i uhomogeniseret sødmælk og indikerer at der er sket en uacceptabel mekanisk belastning af det pågældende produkt eller som resultat af luftiblanding. Projektet fokuserer udelukkende på at afdække betydningen af mekanisk belastning, herunder akkumulerede effekter, gennem en proces. Den primære procesindflydelse er betinget af forekomsten af rimeligt høje forskydningshastigheder i visse dele af procesanlæg. Da forskydningshastigheden ikke er konstant i f.eks. tværsnittet i et rør og forskellige dele af en bulk, og dermed ikke oplever den samme påvirkning i gennem procesanlægget, er beskrivende produktkarakteristika undersøgt som fordelinger i stedet for ved middelværdien, som der er tradition for. Yderligere beskrives sammenhængen mellem beskadigelse af fedtkugler og belastning på forskellige tidspunkter i proceshistorien.

Et væsentligt resultat fra projektet er en ny metode til bestemmelse af den forskydningsinducerede dannelse af bindinger mellem fedtkugler, som i ekstreme tilfælde fører til dannelse af en synlig fløde-prop. Metoden er baseret på beregning af et Beskadigelses-indeks (Damage Index) ud fra en registreret stigning i produktets viskositet, hvilket er en god indikator for beskadigelse. Resultater viser, at beskadigelses-indekset er lineært korreleret til ændringen i den gennemsnitlige fedtkuglestørrelse målt på en Mastersizer 2000, der vil stige med stigende beskadigelsesgrad. Metoden er sammenlignet med klassiske metoder til bestemmelse af beskadigelse så som bestemmelse af fedtsyregrad, flødestigningsevne samt indholdet af frit fedt. Det er vist at Beskadigelses-indeks metoden er mere anvendelig end de traditionelle metoder til at bestemme beskadigelse på mælkefedtkugler og at denne metode, når den kombineres med måling af partikelstørrelsesfordelinger tilvejebringer information om hvor stor en del af en bulk, der er beskadiget og i hvilken grad.

Beskadigelses-indeks metoden kan kombineres med strømningssimulering af forskydningsfelter og opholdstidsfordelinger i procesanlæg for at kunne estimere den totale fedtkugle beskadigelse i en given produktionsproces. Beskadigelses-indeks metoden er blevet benyttet til at bestemme indflydelsen af temperatur, fedtprocent og forskydningshastigheden på flødeprodukters følsomhed overfor forskydningspåvirkninger. Resultaterne harmonerer med tidligere undersøgelser baseret på andre metoder (beskrevet i litteraturen) Et særdeles signifikant resultat fra projektet er klarlæggelse af betydningen af den forudgående proceshistorie på flødes labilitet overfor beskadigelse. Det er vist at en tidligere forskydningspåvirkning huskes og lagres i produktet, f.eks. kan en ekstrem forskydningspåvirkning tidligt i et procesforløb være utilstrækkeligt til at forårsage beskadigelse på det givne tidspunkt, men forårsager at tærsklen for hvad der på et senere tidspunkt kan forårsage en synlig beskadigelse sænkes betragteligt. Arbejdet indeholder et studium af sammenhængen mellem fedtindhold og labilitet for beskadigelse og ligeså temperaturens betydning herfor. Udgangspunktet med, at der findes en fast middelhastighed som ikke må overstiges ved pumpning, er tilbagevist, da produkt og strømningshastighed samt f.eks. rør dimensioner har indflydelse på processen. Dermed er resultaterne særdeles brugbare for mejeriindustrien såvel som producenter af procesudstyr.

Engelsk resumé

Cream accumulation can occur in commercial fatty non-homogenized milk products, especially in full milk and cream. The phenomenon, which shows as insoluble fat on the surface of the product or on the sides on the packaging, must not be confused with the natural rise of cream. Cream plug appearing in non-homogenized full milk is regarded as a product defect by the industry, and the presence indicates that the product has experienced an unacceptable mechanical strain or is seen as a result of an admixture of air. The project focuses solely on uncovering the influence of mechanical strain, including accumulated parts throughout a process. The primary influence of process is determined by the occurrence of relatively high shear rates in some places of the processing equipment. Since the shear rate is not constant in e.g. the cross section of a pipe, different parts of a bulk do not experience the same impact throughout the process, and descriptive product characteristics therefore have traditionally been described by average values instead of as distributions around the mean value. Furthermore the connection between the damage of fatty globules and the strain at different times in the processing history is being described.

An essential result from the project is a new method of determining the shear induced formation of bonds between fatty globules, which in extreme cases lead to the formation of a visible cream plug. The method is based on the calculation of a Damage Index from a registered rise in product viscosity, which is a good indicator of damage. Results show that the Damage Index has a linear correlation to the change of the average size of the fat globules (measured by a Mastersizer 2000), which will increase following increasing degree of damage. The method has been compared with classical methods of determining damage such as determination of fatty acid content, the rate of creaming as well as the contents of free fat. It has been shown that the Damage Index method is more applicable than traditional methods of determining the damage of milk fatty globules and that this method, when combined with measuring of particle size distributions, provide information of how large a part of a bulk has been damaged and to what extent.

The Damage Index method can be combined with flow simulations of shear force fields and distributions of retention time in processing equipment to be able to estimate the total damage of the fatty globules in a given production process. The Damage Index method has been used for determining the influence of temperature, percentage of fat and the shear rate on the sensitivity of cream to shearing. The results harmonize with earlier investigations based on other methods (described in literature). A most significant result from the project is the elucidation of the importance of the preceding process history on creams ability to damage. It has been shown that an earlier shear influence is memorized and stored in the product, e.g. can an extreme shear influence early in a process course be insufficient and not cause damage at the actual time but will later lower the limit for damage considerably and cause visible damage. The work includes a study of the connection between the content of fat and the damage ability as well as the influence of temperature. The starting point that there exists a steady average speed that must not be exceeded when pumping has been rejected since speed of product and flow as well as dimensions of e.g. pipes have influence on the process. This makes the results most useful for the dairy industry and for producers of processing equipment.

Projektets baggrund og mål, resultater og vurderet i forhold til de opstillede mål og konklusion

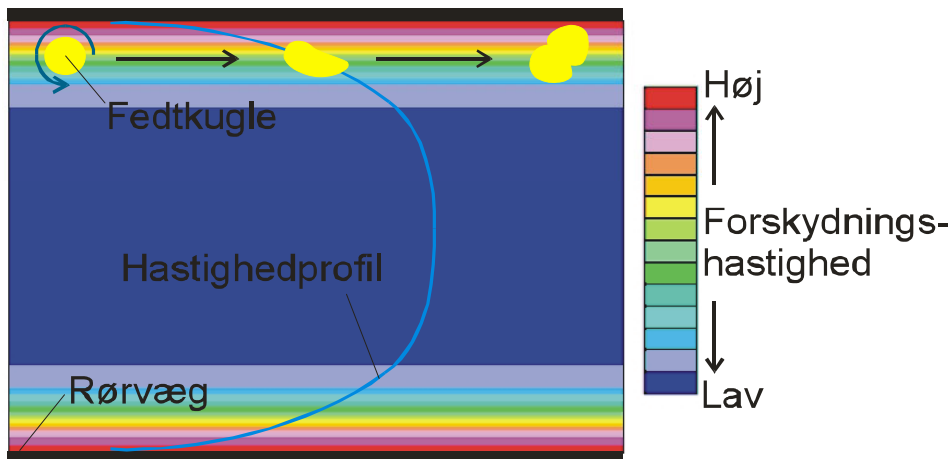
Projektet tog udgangspunkt i, at det for at sikre en korrekt og minimeret procespåvirkning på flydende levnedsmidler i lukkede processer er nødvendigt at have detaljeret viden om både de gennemsnitlige og de lokale strømningsforhold. Tidligere og stadig i dag anvendes hovedsageligt bulkbaserede betragtninger til karakterisering af processer udtrykt ved f.eks. midlede eller maksimale strømningshastigheder, middeltemperaturer og kvalitetsundersøgelser foretaget på repræsentative prøveudtag under eller efter produktionsforløbet. Et eksempel på en sådan betragtning er den anbefaling, at der ikke bør pumpes hurtigere end 2 m/s i rørføringer (4 m/s på tryksiden) ved transport af rå mælk til flødeproduktion og endnu lavere 1 m/s for fløde, af hensyn til fedtkuglerne. Denne anbefaling har ikke nogen videnskabelig baggrund, og fører i værste fald til at der bruges overdimensionerede rørføringer og ventilbatterier i mejerianlæg, hvilket fører til en væsentlig ekstraomkostning ved anskaffelse. Endvidere vil øgede dimensioner medføre forøget vandforbrug under rengøring, derfor vil en reduktion af anlægsdimensioner også medføre en reduceret miljøbelastning.

Der har dog over de senere år været en stigende forståelse af, at det kan være nødvendigt at betragte konventionelle kontinuerlige processer mere detaljeret end blot på bulk niveau, hvis en yderligere kvalitets-forbedring af de producerede produkter skal opnås. For en given kvalitetsparameter eller produktegenskab eksisterer der nemlig en *fordeling* omkring en middelværdi. I dag anvendes enten den minimale værdi (inaktivering af mikroorganismer), middelværdien for fordelingen for kvalitetsparametre (f.eks. ernæringsværdi, smag, farve og viskositet) som udgangspunkt for udregning af procesparametre. Skal kvalitetsoptimering foregå på en mere hensigtsmæssig måde er det nødvendigt at evaluere hele fordelingen for de kritiske egenskaber. Som oftest kan slutkvaliteten ikke beskrives ved en egenskab alene, derfor er det nødvendigt at tage hensyn til fordelinger for en række kemiske og fysiske ændringer, der foregår i levnedsmidlet under procesbehandlingen. På denne måde opnås en mere nuanceret betragtning af processen, der for kontinuerlige processer kan føre til en højere grad af skånsomhed (eksempelvis: mindre mekanisk nedbrydning, lavere grad af denaturering af proteiner og vitaminer).

Projektet har konkret omhandlet studier af skader på mælkefedtkugler under forskydningsbelastninger, som er relevante for strømning i rørsystemer, varmevekslere, pumper o. lign. Udgangspunktet er taget i, at fedtkuglerne i mælken kan blive ustabile, hvis de udsættes for tilstrækkeligt store forskydningshastigheder og at forskydningshastigheder over det kritiske niveau kan observeres under "normale" procesbetingelser. Forskydningshastighederne opstår, når væsken er i bevægelse, da der som det er illustreret i figur 1 er en hastighedsgradient i rørets radiære retning. Hastighedsgradienten er størst ved rørets væg og har minimum i centerlinien. Fedtkugler, der udsættes forskydning vil i større eller mindre grad deformeres og ved en belastning over et kritisk niveau bliver fedtkuglen ustabil. Ustabile fedtkugler kan agglomerere og kan alt efter beskadigelsens omfang føre til at der dannes en egentlig fløde-prop (defineret som fedt, der ikke kan genopløses) i mælken. Processen illustreres i figur 1.

Projektet har haft til formål at bestemme størrelsen af de forskydningshastigheder, der fører til ustabilitet af fedtkugler under forskellige procesbetingelser, samt at etablere nye målemetodikker for bestemmelse af ødelæggelsesgraden. I projektet sigtes der mod klarlægning af fremstillingsprocessers indvirkning på kvalitet af fløde.

Konkret er målet at udvikle forbedrede metoder for optimering af procesudstyr og driftsparametre til kontinuerlig procesbehandling af fedtholdige mejeriprodukter (her eksemplificeret ved rå mælk og fløde). Da slutkvaliteten af fløde afhænger af hele proceshistorien fra malkningen til fløden står hos forbrugeren, vil alle væsentlige procestrin i forløbet blive medtaget i studierne.

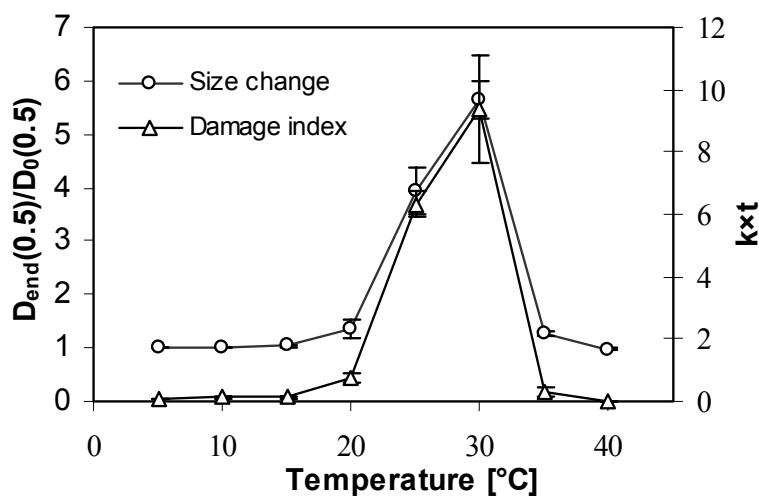


Figur 1. Strømningssimulering af mælk i lige rør med indtegnet forskydnings-hastighed og deformation af mælkefedtkugler.

Forskningsaktiviteter / faser

Randbetingelserne for de undersøgte flødeprodukter med hensyn til fedtindhold er 0,1 til 38%. Yderligere er der inkluderet enkelte undersøgelser på rå mælk. Temperaturen har i undersøgelserne været mellem 5 og 90°C oftest mellem 5 og 40°C. De undersøgte processer er pumpning, separering og varmebehandling.

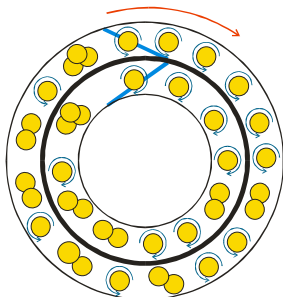
Et af hovedpunkterne har været udvælgelse og indkøring af relevante analyser til bedømmelse flødes stabilitet. Denne opgave har fyldt en del mere i projektet end oprindeligt forventet. Litteraturstudier viste at en række forskere har vist at emulsionsstabiliteten i fedtholdige mejeriprodukter påvirkes af mekanisk belastning, men at eksisterende metoder ikke har den nødvendige følsomhed. Konklusionen var, at det er relevant at udvikle nye mere specifikke metoder til kvantificering af beskadigelse af mælkefedtkugler.



Figur 2. Sammenhæng mellem størrelsesfordeling og beskadigelses-index

Det er lykkedes at indkøre en laboriemetode til bestemmelse af selv meget små beskadigelser af mælkefedtkugler. Metoden baseres på måling af viskositeten og stigningen i forhold til det ubelastede udgangsmateriale har vist sig at korrelere til ændringer i fedtkuglestørrelsesfordelingen målt på en Mastersizer 2000 (et eksempel er vist i figur 2). Metoden er i meget reproducérbar, da strømningsfeltet i et viskosimeter er laminar (couette flow).

Metoden er udviklet på basis af kontrollerede beskadigelser udført under rent forskydningsstrømning i et Haake VT500 viskosimeter med en såkaldt double-gap målegeometri, således som det ses i figur 3. Det er konkluderet at denne beskadigelse kommer tæt på den typebeskadigelse som ses i et procesanlæg jf. figur 1. Metoden er særdeles robust og vil egne sig til implementering on-line med et procesviskosimeter eller at-line med et standard viskosimeter.

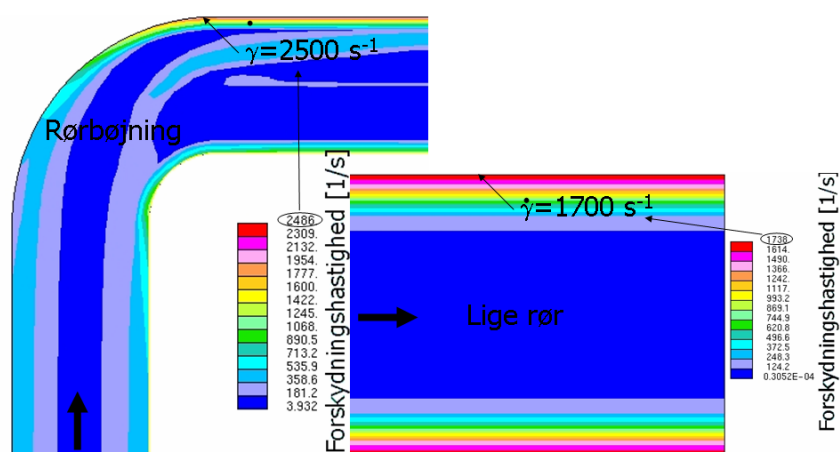


Figur 3. Forskydningsfelt i rotations-viskosimeter med double-gap geometri

Beskadigelsesprocessen på fedtkuglerne ligner den, der foregår ved homogenisering blot i langt mildere grad. Resultater viser at kvantificering af den mængde kasein, der er bundet til fedtkuglerne kan være et godt supplement til Beskadigelses-index metoden. Derimod korrelerer bestemmelse af fedtsyregrad eller flødestigningsevne ikke til de resultater, der er opnået i projektet. Dårlig reproducérbarhed er blot et af problemerne, men som andre forskere har påpeget giver disse metoder ikke det fulde billede. Metoden er sammenlignet med klassiske metoder til bestemmelse af beskadigelse så som bestemmelse af fedtsyregrad, flødestigningsevne, indhold af frie fedtsyrer samt indholdet af frit fedt. Det er vist at Beskadigelses-indeks metoden er mere anvendelig end de traditionelle metoder til at bestemme beskadigelse på mælkefedtkugler og at denne metode, når den kombineres med måling af partikelstørrelsesfordelinger tilvejebringer information om hvor stor en del af en bulk, der er beskadiget og i hvilken grad.

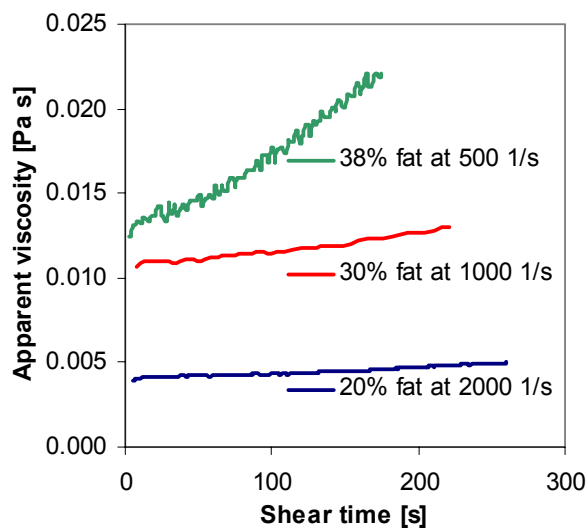
On-line målemetoder til bestemmelse af opholdstidsfordelinger har ikke været så central, da det blev vurderet at de relevante og nødvendige undersøgelser og måleprincipper allerede eksisterer. Opholdstidsfordelinger spiller en væsentlig rolle for den oplevelse som fedtkugler har igennem processen, men grundet opblanding er det ikke realistisk at man eksperimentelt kan følge f.eks. en fedtkugles vej igennem et procesanlæg. Opholdstidsfordelinger er i projektet snarere udtrykt ved beskadigelsesfordelinger - her lig partikelstørrelsesfordelinger målt på Mastersizer 2000 for fløde - der har oplevet forskellige belastninger. Dette er udført dels i laborieopstillinger, i pilot plant og hos et mindre mejeri, der producerer økologiske mælkeprodukter. Som tidligere skrevet kan viskosimeter-metoden anvendes on-line i et procesanlæg, men indenfor projektets tidsramme har det kun været muligt at udvikle metoden på det principielle plan. Det har ikke været tidsmæssigt muligt i projektet at udvikle en egentlig *in situ*-metode, men grundlaget er etableret for dette.

Ét af succeskriterierne var at identificere procesforhold, der påvirker fedtkuglerne i fløde og rå mælk i sådan en grad at beskadigelse optræder. Dette skulle lede til formulering af modeller for optimeret drift af kontinuerlige processer til fløde. Der er udført en lang række eksperimenter, der kortlægger sammenhængen mellem fedtindhold i fløde og produkternes labilitet overfor beskadigelse. Et konkret eksempel er, at der i fløde med et fedtindhold på 12% kan måles en beskadigelse når denne udsættes for forskydningshastigheder i viskosimeteret på over 2500 s^{-1} . Ved et fedtindhold på 38% er den kritiske grænse reduceret til 500 s^{-1} (ses i figur 5). Yderligere er det fundet at hvis en fløde med 38% fedt bærer på en belastningshistorie kan den kritiske grænse falde yderligere (til 200 s^{-1}). Ser vi på figur 4 er det tydeligt sådanne forskydningshastigheder optræder i et rør eller en bøjning.



Figur 4. Strømningssimulering af mælk ved en middelstrømningshastighed på 2 m/s i rørbøjning og lige rør (forskydningshastigheden er indtegnet med farveskala).

Det er fundet, at der sker en markant ændring i flødes sensitivitet overfor forskydning mellem et fedtindhold på 30% og 35%, sådan som det ses i figur 5. Uden at denne effekt kan forklares i dybden er det konklusionen at dette har en sammenhæng med den pakningsgrad som mælkefedtkuglerne har i væsken. Jo større pakningsgrad jo større er risikoen for at der sker sammenstød mellem fedtkugler, hvilket forventes at medvirke til det observerede fænomen.

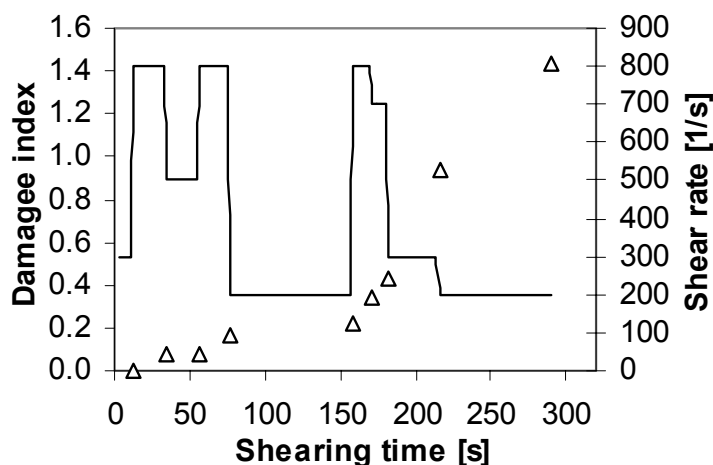


Figur 5. Beskadigelse af fløde med forskelligt fedtindhold ved forskellige forskydningsbelastninger som funktion af belastningstiden.

Resultaterne viser endvidere at fløde under normal procesbehandling udsættes for forskydningshastigheder, der er tilstrækkeligt høje til at forårsage beskadigelse. Studier har også vist at der kan ses forskel på den behandling som kommercielle flødeprodukter har afhængigt af, hvilket mejeri de kommer fra. Hvorvidt beskadigelsen udmønter sig i dannelse af fløde-prop afhænger af den konkrete proces.

Der er foretaget en række afprøvninger i pilot plant med centrifuger og varmevekslere og det er konklusionen at selv om de aktuelle forskydningspåvirkninger er umulige at bestemme eksperimentelt at den udviklede beskadigelses-indeks metode stadig kan anvendes til monitorering af beskadigelsesgraden.

Der er udført en række forsøg, der leder til at der kan lede til forbedret kvalitetsoptimering og styring afprøvet under reelle processtilstande. Det at Beskadigelses-indeks metoden kan opsummere den beskadigelse, der sker som funktion af en given proceshistorie kan bruges til at etablere modeller for konkrete processer (også industrielle) således at der kan designes en optimal styringsstrategi. I projektet er dette ikke taget uden for pilot plant skala og undersøgelserne er begrænset til enkeltstående operationer, hvor de væsentligste for beskadigelse - nemlig separationen, varmebehandling og den generelle pumpning - er studeret.



Figur 6. Proceshistorie med indtegnet beskadigelses-indeks

Der er udført nogle eksempler på implementering af principper for optimeret drift i strømning-beregnings-modeller og processtyring, således at beregnede opholdstidsfordelinger kan korreleres til resultaterne fra projektet. Specielt eksemplet med fløde beskrevet ovenfor er centralt for dette.

Konklusion

Beskadigelses-index metoden, som er udviklet i nærværende projekt, kan bestemme fedtkuglebeskadigelse i fedtholdige mælkeprodukter. Bestemmelsen sker ud fra en observeret stigning i viskositeten, der korrelerer fint til ændring i fedtkuglestørrelsesfordelingen og middelværdien for denne fordeling i takt med at flere fedtkugler agglomererer som resultat af beskadigelsen. Metoden kan bestemme meget små beskadigelses grader, der endnu ikke er kritiske for produktkvaliteten. Konkret er det vist, at en ændring på 1% kan opfanges af metoden. Metoden kan benyttes til at følge den akkumulerede beskadigelse på et produkt gennem en proceslinie, således kan en sammenhæng til proceshistorien og indflydelsen af en forskydnings- og temperaturprofil bestemmes. Resultaterne viser, at de relevante procesparametre er forskydningshastigheden, temperaturen, fedtindholdet og den historie, som produktet har oplevet. Det er vist at en tidligere forskydningspåvirkning huskes og lagres i produktet. F.eks. kan en ekstrem forskydningspåvirkning tidligt i et procesforløb være utilstrækkeligt til at forårsage beskadigelse på det givne tidspunkt men forårsager at tærsklen for hvad der på et senere tidspunkt kan forårsage en synlig beskadigelse sænkes betragteligt. Dette vurderes som det mest signifikante resultat fra projektet.

Resultaterne omfatter et studie af sammenhængen mellem fedtindhold og labilitet for beskadigelse og ligeså temperaturens betydning her for. Det var naturligvis på forhånd kendt at fedtindhold og procestemperatur spiller en væsentlig rolle, det nye er at dette kvantificeres. Metoden kan derfor bruges sammen med en strømningeberegning af hvilken forskydningsprofil produktet oplever i en given proces for at kunne benytte resultaterne under udstyrsdesign.

Udgangspunktet om at der findes en fast middelhastighed som ikke må overstiges ved pumpning er tilbagevist, da produkt og strømningshastighed samt f.eks. rør dimensioner har indflydelse på processen. Dermed er resultaterne særdeles brugbare for mejeriindustrien såvel som producenter af procesudstyr.

Det vurderes at projektet har opfyldt det opstillede formål om end, der i projektet har været fokuseret mere på kvantificering af beskadigelse end planlagt, hvilket naturligvis har betydet at andre dele har fået mindre attention. De opnåede resultater bidrager væsentligt til forståelsen af interaktion mellem flødeprodukter og produktionsprocesser.

Publikationer og offentliggørelser

1. Artikler i internationale tidsskrifter (manuskripter under udarbejdelse)
 - a. Evidence of shear damage of milk in production systems (to be submitted to Innovative Food Science and Emerging Technologies)
 - b. The processing history effect on milk products emulsion stability (to be submitted to Milchwissenschaft)
2. Indlæg ved faglige konferencer
 - a. Nielsen, J.S. & Friis A. 2000. Careful processing of milk. Poster ved LMC konference
 - b. Nielsen, J.S. & Friis A. 2001. Shear induced damage in milk products. Poster ved LMC konference.

- c. Nielsen, J.S. & Friis A. 2002. Careful processing of milk – An approach of a process engineer. Poster og abstract ved LMC konference.
- d. Nielsen, J.S., Jensen, B.B.B. & Friis A. 2002. Determining shear damage of milk in process equipment, Proceedings of FoodSim 2002 SCS Europe publication, ISBN: 90-77039-08-2

3. Faglige artikler

- a. Nielsen, J.S. & Friis A. 2002. Skånsomhed – ikke blot en blød kvalitetsparameter?, Mælkeritidende Årgang 115, Nr. 15, 345-347.

Forskeruddannelse

Projektøkonomien har været anvendt på ansættelse af en Ph.D.-studerende, Jesper Sæderup Lindeløv (JSL). JSL har indleveret en afhandling, der mangler enkelte uddybende forklaringer omkring Beskadigelses-indeks metoden. De to artikler der er leveret manuskript til i afhandlingen mangler ligeledes endelig justering for at blive indsendt mhp. offentliggørelse.

Samarbejdsrelationer national og internationalt

- Samarbejdsrelationerne er primært holdt til styregruppemøderne i MFF, for så vidt gælder det mejeritekniske område.
- Der har været samarbejde med Institut for Produktion og Ledelse, DTU og MAPP Centeret ved Handelshøjskolen i Århus i den del der vedrører finansieringen fra FELFO.
- Der har været en spirende kontakt til Alfa Laval omkring design af procesudstyr og måling af procesbeskadigelse i proceskomponenter. Denne kontakt kom sent i projektet og nåede ikke at blive konkret. Dette arbejde søges dog inkluderet i andre studier af udstyrskomponenter, der stadig pågår med virksomheden.

Resultaternes praktiske og videnskabelige betydning og nye problemstillinger

Projektet vurderes at have betydning for design af mejerier i fremtiden. Det er en af konklusionerne at når blot temperaturen af mælken holdes under 5°C så er mælkefedtkuglerne meget stabile og en belastning vil ikke lagres nævneværdigt i produktet. Dette betyder, at der kan reduceres rørdimensioner i indvejninger på mejerierne og at pumpehastigheden ved fyldning af tankbiler kan øges. Yderligere viser resultaterne udstyrsdesignere og mejerikyndige, der dimensionerer mejerier, at der skal fokuseres specielt på skånsomhed når temperaturen er mellem 5°C og 37°C, da mælkefedtkuglerne her går fra krystallinsk form til at smelte fuldstændigt. Yderligere er der indikationer der viser, at fløde når den separeres til et fedtindhold over 30% bliver meget følsom overfor forskydningspåvirkning. I enkelttilfælde kan det derfor være relevant at se på, om der skal optimeres på separationsprocessen i skummesalen.

Videnskabeligt set er det vist, at Beskadigelses-indeks metoden virker under kontrollerede forhold i det akademiske miljø. Det vil være relevant at tilpasse metoden til anvendelse i industrielle processer lige som der stadig ligger en del

spændende forskningsopgaver i at udnytte strømingsberegningsmodeller til at forudsige beskadigelse før en proces designes fysisk. Resultaterne fra projektet indgår i den forskning, der i øvrigt udføres på BioCentrum-DTU.

Relationer til andre / nye mejerirelaterede samarbejdsprojekter

Så vidt vides er der ikke konkrete projekter med direkte relation til det nærværende projekt. Resultaterne søges inkluderet i projektet "Meeting high quality demands under flexible processing – innovations in modelling of interactions between food quality and production conditions", der også er finansieret af FELFO.

