

Droogprocessen opereren vaak suboptimaal. Dit heeft te maken met de complexe afweging van energiekosten, productkwaliteit, droogerontwerp en veiligheid. NIZO food research kan bij het vinden van oplossingen assisteren middels een stapsgewijze optimalisatie-aanpak. Bij deze aanpak worden naast proces- en productscans ook simulatietechnieken gebruikt. Het blijkt dat al snel besparingen van 10-20% in de operationele kosten kunnen worden gerealiseerd. Naast sproeidrogen vinden ook droogtechnologieën zoals walsdregen, zeoliedrogen en vriesdregen een steeds breder toepassingsgebied.

MAARTEN SCHUTYSER, HAN STRAATSMA,  
HADIYANTO, COEN AKKERMAN,  
PETER DE JONG

# NIZO food research komt met optimalisatie-

Acute vervuilingproblemen, een hogere productiecapaciteit of een afwijkende productkwaliteit vormen vaak de aanleiding om de droogcondities en soms zelfs het ontwerp van een droogproces te herzien. NIZO kan daarbij de voedingsmiddelenindustrie assisteren met een gestructureerde optimalisatie-aanpak. Geavanceerde analysetechnieken en simulatietechnieken worden toegepast om zowel de procesefficiëntie als de productiekwaliteit te optimaliseren. Daarnaast wordt het met de hogere eisen aan productkwaliteit en de stijgende energieprijzen steeds interessanter om naast sproeidrogen ook droogtechnieken zoals walsdregen, Zeodration en fluid bed-drogen toe te passen.

## Sproeidrogen

Bij sproeidrogen wordt het te drogen product, dat veelal reeds met een indamper of membraaninstallatie is voorgeconcentreerd, verstoven en in contact gebracht met hete lucht. Door de sterke waterverdamping blijft de temperatuur van de drogende druppels laag. Deze droogtechniek is daarom zeer geschikt voor hittegevoelige producten zoals voedingsmiddelen en farmaceutische producten.

In de praktijk wordt gestreefd naar een zo hoog mogelijke capaciteit, een zo laag mogelijk energieverbruik en een zo lang mogelijke draaitijd zonder vervuiling van de installatie. Voor capaciteit en energieverbruik is het gunstig om de inlaatluchttemperatuur zo hoog mogelijk en de uitlaatluchttemperatuur zo laag mogelijk te kiezen. Met name de capaciteitswinst is spectaculair: een verhoging van de inlaatluchttemperatuur met 10°C (bijvoorbeeld van 180°C naar 190°C) levert een capaciteitswinst van circa 10%. Hogere temperaturen hebben echter - behalve een hoger risico op brand - ook procestechnische nadelen:

- een hogere luchtinlaattemperatuur betekent een hogere thermische belasting van het product, wat leidt tot slechtere producteigenschappen
- een hoger poedervochtgehalte bij gelijkblijvende uitlaatluchttemperatuur leidt tot een plakkeriger product en meer vervuiling



Afb. 1 GMF Walsdroger

- een gelijkblijvend poedervochtgehalte bij hogere uitlaatluchttemperatuur betekent eveneens een hogere thermische belasting van het product

Het is dus belangrijk om met alle factoren rekening te houden en tot een goed compromis te komen tussen producteigenschappen enerzijds en capaciteit, energieverbruik en veiligheid anderzijds. NIZO heeft daarvoor een gestructureerde aanpak ontwikkeld.

## Nadrogging

In de praktijk worden de sproeidrogers vaak gevolgd door een (vibro-) fluid bed-droger om het poeder na te drogen tot het gewenste eindvochtgehalte en te koelen tot een voor opslag geschikte temperatuur. Ook wordt steeds meer gebruikt gemaakt van MSD's (Multi Stage Dryers) met een geïntegreerd fluid bed in de conus van

# stapsgewijze -aanpak droogprocessen



de wals gebracht, die aan de binnenkant wordt verwarmd. Na een omwenteling schraapt een mes het gedroogde product als een film of als vlokken van de wals. De walsdroger is uitermate geschikt voor kleverige en hoogviskeuze producten, die niet of moeilijk zijn te sproeidrogen. Hittegevoelige producten zijn te drogen op lagere temperaturen door de droger onder verlaagde druk te bedienen. Het thermisch rendement van een walsdroger is gunstig, omdat er geen energie verloren gaat in de hete afvoerlucht, zoals bij sproeidrogers. Zie ook website <http://www.gmfgouda.com/drum-dryer/drum-dryer-nl.html> voor meer informatie.

**Zeodration.** Een interessante alternatieve droogtechnologie voor vriesdrogen is Zeodration. De combinatie van vacuümcondities en zeoliet maakt het mogelijk om onder relatief milde condities te drogen. Het zeoliet (moleculaire zeef) kan selectief watermoleculen adsorberen, terwijl de aromacomponenten in het product blijven. Ten opzichte van conventioneel

de droger. Het poederbed wordt daarbij met een extra luchtstroom intensief in werveling gehouden. Deze drogers kunnen vaak met hogere inlaatluchttemperaturen werken, omdat het fluid bed relatief vochtige poeders kan opvangen zonder dat daarbij klontvorming en wandvervuiling optreedt. Bovendien zijn deze drogers geschikt om poeders met een hoge graad van agglomeratie te produceren. Met name voor instant poeders is dit een gunstige eigenschap.

## Andere droogtechnieken

Naast sproeidrogen bieden walsdrogen, zeolietdrogen (Zeodration) en fluid bed-drogen mogelijkheden om poeders te maken met unieke eigenschappen tegen beperkte operationele kosten.

**Walsdrogen.** Bij walsdrogen (afb. 1) wordt het te drogen product in een continu proces in een dunne filmlaag op de buitenzijde van de roteren-

vriesdrogen is het energieverbruik 50% lager, wat een groot voordeel is. Recent is het nieuwe Bucher Zeodration-systeem succesvol getest voor het drogen van probiotica, nutraceuticals, fruit en aromatische sausen. Er is onder andere gevonden dat in vergelijking met gewoon vriesdrogen de smaak van kiwi en yoghurt beter behouden blijft.

**Glatt fluid bed.** In fluid bed-systemen kunnen complexe, hittegevoelige producten worden gedroogd, geagglomereerd en gecoat. In een nieuw systeem van Glatt (Procell) kunnen specifieke kleine hoeveelheden product gemakkelijk worden gefluidiseerd door gebruik te maken van een smalle luchtspleet voor de luchtdistributie (afb. 2). Met een speciale uitbreiding, waarbij fijne deeltjes via een zig-zag zeef worden gere-tourneerd, kan een continu spouted bed-systeem worden gebouwd. Dit systeem is bij uitstek geschikt om deeltjes op te bouwen uit verschil- ➔



Afb. 2 Glatt fluid bed-droger

lende lagen. Zo is recent ervaring opgedaan met het encapsuleren van vet met suiker. Deze encapsulatie maakt het mogelijk beide materialen homogeen in het beoogde product te verdelen.

### Stapsgewijze optimalisatie

Bij de optimalisatie van een nieuw te ontwerpen of een bestaande installatie is een stapsgewijze aanpak aan te bevelen (zie kader 'Stapsgewijze aanpak voor droogoptimalisatie'). NIZO heeft hiertoe in samenwerking met de voedingsmiddelenindustrie een methode ontwikkeld waarmee inmiddels vijftien jaar ervaring is opgedaan. Vaak zijn niet alle stappen van de methode noodzakelijk. De ervaring leert dat met de gestructureerde aanpak al snel besparingen van 10-20% in de operationele kosten kunnen worden gerealiseerd.

### Poeder-analyse

Voor optimalisatie van het droogproces zijn enkele poedereigenschappen van groot belang. Het gaat daarbij met name om de sorptie-isothermen, de plakkerigheid en de zelfontbrandingseigenschappen.

*Sorptie-isothermen.* De sorptie-isothermen beschrijven de wateractiviteit van het product als functie van het vochtgehalte bij een bepaalde temperatuur. Hygroscopische producten hebben een veel lagere wateractiviteit dan minder hygroscopische producten bij een zelfde vochtgehalte. Voor het uitvoeren van voorspellende berekeningen is het essentieel de sorptie-isothermen van het betreffende product te kennen. Een probleem dat vaak optreedt bij het bepalen van de sorptie-eigenschappen is kristallisatie van bepaalde componenten, bijvoorbeeld suikers. Het drogen in sproeidrogers gaat zo snel dat er meestal geen tijd is voor kristallisatie en suikers blijven daarom in de amorfe toestand. Bij het bepalen van de sorptie-isothermen is vaak langere tijd nodig om tot sorptie-evenwicht te komen. Met name bij hoge vochtgehalten en temperaturen kan dan wel kristallisatie optreden. Een product heeft in gekristalliseerde toestand echter hele andere sorptie-eigenschappen dan in amorfe toestand. Analyses waarbij kristallisatie optreedt zijn daarom onbruikbaar. Met een geavanceerd apparaat (VTI SGA-CX vapor sorption analyser) kunnen sorptie-isothermen snel en nauwkeurig worden bepaald.

*Plakkerigheid.* Voor veel droogtoepassingen (bijvoorbeeld gehydrolyseerde of zure wei en andere producten met een hoog suikergehalte) is de

## TABEL 1 ANALYSES VOOR KARAKTERISEREN VAN POEDERS

### RECONSTITUTIE-EIGENSCHAPPEN:

- Dispersibility
- Wettability
- Insolubility index
- White flecks

### STRUCTUUR-EIGENSCHAPPEN:

- Bulk density
- Particle density
- Occluded air
- Interstitial air
- Bulk porosity
- Particle size distribution
- Mechanical stability of agglomerated powder

### OVERIGE EIGENSCHAPPEN:

- Colour
- Sorptie-isothermen
- Stickiness
- Self ignition temperature

plakkerigheid een kritische parameter. Deze eigenschap is afhankelijk van productcompositie en - tijdens het drogen - vooral van de temperatuur en de luchtvochtigheid. Plakkerigheid kan een gewenste agglomeratie bevorderen maar ook leiden tot vervuiling of klontvorming. De plakkerigheid kon tot voor kort het beste visueel worden bepaald. Het poeder wordt daarbij op een schaalte in een klimaatkast op de gewenste condities gebracht. Door het schaalte te bewegen kan men vervolgens zien of het product wel of niet plakkerig is. In samenwerking met de TU-Delft en IPCOS heeft NIZO het initiatief genomen om DyMonT (Dynamic MoniToring) toe te passen voor de bepaling van de plakkerigheid van poeders onder dynamische omstandigheden (bijvoorbeeld in een fluid bed) [4,7,8]. Het meten van de hoge druk-fluctuaties in het fluid bed en het analyseren van die fluctuaties met de zogenaamde attractor-vergelijkingsmethode blijkt een gouden greep. Met behulp van deze methode is het mogelijk om zeer kleine veranderingen in het hydrodynamische bedgedrag waar te nemen als gevolg van een toename van de plakkerigheid. Deze techniek is in staat om de plakkerigheid van poeders te meten onder relevante droogcondities.

**Zelfontbrandingseigenschappen.** Exotherme reacties in een kluit of laag poeder kunnen meer warmte produceren dan middels warmtegeleiding kan worden afgevoerd. De temperatuur neemt dan toe, waardoor het poeder tot zelfontbranding komt. De omgevingstemperatuur die nodig is om een kluit tot zelfontbranding te brengen, wordt zelfontbrandingstemperatuur genoemd en is afhankelijk van de kluitgrootte. Bij het sproeidrogen vormen met name afzettigen in de buurt van de hete lucht-inlaat een potentieel brandgevaar. Zelfontbrandingseigenschappen kunnen worden bepaald in een daarvoor geschikte gemaakte oven. Overige poederanalyses zijn veelal relevant voor de applicatie van het poeder. De reconstitutie-eigenschappen bijvoorbeeld vertellen iets over het gedrag van een poeder wanneer het in contact wordt gebracht met een vloeistof. Tabel 1 geeft een overzicht van de analyses die toegepast worden om poeders te karakteriseren.

## Modellen

Sinds 1985 ontwikkelt NIZO food research verschillende modellen voor diverse productieprocessen, waaronder het sproeidroogproces. De modellen zijn geïmplementeerd in modules en maken onderdeel uit van een gebruikersvriende-

lijk computerprogramma (NIZO-Premia). Deze modules kunnen ook in NIZO-Premic worden gebruikt om in-line processen te monitoren en bij te sturen. Deze programma's worden als tool gebruikt voor het uitvoeren van opdrachten voor klanten. Een aantal modellen is ook voor derden beschikbaar.

Een van de eerste programma's die NIZO food research heeft ontwikkeld, is DrySPEC2 [2]. Hiermee zijn tweetrapsdrogers (sproeidroger en vi- ➔

## Stapsgewijze aanpak voor droegoptimalisatie

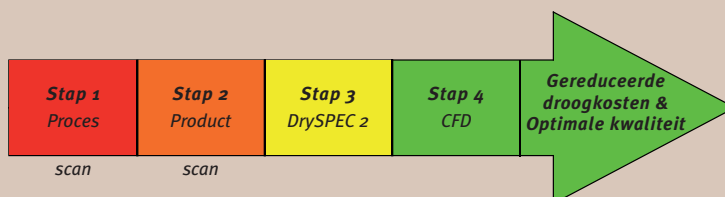
NIZO food research heeft een stapsgewijze aanpak ontwikkeld voor de optimalisatie van droogprocessen. Met deze methode kan een significante reductie van droogkosten en een verbetering van de poederkwaliteit worden gerealiseerd. De aanpak omvat vier stappen: een processcan, een productscan, een bijna-evenwichtsmodel (DrySPEC2) en een droogmodel (CFD).

**Stap 1** De processcan behelst een kritische inspectie van het droogproces en de procesomgeving door een droogexpert. Problemen liggen mogelijk niet alleen in het droogproces zelf, maar ook in de voorbehandeling (verhitting, indampen, cyclonen, etc.). Door metingen tijdens een of meerdere productieruns kunnen droogcondities nauwkeurig in kaart worden gebracht.

**Stap 2** De productscan is gericht op het analyseren van het poeder op de meest relevante eigenschappen. Hierbij kan ook de impact van temperatuur en luchtvochtigheid worden meegenomen, zodat bekend is onder welke droogcondities een optimaal product kan worden gemaakt.

**Stap 3** Met behulp van een 'bijna-evenwichts model' (DrySPEC2) worden verbanden gelegd tussen grondstofeigenschappen, droogcondities, producteigenschappen en energieverbruik. Met deze verbanden kan een optimaal werkgebied worden bepaald voor de specifieke droger en het product.

**Stap 4** Om de impact van een drogerontwerp en lokale droogcondities op de producteigenschappen te kunnen evalueren en optimaliseren, zijn er geavanceerde CFD-droogmodellen beschikbaar. CFD staat voor Computational Fluid Dynamics. De resultaten van deze modellen kunnen bijvoorbeeld bijdragen aan een verbeterd drogerontwerp of het reduceren van vervuilingproblemen.



bro fluid bed) door te rekenen (afb. 3). Het programma geeft het verband aan tussen enerzijds de eigenschappen van de grondstof en de procescondities en anderzijds de eigenschappen van het eindproduct en het energieverbruik. Als basis voor de berekening van het poedervochtgehalte van de sproeidroger wordt een 'bijna-evenwichts model' gebruikt. Voor het berekenen van de overige poedereigenschappen worden empirische relaties gebruikt. Voor deze benadering is het niet nodig om het droogproces kinetisch te beschrijven, waardoor de rekentijd zeer kort is ( $< 1$  s). Uit experimenten is gebleken dat het verschil met evenwicht voor een bepaalde sproeidroger vrijwel gelijk blijft als temperaturen en debieten worden gevarieerd. De beste werkwijze met dit model is om met gegevens van een bekende praktijksituatie het verschil met evenwicht en het warmteverlies aan de omgeving vast te stellen. Daarna is het effect van variatie in de procescondities en grondstoffeigenschappen goed te voorspellen.

Voor het drogen van hygroscopische producten is het vochtgehalte van de aangezogen buitenlucht, dat afhankelijk is van de weersgesteldheid en het seizoen, van groot belang. DrySPEC2 is uitermate geschikt om te berekenen hoe de procescondities moeten worden aangepast om deze variaties te compenseren.

### Computational Fluid Dynamics

Om alle industriële problemen aan te kunnen pakken was er behoefte om het sproeidroogpro-

ces in alle details te modelleren [3]. Een belangrijk gereedschap daarbij is Computational Fluid Dynamics-software (CFD). In de loop der jaren is in samenwerking met softwarebedrijf CD-Adapco de uitbreidingsmodule es-spraydry ontwikkeld. Deze module kan worden gebruikt in het commerciële CFD-pakket STAR-CD (zie ook websites [www.cd-adapco.com/products/STAR-CD](http://www.cd-adapco.com/products/STAR-CD) en [www.cd-adapco.com/products/es-solutions/es-spraydry.html](http://www.cd-adapco.com/products/es-solutions/es-spraydry.html)). Met het pakket is het volledige stromingspatroon van de lucht in de sproeidroger en de banen van de verstoven druppels in drie dimensies te simuleren, gecombineerd met het diffusie-gelimiteerde droogproces van de druppels en de massa- en warmte-uitwisseling tussen drooglucht en deeltjes. Onlangs is in het kader van het Europese project EdeCad het model uitgebreid met een module om botsingen tussen de drogende deeltjes en agglomeratie te beschrijven [5,6].

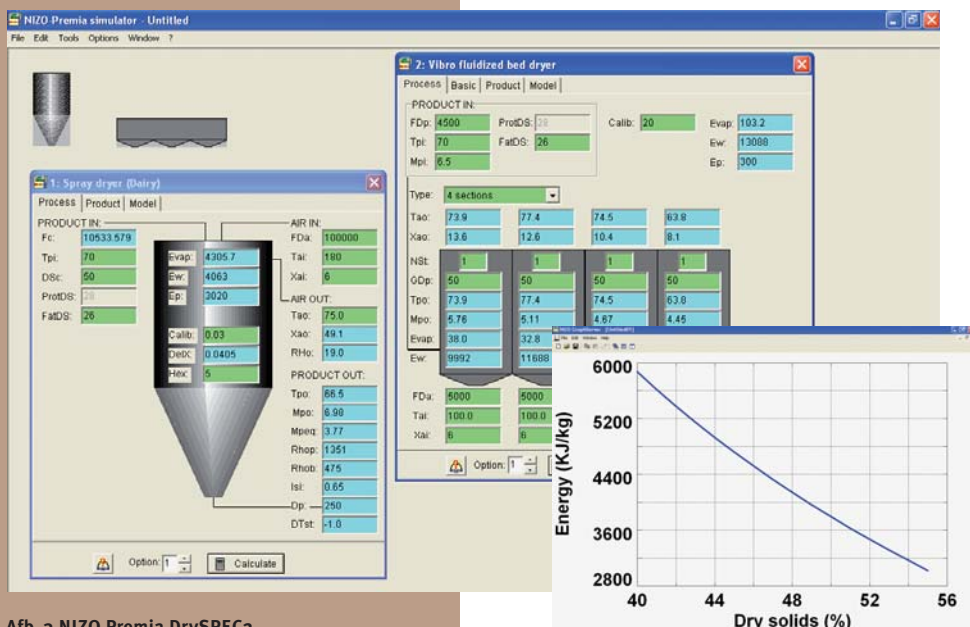
### Verbeteringen

De mogelijkheden van het CFD-pakket zijn legio. Zo is het mogelijk om het ontwerp van sproeidrogers, de producteigenschappen en de agglomeratie van poeders te verbeteren of vervuilingproblemen te reduceren.

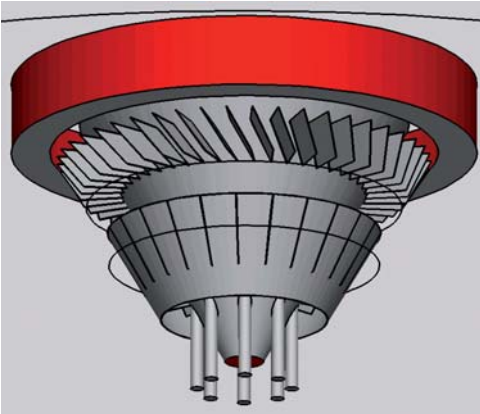
*Ontwerp sproeidrogers.* De vormgeving en plaats van de lucht in- en uitlaten zijn in belangrijke mate bepalend voor het stromingspatroon in de droger en daarmee de drooгеfficiency. Met dit pakket is het geen probleem om bijvoorbeeld complexe luchtverdelers te simuleren (afb. 4). *Producteigenschappen.* Een simulatie levert het volledige verloop in de tijd van de vochtgehaltegradiënt en de temperatuur van de drogende druppels. Deze gegevens kunnen met aanvullende modellen worden gekoppeld aan de producteigenschappen, zoals de onoplosbaarheidsindex [1].

*Agglomeratie.* Met het botsings- en agglomeratiemodel is te voorspellen welke mate van agglomeratie optreedt onder de gegeven procescondities en hoe de agglomeratie kan worden bevorderd. De posities en de sproeirichting van de verstuiers en de plaats van terugvoer van fijne deeltjes (uit de cycloonafscheider) spelen een belangrijke rol.

*Vervuilingproblemen.* De simulatie geeft onder andere aan op welke plaatsen deeltjes met de wanden botsen en onder welke omstandigheden (de snelheid en hoek van botsing, de temperatuur en het vochtgehalte van de buitenzijde van het deeltje). Afhankelijk van de plakeigenschap-



Afb. 3 NIZO Premia DrySPEC2

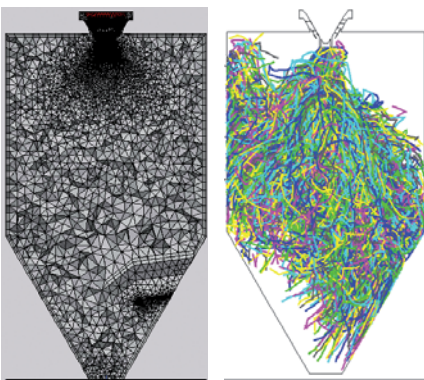


Afb. 4 Complexe luchtverdeler met schoepen en geleiders om werveling aan luchtstroom te geven

pen van het product kan dan worden beoordeeld of het deeltje wel of niet aan de wand zal plakken en hoe de procescondities moeten worden aangepast om vervuiling te verminderen.

### Conclusies

NIZO biedt een scala aan analyse- en simulatie-technieken die zij succesvol inzet voor de optimalisatie en het ontwerp van drooginstallaties. De integrale aanpak, waarbij zowel naar procesefficiëntie als naar productiekwaliteit wordt gekeken, is daarbij essentieel. Verder wordt een nieuwe meettechniek (DyMonT) ontwikkeld waarmee poedereigenschappen (bijv. de plakkerigheid en deeltjesgrootte) kunnen worden bepaald onder relevante procescondities. Deze meettechniek kan sterk bijdragen aan het sturen van poederagglomeratie en het reduceren van vervuiling tijdens droogprocessen. Alternatieve droogtechnologieën zoals Zeodration worden toegepast om unieke producteigenschappen te creëren (bijv. het drogen van kiwi en yoghurt met



Afb. 5 De opzet van CFD berekeningen (links) en de resultaten van CFD berekeningen van een industriële sproeidrooginstallatie gevisualiseerd (rechts)

behoud van aroma's), maar ook om energiekosten te reduceren. Een laatste ontwikkeling is de miniaturisering van het sproeidroogproces. Hiermee beoogt NIZO de ontwikkeling van een high throughput screening-systeem waarmee uiteenlopende productformuleringen (bijv. probiotica) onder diverse droogcondities kunnen worden getest. ■

### Referenties

1. Straatsma J., van Houwelingen G., Steenbergen A.E., De Jong P., *Spray drying of food products: 2. Prediction of insolubility index*, *J. Food Eng.* 42 (1999) 73–77.
2. Straatsma J., van Houwelingen G., Meulman A.P., Steenbergen A.E., (1991) *DrySPEC2: a computer model of a two-stage dryer*, *J. Soc. Dairy Technol.* 44, 107–111.
3. Straatsma J., Verschuere M., Gungsing M., de Jong P., and Verdurmen R.E.M. (2007) *CFD simulation of spray drying of food products*. In: *Computational Fluid Dynamics for food processing*. Ed. Da-Wen Sun, CRC Press.
4. Van Ommen J.R., Coppens M.O., Van den Bleek C.M., Schouten J.C., 2000. 'Early warning of agglomeration in fluidized beds by attractor comparison'. *AIChE J.*, 46, 2183–2197.
5. Verdurmen R.E.M., P. Menn, J. Ritzert, S. Blei, G.C.S. Nhumaio, T. Sonne Sørensen, M. Gungsing, J. Straatsma, M. Verschuere, M. Sibeiijn, G. Schulte, U. Fritsching, K. Bauckhage, C. Tropea, M. Sommerfeld, A.P. Watkins, A. Yule and H. Schönfeldt (2004), *Simulation of agglomeration in spray drying installations: the EDECAD project*, *Drying Technology Vol. 22*, pp. 1403–1461.
6. Verschuere M. (2006). *Simulation of agglomeration in spray drying installations: the EDECAD project*. 15th International Drying Symposium, Budapest, Hungary, 20-23 August 2006 (Lecture).
7. Verschuere M., R.E.M. Verdurmen, G. van Houwelingen, A.C.P.M. Backx, J.E.A. van der Knaap, M. Bartels, J. Nijenhuis and J.R. van Ommen, *Dynamic stickiness measurements by attractor comparison: a feasibility study*, *Proc. Int. Conf. Liquid Atomization and Spray Systems (ICLASS)*, Aug 27 – Sept 1, 2007, Kyoto, Japan.
8. Verschuere M., J. Straatsma, M. Schutyser, C. Akkerman, P. de Jong (2007) *New tools to optimize spray dryers*. *New Food Issue 2*, pp. 20–24.