

Modellering af procesforhold under kontinuerlig varmebehandling

Karlson, Torben; Szabo, Peter; Hassager, Ole; Friis, Alan; Adler-Nissen, Jens

Published in:
Dansk Kemi

Publication date:
1997

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):

Karlson, T., Szabo, P., Hassager, O., Friis, A., & Adler-Nissen, J. (1997). Modellering af procesforhold under kontinuerlig varmebehandling. Dansk Kemi, 78(11), 10-13.

DTU Library

Technical Information Center of Denmark

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Modellering af procesforhold under kontinuerlig varmebehandling

Af Torben Karlson, Peter Szabo, Ole Hassager, Institut for Kemiteknik, DTU

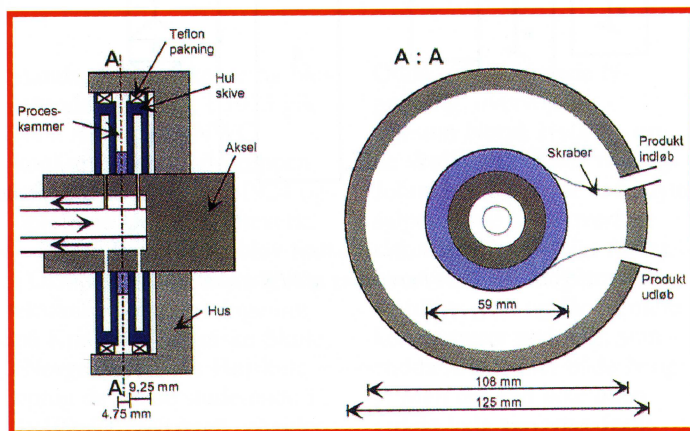
og Alan Friis, Jens Adler-Nissen, Institut for Bioteknologi, DTU

Kontinuerlig varmebehandling

Kontinuerlig varmebehandling af flydende levnedsmidler har været udnyttet af mejeriindustrien til varmebehandling af mælk [1] siden 1950'erne. Inden for de sidste årtier har andre grene af fødevarerindustrien fået øjnene op for de fordele, kontinuerlig varmebehandling af flydende levnedsmidler tilbyder. Teknikken benyttes derfor i stadig flere processer [2].

Kontinuerlig varmebehandling er karakteriseret ved, at fødevarer i en kort periode udsættes for en kraftig varmepåvirkning efterfulgt af hurtig afkøling. Sådanne processer betegnes overordnet High-Temperature-Short-Time (HTST). HTST-processer omfatter en bred vifte af procesbetingelser med hensyn til holdetid og temperatur spændende fra lavpasteurisering til egentlig sterilisering.

Mikroorganismer er sammenlignet med næringsstoffer såsom vitaminer og proteiner generelt betydeligt mere følsomme overfor varme. Derfor vil en kort kraftig varmepåvirkning bevirke en relativt større reduktion af antallet af mikroorganismer end af næringsværdien. Samtidig vil fødevarerens oprindelige organoleptiske egenskaber såsom farve, smag, tekstur og udseende i højere grad kunne bevares ved en kort kraftig varmepåvirkning end ved en længerevarende moderat varmepåvirkning. Disse velkendte principper er basis



Figur 1. Designtegninger af den co-roterende skrabevarmeveksler.

for, at man ofte med fordel kan anvende HTST-processer til fremstilling af højkvalitets-levnedsmidler.

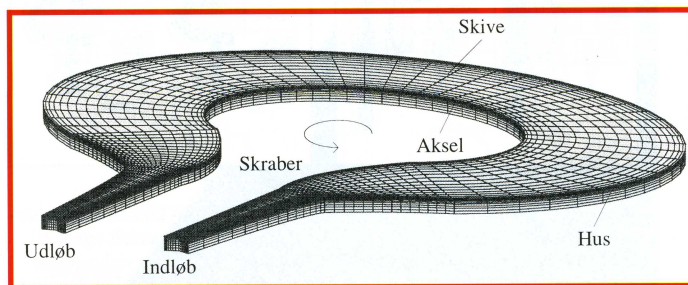
Den co-roterende skrabevarmeveksler

I dette arbejde har vi valgt at modellere den såkaldte co-roterende skrabevarmeveksler (co-rotating disc scraped-surface heat exchanger (CD-HE)), der er vist i figur 1. CD-HE, der betegner et nyt design inden for skrabevarmevekslere, er opfundet af professor Z. Tadmor (fodnote 1) [3]. Den konstruktion, der er vist i figur 1, er den første fungerende prototype af dette design. Prototypen blev bygget i et samarbejde mellem professor Z. Tadmor og professor J. Adler-Nissen.

Varmeveksleren består af to hule skiver, der er fastgjort på

en roterende aksel. Skiverne er omgivet af et stationært hus. Monteret mellem skiverne ses skraberne, der adskiller ind- og udløbet samtidig med, at den kontinuerligt skraber de roterende skivers overflade. Volumen, der omkranses af skiverne, akslen, huset og skraberne fungerer som varmevekslerens proceskammer. Som varmekilde benyttes overophedet vand, der cirkuleres inde i de hule skiver.

Tidligere undersøgelser af A. Friis [4] har vist, at de mest fordelagtige procesforhold opnås, når skiverne roteres i samme retning som hovedstrømmen (medrotation). Under sådanne betingelser opnås en mere veldefineret opholdstidsfordeling samt en højere varmeovergang



Figur 2. Løsningsområdet, der omfatter halvdelen af proceskammeret, er opdelt i et endeligt antal delvolumener, elementer, hvert omgivet af otte knudepunkter. Der løses for trykket i hvert element og for hastighed og temperatur i hvert knudepunkt. Cirkelbuen indikerer skivernes rotationsretning.

sammenlignet med rotation modsat hovedstrømmen (modrotation). Tillige viste undersøgelserne, at rotations-hastigheden har en afgørende indflydelse på procesforløbet. Således observeres der for det aktuelle design, at omdrejningshastigheden skal overstige 50 omdr./min. for at sikre en god opblanding. De målte varmeovergangstal ligger mellem 300 og 600 $\frac{W}{(m^2K)}$

for medrotation i intervallet 50 til 150 omdr./min.

For modrotation er varmeovergangstallet bestemt til cirka 200 $\frac{W}{(m^2K)}$

Numerisk model af varmeveksleren

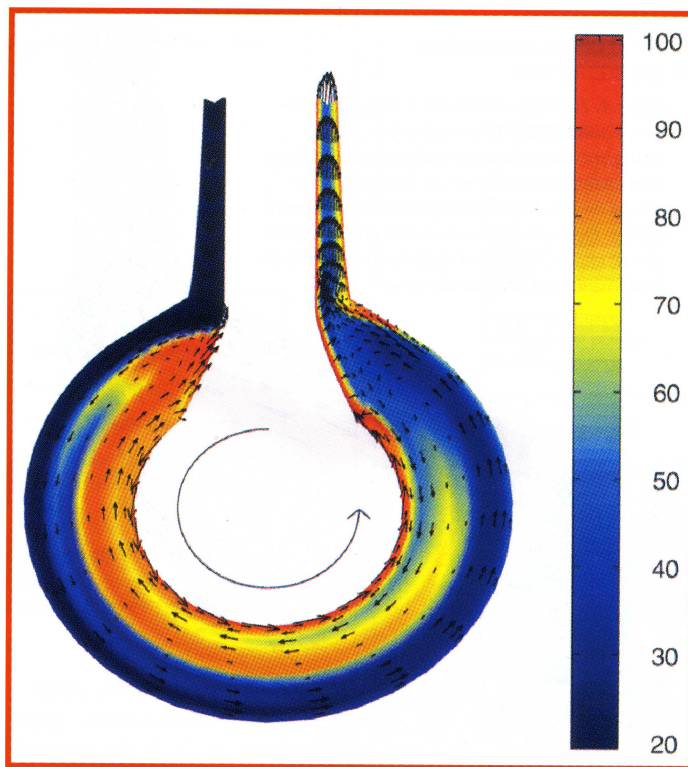
For at få information om, hvad der foregår inde i varmeveksleren med hensyn til produktets opholdstid og varmebehandlingsgrad, skal de tre bevarelsesligninger, der bestemmer tryk-, strømnings- og temperaturfeltet, løses. Det drejer sig om masse-, impuls- og energibevarelse. Kun sjældent er det muligt at løse disse analytisk og derfor er det nødvendigt at approksimere en løsning. Dette kan gøres på flere måder. En af metoderne, Finite Element Metoden (FEM), som er benyttet i dette projekt, er beskrevet af Zienkiewicz og Morgan [5]. FEM tager udgangspunkt i en diskretisering af løsningsområdet (her proceskammeret), der opdeles i et endeligt antal delvolumener kaldet elementer. Hvert element er givet ved otte knudepunkter. Bevarelsesligningerne løses for trykket i hver elementkasse og for hastighed og temperatur i hvert knudepunkt. Information omkring de valgte procesbetingelser såsom produktets volumenstrøm og indløbstemperatur

samt skivernes rotations-hastighed og temperatur indbygges ved at tildele de relevante knudepunkter på randen faste værdier. På grund af varmevekslerens symmetriske konstruktion er der antaget symmetri i hastigheds- og temperaturfeltet. Dette reducerer løsningsområdet til at omfatte halvdelen af proceskammeret. Diskretisering af løsningsområdet er illustreret i figur 2.

I forbindelse med et tidligere ph.d.-projekt på Institut for Kemiteknik er et program [6], der udnytter FEM til løsning af bevarelse-ligningerne, blevet udviklet. Dette program afvikles på et IBM RISC 6000/355 computersystem. Til en kørsel med modellen vist i figur 2 skal der løses ca. 90.000 ligninger, hvilket kræver omkring 50 Mbyte RAM og ca. 1,7 Gbyte harddisk. En kørsel tager typisk 36 timer.

Strømning og temperaturfelt

Løsningen af ligningerne i



Figur 3. Hastighedsvektorer og temperaturkonturer (C) i et plan midt mellem en af skiverne og symmetriplanet. Skivens rotationsfrekvens er 100 omdr./min og rotationsretningen er vist med cirkelbuen i midten.

den numeriske model resulterer i et diskret tredimensionalt hastigheds- og tempe-

raturfelt, som indeholder informationer til beskrivelse af procesforholdene i varme-

veksleren. Det er vigtigt at vide, om der er produkt, der passerer gennem varmeveksleren uden at blive varmebehandlet eller om der er produkt, der får en for kraftig varmebehandling. Den optimale proces ville være, at produktet udsættes for en ensartet varmepåvirkning. Ud fra modelløsningen er det muligt at afgøre, hvorledes varmepåvirkningens ensartethed afhænger af ydre procesbetingelser såsom skiverotationen og volumenstrømmen.

Som illustration af en del af hastigheds- og temperaturfeltet fra en simulering med skiverotationsfrekvens på 100 omdrejninger pr. minut (omdr./min) er der i figur 3 vist hastighedsvektorer og temperaturkonturer i et plan midt mellem den ene af skiverne og symmetriplanet. Her ses tydeligt en tilbagestrømning modsat rotationsretningen af varmt produkt inde ved akslen. Denne tilbagestrømning skyldes, at de roterende skiver trækker mere produkt med sig, end

- din partner i laboratoriet



Måling af pH og ledningsevne

METTLER TOLEDO lancerer nu en helt ny serie af stationære pH-metre - Quattro. Serien er designet til at kunne leve op til de mest krævende laboratoriemiljøer og kunne dække alt fra rutineopgaver til GLP kontrollerede analyser.

- 4 forskellige pH-metre og 1 ledningsevne måler
- Leveres inkl. elektrodearm og strømforsyning
- Bredt program af tilbehør og forbrugsartikler
- Brugervenligt

København
Tlf. 43 27 08 00
Fax 43 27 08 28
Naverland 8
2600 Glostrup

Århus
Tlf. 87 46 08 46
Fax 87 46 08 56
Egsagervej 16
8230 Åbyhøj

www.mt.com

METTLER TOLEDO

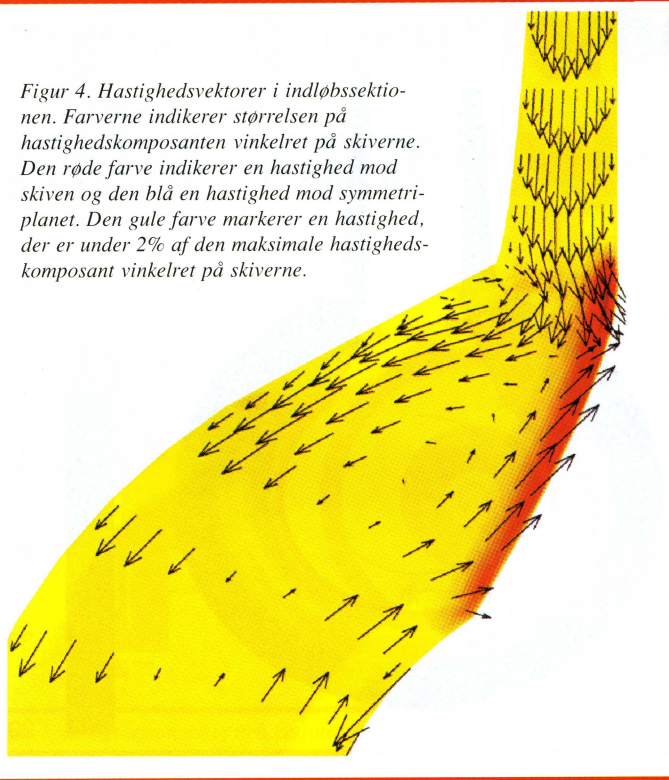
Modellering af procesforhold

der strømmer ind i proceskammeret. For at massebalancen kan være opfyldt, må en del af produktet, der trækkes med af skiverne, strømme tilbage til proceskammerets indløb. Dette fænomen bevirker en opblanding af varmt produkt fra udløbssektionen med koldt produkt fra indløbet. Opblandingen er illustreret i to dimensioner i figur 3. Det tredimensionelle hastighedsfelt i ind- og udløbssektionen er illustreret i henholdsvis figur 4 og figur 5. I disse figurer indikerer farverne hastigheden vinkelret på skiverne. For et plan mellem skiven og symmetriplanet symboliserer farven rød en hastighed mod skiven og farven blå en hastighed mod symmetriplanet. Af figur 4 ses det, at en del af det tilbagestrømmende produkt tvinges op mod skiven, hvor det påny vil blive trukket med skiven til udløbssektionen. Ligeledes ses det, at der i udløbssektionen sker en opblanding af produkt kommende ude fra huset med produkt oppe fra den varme skive.

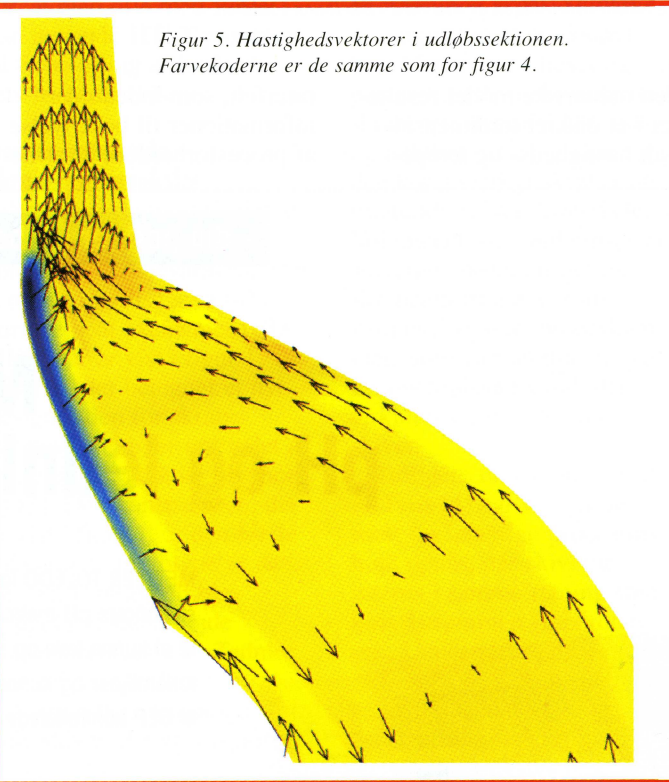
Opholdstidsfordelinger

Førnævnte visualisering af strømningsfeltet kan virke uoverskuelig, hvilket nødvendiggør en efterbehandling af simuleringens resultater, således at procesmæssige karakteristika kan udledes. Et vigtigt karakteristika for processen er opholdstidsfordelingen, der beskriver hvor stor en procentdel af produktet, der opholder sig i varmeveksleren i et bestemt tidsinterval. En metode til beregning af opholdstids-

Figur 4. Hastighedsvektorer i indløbssektionen. Farverne indikerer størrelsen på hastighedskomponenten vinkelret på skiverne. Den røde farve indikerer en hastighed mod skiven og den blå en hastighed mod symmetriplanet. Den gule farve markerer en hastighed, der er under 2% af den maksimale hastighedskomponent vinkelret på skiverne.



Figur 5. Hastighedsvektorer i udløbssektionen. Farvekoderne er de samme som for figur 4.



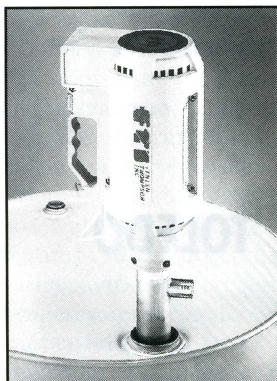
fordelingen [7] er at introducere partikler i indløbet og ved tidsintegration af hastighedsfeltet spore deres bane gennem varmeveksleren. Ud fra de enkelte partiklers opholdstid kan en fordeling beregnes. Figur 6 viser kumulerede opholdstidsfordelinger for forskellige skiverotationshastigheder samt for stempelstrømning. Af kurverne i figuren kan aflæses, hvor mange procent af partiklerne, der har forladt varmeveksleren til en given tid. Tiden er gjort dimensionsløs med middellopholdstiden givet ved volumenstrømmen divideret med varmevekslerens volumen.

For stillestående skiver (0 omdr./min) ses, at den kumulerede opholdstidsfordeling følger den analytisk beregnede fordeling for en-akset rørstrømning [8]. Ved en skiverotationsfrekvens på 50 omdr./min forskydes kurven til venstre langs tidsaksen, hvilket betyder, at en del af produktet passerer relativt hurtigt igennem varmeveksleren. Omkring $F \approx 0.8$ ses 50 omdr./min-kurven at krydse 0 omdr./min-kurven for derefter at ligge under den. Dette betyder, at visse partikler opholder sig længere i varmeveksleren end de ville have gjort ved 0 omdr./min, hvilket er en konsekvens af den tidligere nævnte tilbagestrømning. Samme mønster ses for en skiverotationsfrekvens på 100 omdr./min, hvor kurven krydser 0 omdr./min-kurven ved $F \approx 0.6$. Det vil sige, at en større del af partiklerne oplever tilbagestrømningen.

Figur 6 viser desuden, at opholdstidsfordelingen for 50 omdr./min har en længere hale end fordelingen for 100 omdr./min. Denne tendens bekræftes af eksperimenter med en Newtonsk væske (A. Friis [4]).

Fremtidigt perspektiv

Den opbyggede model giver resultater, der er i god overensstemmelse med det analytiske og eksperimentelle arbejde af Edelist og Tadmor [9]. Modellen kan derfor benyttes til at beskrive procesforhold i varme-



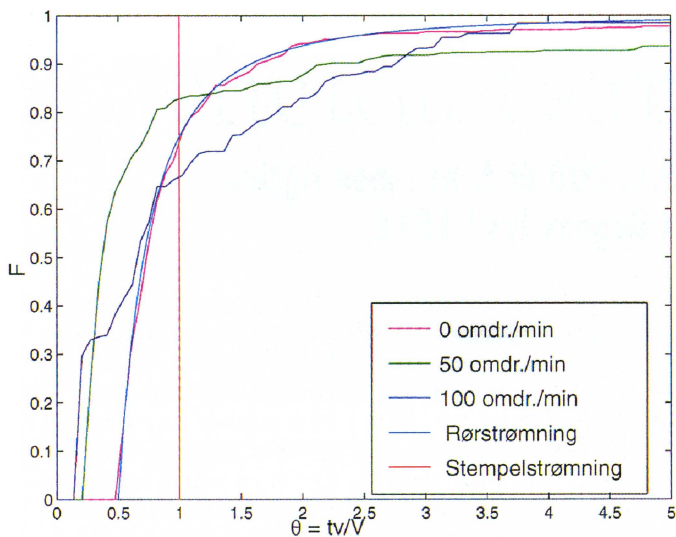
Fad- og beholderpumper

Til kemikalier, olie m.m. i tromler/pallettanke

- Elmotorer også Ex-udførelse
- Trykluftmotorer
- Forskellige materialer, dim. og længder
- Til tynde og tykke væsker
- Vi lagerfører også små velegnede selvansugende pumper

**PUMPE
GRUPPEN A/S**

Lundtoftegaardsvej 95
DK-2800 Lyngby
Tlf.: 45 93 71 00
Fax: 45 93 47 55



Figur 6. F-diagrammer for forskellige skiverotationsfrekvenser. Graferne viser procentdelen af partiklerne, der har forladt varmeveksleren til en given tid. Tiden er gjort dimensionsløs med middellopholdstiden (tv/V).

veksleren. Den information, der ligger i opholdstidsfordelinger er dog utilstrækkelig til at kunne estimere den totale varmepåvirkning af et produktvolumen. Til en sådan estimering skal temperaturhistorierne langs partikelbanerne evalueres, hvilket er en af de foreliggende opgaver. Målet er ud fra modellen at kunne udlede en given varmebehandlings indflydelse på produktets kvalitetsparametre.

Dette projekt er et samarbejde mellem Institut for Kemiteknik (KT) og Institut for Bioteknologi (IBT) ved Danmarks Tekniske Universitet. Projektet er en kombination af to områder inden for ingeniørfaget. Den basale forståelse af enhedsoperationer og modellering er KT's bidrag til projektet. IBT's bidrag består i forståelse af interaktionen mellem processen og levnedsmidlet.

Referencer:

- [1] H. Burton. *Ultra-High-Temperature Processing of Milk and Milk Products*. Elsevier Applied Science, Barking, England, 1. edition, 1988.
- [2] E. H. Reimerdes. COST - new impacts for food science and food industry : view from outside. In *Conference Proceedings COST 91 - bis Concluding Seminar, Gothenburg, Sweden, October 2-5, 1989*, editors, P. Zeuthen, J. C. Cheftel, C. Eriksson, P. Gormley, T. R. Linko, and K. Paulus, Elsevier Applied Science, London and New York, 1990, pages 1.4-1.11.
- [3] Z. Tadmor. Co-rotating disc scraped-surface heat exchanger. *Food Technology*, pages 67-73, Dec. 1985.
- [4] A. Friis. *Laboratory-size Co-rotating Disc Scraped-Surface Heat Exchanger for Food Processing*. PhD thesis, Department of Biotechnology, Technical University of Denmark, DK-2800 Lyngby, 1994.
- [5] O.C. Zienkiewicz and K. Morgan. *Finite Elements and Approximation*. Wiley-Interscience, New York, 1983.
- [6] Peter Henriksen. *Simulation of Ultrafiltration*. PhD thesis, Institut for Kemiteknik, Danmarks Tekniske Højskole, DK 2800 Lyngby, 1991.
- [7] T. Karlson, A. Friis, P. Szabo, and O. Hassager. Prediction of residence time distributions in food processing machinery. In *Annual Transactions of the Nordic Rheology Society*, volume 4, pages 41-43, 1996.
- [8] P.V. Danckwerts. Continuous flow systems, distribution of residence times. *Chem. Engng. Sci.*, 2:1-13, 1953.
- [9] I. Edelist and Z. Tadmor. Velocity profiles in corotating disk processors. *Polymer Process Engineering*, 1(1):1-36, 1983.

**DOMINATOR TRYKLUFTDREVNE DOBBELTMEMBRANPUMPER
DET BREDESTE PROGRAM PÅ MARKEDET**

ANVENDELSE:

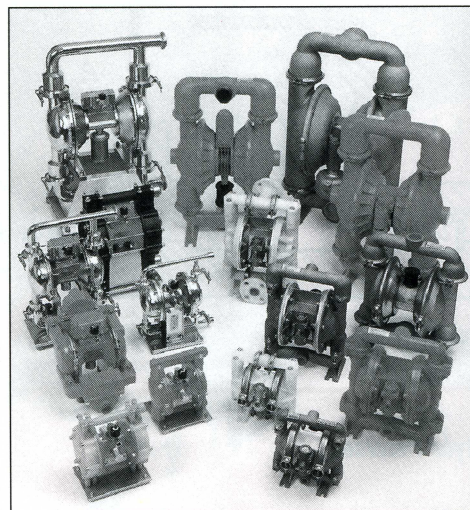
Kemikalier
Opløsningsmidler
Olier
Syrer
Baser
Farver
Lim
Fad-pumpe
Transportabel pumpe
Filterpressepumpe

EGENSKABER:

Selvansugende
Lækagefri
Eksplosionsfri
Automatisk flowregulering
Ubegrænset tørtløb

Automatisk stop ved blokering

Egnet til slidende og forurenede væske



DOMINATOR PUMPER ApS • Rønnebærvej 2
3200 Helsinge • Tlf. 48 79 69 15 • Fax 48 79 69 12

PUMPE-TEKNIK

Doseringspumper

JESCO

til alle formål

**Membran og stempel-pumper for doserings-systemer til:
Kemisk, farmaceutisk, fødevarer industri samt vandbehandling**

info@granzow.dk
www.granzow.dk

Forlang katalog tilsendt

GRANZOW

Sjælland: ☎ 43 20 26 00. Fax 43 20 26 99
Jylland: ☎ 86 24 26 00. Fax 86 24 26 99