

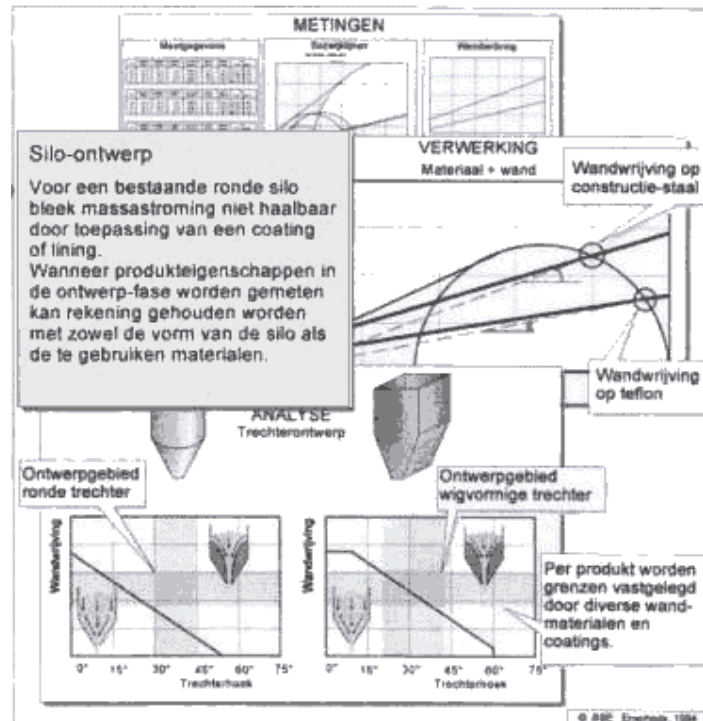
## Meting van stortgoedeigenschappen

### Snellere procedure houdt Jenike bij de tijd

Bulk-handling en problemen. De twee lijken onafscheidelijk. Toch zijn er methoden om problemen te voorkomen. Een voorwaarde is dat de 'mechanische' eigenschappen van het stortgoed bekend zijn. Tot op heden is de Jenike shear cell het meest geschikte instrument om die eigenschappen nauwkeurig te bepalen. De meetprocedure is weliswaar tijdrovend en duur, maar dankzij de gecomputeriseerde verwerking van de meetresultaten komt de oplossing steeds sneller op tafel.

door: ir. P.J. van der Kooij

Vaak denkt men bij product-eigenschappen vooral aan de chemische samenstelling. Deze samenstelling is voor de functionaliteit inderdaad van het grootste belang. Bij de handling van stortgoed spelen echter andere eigenschappen de hoofdrol. Het gaat dan om de zogenoemde mechanische eigenschappen die bepalen of en hoe het stortgoed stroomt. In de afgelopen decennia zijn diverse instrumenten ontwikkeld om deze eigenschappen te meten, maar nog steeds is men op zoek naar testers waarmee redelijk eenvoudig zeer nauwkeurig of zeer eenvoudig redelijk nauwkeurig kan worden gemeten. Het ei van Columbus is nog niet gevonden.



## Metingen

In de praktijk blijkt de Jenike shear cell meestal het best bruikbaar. Deze oudgediende onder de testers heeft zijn wortels in de grond-mechanica en werd in de jaren 60 gelijktijdig met silo-theorieën ontwikkeld. Met de Jenike shear cell worden punten van een bezwijklijn gemeten. De meting geschiedt nadat een zogenaamde 'steady state' is bereikt (een fase van continu bezwijken). Deze situatie is vergelijkbaar met stroming in een silo, waardoor de tester een goede aansluiting op de theorie heeft. De tester heeft zich in de afgelopen dertig jaar ruimschoots bewezen. Er zijn op grote schaal referentie-metingen verricht, men beschikt over een standaard meetprocedure en er is een referentie-materiaal (EEG-BCR 116).

De Jenike shear cell geeft nauwkeurige meetresultaten maar de meetprocedure is tijdrovend en de bediening vraagt veel kennis en ervaring. Dit heeft tot gevolg dat metingen relatief duur zijn. Sinds het bestaan van de tester wordt daarom gezocht naar alternatieven, waarbij men zich richt op drie meettechnieken:

- 1 de fundamentele testers
- 2 de shear cell
- 3 de snelle testers

### 1 Fundamentele testers

De fundamentele testers moeten meer inzicht geven in het complete bezwijkgedrag van stortgoed. De apparatuur hiervoor is in ontwikkeling, maar nog niet commercieel inzetbaar of verkrijgbaar. In deze categorie valt bijvoorbeeld de 'true biaxial tester'. Met deze tester kunnen driedimensionaal spanningen of vervormingen worden opgelegd dan wel gemeten.

### 2 Shear cell

In de tweede plaats probeert men nieuwe shear cell testers te ontwikkelen waarmee in principe dezelfde eigenschappen kunnen worden gemeten als met de Jenike shear cell. De inspanningen richten zich met name op de ontwikkeling van een meetprocedure die eenvoudiger is dan die van de Jenike shear cell. De meetresultaten dienen uiteraard een minstens gelijke nauwkeurigheid te hebben. Een voorbeeld is de constant-volume-tester, waarmee in een meting een complete bezwijklijn is te bepalen. Bij de standaard shear cell zijn daar drie tot vier metingen voor nodig. Men kan ook denken aan de tri-axiaal- en uni-axiaal-tester, waarmee rechtstreeks punten van de zogenaamde flowfunctie kunnen worden bepaald, zodat de 'omweg' via bezwijklijnen wordt vermeden. Alhoewel deze methoden op zich veelbelovend zijn, is het grote nadeel dat er geen standaard meet-procedure bestaat, noch commerciële meetapparatuur. Ook de gebruikservaring met dergelijke testers is gering; er zijn geen referentie-metingen beschikbaar. Bovendien blijft als gevolg van het stochastische gedrag van stortgoed altijd een weging van de resultaten noodzakelijk. In het beste geval wordt met behulp van de Jenike shear cell aangetoond, dat de metingen bruikbaar zijn. Tot slot is het meten van de tijdsinvloed op het bezwijkgedrag bij deze apparatuur vaak een probleem, terwijl ook de wandwrijving niet eenvoudig is te bepalen.

### 3 Snelle testers

De derde meettechniek betreft de ontwikkeling van snelle testers. Bij deze testers ligt de nadruk op een eenvoudige procedure. Te noemen zijn onder meer de doordrukproef, de cake-tester en de Johanson indicizer. Het betreft hier apparatuur waarmee snel een indruk van het bezwijkgedrag kan worden verkregen, zonder dat direct duidelijk is wat er precies wordt gemeten. Deze testers kunnen dus slechts voor vergelijkende metingen worden gebruikt; de gegevens zijn niet direct toe te passen voor het ontwerpen van een silo. Voor specifieke toepassingen, bijvoorbeeld kwaliteitscontrole of de vergelijking van stortgoed kan een dergelijke tester wel de oplossing zijn. Callibratie van de tester en interpretatie van de resultaten verdient daarbij de nodige aandacht.

### Verwerking resultaten

In de meeste gevallen gaat de voorkeur toch uit naar de Jenike shear cell, te meer daar met deze tester ook relatief eenvoudig de wandwrijving en de tijdsinvloed zijn te meten. De nadelen van de tijdrovende procedure en de vereiste kennis en ervaring om het apparaat te bedienen, blijven echter bestaan. Een aantal aanpassingen kunnen echter de bediening vergemakkelijken en de procedure versnellen. Verder is veel tijd te winnen in de verwerking van de meetgegevens tot bruikbare grootheden. Met behulp van een computerprogramma kan dit werk snel en flexibel worden uitgevoerd. De gemeten krachten worden omgerekend naar spanningen, waarbij automatisch met de afmetingen en gewichten van de shear cell-onderdelen rekening wordt gehouden. De meetpunten, de bezwijklijnen en de afgeleide grootheden kunnen grafisch worden weergegeven, zodat de stortgoed-eigenschappen zichtbaar worden. Op deze manier kan het meetgebied, dat pas na verwerking van de metingen is te bepalen, snel worden onderkend. Tevens wordt duidelijk in welk gebied een volgende meting moet worden gedaan. De aard van de metingen brengt met zich mee dat een effectieve foutschatting niet voorhanden is. Voor de praktijk is 'the worst case' belangrijk. Op de PC is het meest kritische geval snel te bepalen door meetpunten wel of niet in de berekening mee te nemen. Verder kunnen alle (geselecteerde) meetpunten van een bezwijklijn worden aangepast aan de gemiddelde 'steady state'-waarde. Zo is de invloed van de meetpunten van de bezwijklijn op de flowfunctie snel te berekenen en in beeld te brengen. Men kan dus stellen dat de Jenike shear cell dankzij elektronica nog niets aan actualiteit heeft verloren.



### Referenties

- \* Jenike, A.W.: Storage and Flow of Solids; Bulletin No. 123 Vol 53, No 26, The University of Utah, 1964 (1980).
- \* Rademacher, F.J.C. and Haaker, G.: Silo's en Feeders; Universiteit Twente, Enschede, 1985.
- \* Benink, E.J.: Flow and Stress Analysis of Cohesionless Bulk Materials in Silos related to Codes; Universiteit Twente, Enschede, 1989. ISBN 90-9002704-1
- \* Bell, T.A., Ennis, B.J. et al.: Practical Evaluation of Johanson Hang-Up Indicizer; Bulk Solids Handling Vol 14 (1994) No. 1, pp.117-125.
- \* Haaker, G.: Towards Better Understanding and Measurement of Bulk Solid Properties, Mineral Processing (Aufbereitungstechnik), 32 (1991), No.2, pp. 49-56.
- \* Zootjes, R.J.: Onderzoek naar Snelle Vergelijkende Methoden voor het bepalen van het Stromingsgedrag van Stortgoederen, Universiteit Twente, Enschede.