

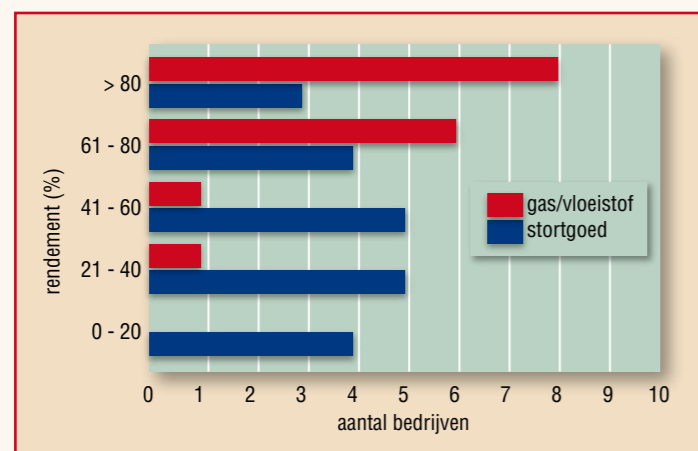
## Problemen bij Solids Processing (1)

## Een oud verhaal met een blijvende inhoud?

**Stortgoed, droge stoffen, solids: hoe je het ook noemt, de verwerking ervan zorgt al vele decennia voor problemen. Keer op keer blijkt in de praktijk dat processen minder efficiënt verlopen dan gepland. In twee artikelen gaan de auteurs in op de achtergronden, en in deze eerste vooral op het werken met stortgoed. Ze signaleren een aantal problemen en bekijken de oorzaak. Al doende blijkt er weinig wetenschappelijk onderzoek voorhanden te zijn.**

'Het economisch rendement van technische processen wordt in hoge mate bepaald door hoe goed ze presteren, ofwel voldoen aan de verwachte uitgangspunten. Hoewel deze relatie algemeen bekend is, is er een hele groep processen, namelijk zij die stortgoederen verwerken, die zeer matig presteren in vergelijking met andere processen. En er blijkt in afgelopen tijden nauwelijks vooruitgang te zijn geboekt om beter te functioneren.'

De hierboven aangehaalde zin vormt de inleiding van een rapport over een in de tachtiger jaren uitgevoerd tweejarig onderzoek door de Rand Corporation\* naar het presteren van bedrijven in de solids processing industrie. Het onderzoek draaide om de vraag of er, en zo ja welke oorzaken ten grondslag liggen aan het minder goed functioneren van processen die stortgoed produceren of verwerken. Bovendien moest het de ontwikkelingen ter verbetering verduidelijken.



Figuur 1a: Het rendement van 37 onderzochte, nieuw in gebruik genomen installaties afhankelijk van de verwerkte grondstof gas/vloeistof en stortgoed

## Solids of fluids

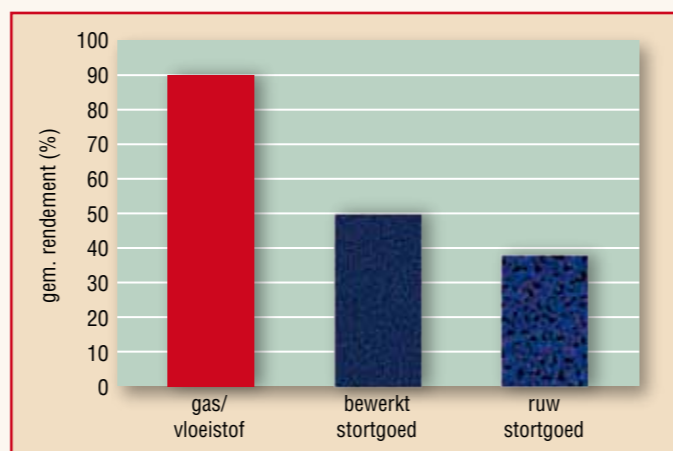
Er werd bij 37 bedrijven, die zowel gassen en vloeistoffen als stortgoederen verwerken, gekeken naar het rendement van nieuw in gebruik genomen procesinstallaties. In figuur 1a vindt u een globaal overzicht van de resultaten. Hier uit valt op te maken dat een deel van de installaties redelijk presteert, zij draaien op 80 procent van de ontwerpproductie, maar het gemiddelde komt niet hoger dan 64 procent. Vergeleken met een gemiddeld percentage van 90 tot 95 procent als standaard voor de totale industrie, is dit dus niet erg goed. Verder valt op het verschil tussen de installaties die werken met stortgoed als grondstof en de systemen die gas en/of vloeistof als grondstof gebruiken en pas verder in het proces stortgoed produceren of toepassen. De eerste groep blijkt het nog aanmerkelijk slechter te doen dan de laatste. Uit figuur 1b blijkt wel dat er bij stortgoed enige verbetering optreedt wanneer wordt uitgegaan van een bewerkte grondstof in plaats van de ruwe grondstof. De winst is overigens niet erg groot. Uit een vergelijking met eerder onderzoek bleek ook in de tijd niet echt een verbetering opgetreden: nieuwe installaties presteren in eerste instantie nauwelijks beter dan vroeger gebouwde. Als belangrijkste conclusie uit het onderzoek volgt dat de meeste problemen van mechanische of fysische aard zijn en veel minder van chemische aard. In tabel 1 staan een aantal van deze problemen waaruit dit ook duidelijk blijkt. Het fundamenteel onderzoek

in de procesindustrie is vaak veel meer chemisch gericht omdat onderzoekers er van uit gaan dat mechanische en fysische problemen op een ander niveau worden opgelost. Dit laatste gebeurt meestal wel via soms vernuftige ad hoc oplossingen zodat op den duur de processen beter gaan verlopen. Terugkoppeling naar het niveau waar beslist wordt over het soort fundamenteel onderzoek dat zinnig en nodig is, vindt dan helaas niet plaats.

## Europa

Ook in Europa liep, in het kader van het stimuleringsprogramma Brite Euram, van 1992 tot 1997 een project (CA-Silo) om een overzicht te krijgen van de 'state of the art' inzake beschikbare kennis op silogebied, het optreden van problemen bij opslag en verwerking van stortgoed. Bovendien moest het verduidelijken op welke terreinen fundamenteel en of toegepast onderzoek zou moeten plaats vinden. Voor dat laatste werd een groot deel van de Europese procesindustrie geënquêteerd. Belangrijkste conclusie hieruit luidde dat vooral stroming- en doseerproblemen, een niet te negeren aantal problemen met de structurele veiligheid van silo's en het gebrek aan toepasbare ontwerpmethodes aanleiding gaven tot verder onderzoek. Het totale resultaat van dit project is weergegeven in een in 1998 uitgegeven siloboek\*\*.

Ook het Vlaams Centrum voor Poedertechnologie, inmiddels opgegaan in de Bvba European Powder and Process



Figuur 1b: Het gemiddelde rendement van de onderzochte installaties, waarbij tevens is gekeken naar het verschil in bewerkte of ruwe stortgoederen als grondstof

Technology, merkte in haar netwerkbijsamenkomst begin 2008 op 'dat het centrum is ontstaan vanuit de constatering dat de procesindustrie duidelijk behoefte heeft aan op wetenschap gebaseerde kennis en informatie en dan in het bijzonder op het terrein van de poedertechnologie'. Uit de hier aangehaalde onderzoeken blijkt dat verwerking van stortgoederen kennelijk duidelijk anders en problematischer is dan in het geval van gas of vloeistof.

## Variëteit aan factoren

Waarom gedragen stortgoederen zich lastiger dan vloeistoffen of gassen? In het geval van verwerking van een vloeistof volstaat vaak kennis van dichtheid en viscositeit, alsmede de invloed hierop van druk en temperatuur. Samen met de bedrijfsomstandigheden (druk, temperatuur, debieten etc.) van het gewenste proces is dan op basis van massa- en energiebalansen een goede lay-out van het proces te maken. Invulling hier van met leidingen, pompen, reactievaten enzovoort levert in principe geen problemen op en stroming- of voedingsproblemen zijn eigenlijk niet te verwachten. Hooguit ontstaan er nog problemen met erosie/corrosie of onjuiste afstemming qua capaciteit van procesonderdelen. Hetzelfde geldt in principe bij het verwerken van gassen.

Bij het verwerken van stortgoed wordt het gedrag van het materiaal, en dan speciaal het stromingsgedrag, beïnvloed door zeer veel factoren. Allereerst door een aantal invloedsgrontheden vanuit het materiaal zelf, zoals korrelgrootte en korrelgrootteverdeling, vochtgehalte, oppervlakteruwheid, cohesie. Een variatie van een of meer van deze grootheden zal meestal tot een wijziging van de inwendige wrijving en daarmee ook van het stromingsgedrag leiden. Daarnaast zijn er invloeden vanuit de gebruikte apparatuur, waarbij vooral de wrijving tussen stortgoed en wanden een belangrijke grootheid vormt. Tenslotte is er de invloed door de proces- en de omgevingscondities. Hierbij spelen druk, temperatuur, en stromingssnelheid een rol, maar bijvoorbeeld ook de tijd dat een materiaal onder druk ligt opgesla-

gen. Hierbij kunnen, zoals bekend zelfs versteviging van het product en kans op slechte stroming of zelfs totale blokkering ervan optreden.

Voor een goed functionerende installatie zal dus naast een betrouwbare ontwerpprocedure ook kennis van de stromingseigenschappen van het te verwerken product nodig zijn. Daarvoor dient een materiaalmonster voor handen te zijn, gemeten onder de omstandigheden zoals ook in het proces zullen voorkomen. Hoewel in dit verhaal de nadruk op silo's ligt, zal het bovenstaande uiteraard niet alleen voor opslagsilo's gelden. Veel processen spelen zich immers af in sterk op silo's gelijkende reactievaten, zoals bijvoorbeeld drogers, mixers en kraakinstallaties. Hier zullen dezelfde eisen aan de betrouwbaarheid moeten worden gesteld. Bij dit soort unit operations zal soms ook gas of lucht worden toegevoerd, waardoor het stromingsgedrag nog weer sterk kan veranderen.

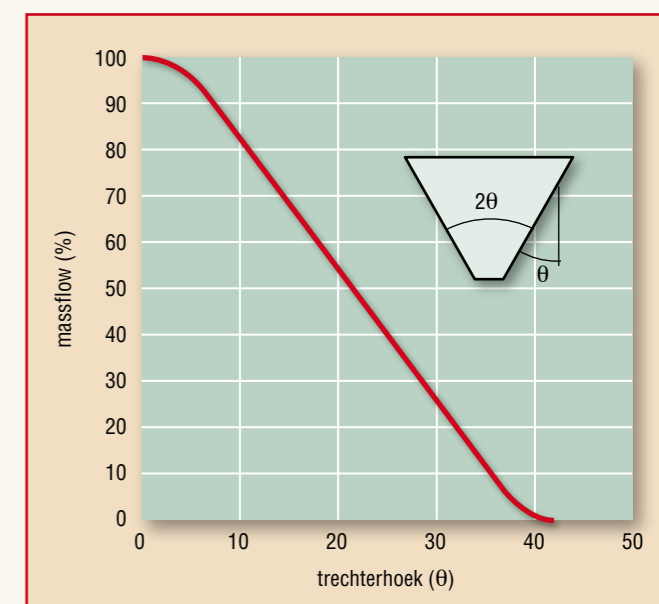
## Pijnpunten

In principe kan het op veel plaatsen in de totale procesinstallatie mis gaan. We zullen ons beperken tot problemen die in de opslag- en reactievaten optreden. Die zijn grofweg in vier groepen in te delen, waar het om de procesgang gaat:

- Problemen met het stromingspatroon;
- Problemen met het slecht stromen van de silo;
- Problemen met ontmenging;
- Problemen bij productwisseling.

## Het stromingspatroon

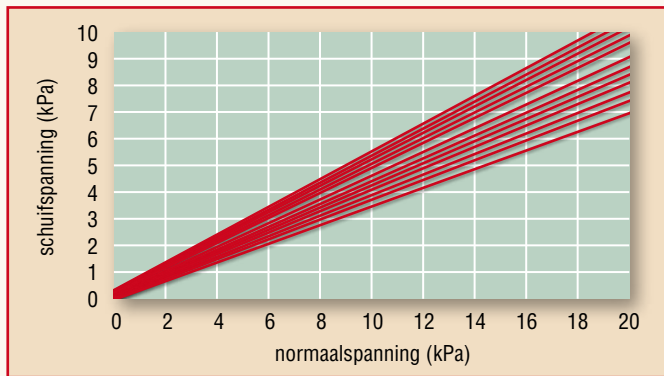
De stroming van stortgoed in een silo kent twee typen stroming: massastroming of kernstroming. Bij massastroming beweegt de gehele inhoud en komen er dus geen dode zones voor. Het stortgoed verloopt volgens het principe first-in first-out, loopt weinig kans op ontmenging en vertoont in het algemeen een rustig stroombeeld. Bij kernstroming is steeds slechts een gedeelte van het materiaal in beweging in een intern stroomkanaal. Er treden dode zones op met kans op bederf en veroudering, het werkt zonder first-in first-out principe en geeft meer kans op ontmenging. Ook de belasting van de silowanden verschilt duidelijk bij beide stromingspatronen.



In de meeste gevallen, en zeker bij aanbederf onderhevige goederen (levensmiddelen) of mengsels van materialen, zal massastroming gewenst zijn. Het type stroming dat optreedt, wordt voornamelijk bepaald door de wrijving tussen stortgoed en trechterwand (aangegeven met de wandwrijvingshoek  $\phi_w$ ) en de steilte van de uitstroomtrechter (aangegeven met de halve tophoek  $\theta$ ). Bij een bekende wandwrijvingshoek, tot stand gekomen uit metingen of vroegere gegevens, kan dus een zodanig steile trechter worden gekozen dat massastroming zal optreden. Toch komt het in de praktijk geregeld voor dat een op massastroming ontworpen silo kernstroming vertoont. Met alle problemen van dien aard natuurlijk. Dan blijkt dat basisgegevens bij het ontwerp afwijken van de uiteindelijke situatie in de silo. Dit omdat de trechterwand toch in ander materiaal is uitgevoerd dan die van de gemeten wand of omdat het stortgoed afwijkt van het gemeten monster. Soms zijn er helemaal geen gegevens voor handen en voorziet het ontwerp in een aanname van een 300 trechterhoek. Helaas blijkt dit niet altijd voldoende voor massastroming zoals ook figuur 2 laat zien. Daar is voor circa 500 stortgoed/wandcombinaties nagegaan bij welke trechterhoek massastroming zal optreden. Het bleek dat voor ronde of vierkante trechters in meer dan 20 procent van de combinaties bij een trechterhoek van

Figuur 2: Het percentage massastroming dat in een axiaalsymmetrische silo op zal treden als functie van de trechterhoek  $\theta$ , bekeken voor 500 stortgoed/wand combinaties. Een trechterhoek van 30° blijkt in meer dan 20 procent van de gevallen niet steil genoeg voor massastroming





**Figuur 3: Voorbeeld van gemeten wandwrijving door 12 laboratoria aan dezelfde stortgoed/wand combinatie. De gemeten verschillen tonen duidelijk aan dat een ruime veiligheidsmarge nodig is bij het kiezen van een benodigde trechterhoek voor massastroming**

30° geen massastroming zal optreden. Een ander punt vormt de nauwkeurigheid en de betrouwbaarheid van de meetgegevens. De praktijk leert dat ook in de metingen nogal wat spreiding voorkomt. Een aardig voorbeeld hiervan geeft figuur 3, waar de wandwrijving van dezelfde stortgoed/wand combinatie is gemeten door twaalf verschillende, Europese laboratoria. De gemeten wandwrijvingshoeken liggen tussen 19 en 28° te liggen. Dit zijn afwijkingen die soms ook voor andere combinaties werden gevonden. Bij gebruik van deze gegevens wordt daarom ook een (meestal) voldoende marge aangeraden om mogelijke afwijkingen in de gebruikte waarden te compenseren. Verder kan ook een niet goed werkende feeder de oorzaak zijn van het ontbreken van massastroming. Dit komt hoofdzakelijk voor bij sleufvormige uitstroomopeningen wanneer de feeder slechts over een gedeelte van de sleuf materiaal aan de silo onttrekt. Boven de rest van de sleuf treedt dan geen of nauwelijks stroming op en ontstaat er ook geen massastroming. Feeder en silo moeten daarom altijd al in de ontwerpfase zodanig op elkaar worden afgestemd dat er ruimte voor het materiaal is om over de volle lengte van de sleuf te stromen. De praktijk leert overigens dat met niet al te grote ingrepen de gewenste massastroming nog wel op gang kan komen.

**Tabel 1: Overzicht van de meest gevonden problemen. Mechanisch/fysische problemen blijken duidelijk het meest voor te komen**

	Percentages
<b>Installaties met problemen</b>	94 procent
<b>Gerelateerd aan H&amp;M balans:</b>	
solids transfer problemen	52 procent
afstemming van procesblokken	19 procent
<b>Solids handling:</b>	
falen van mechanische apparatuur	48 procent
vastlopen van reactievaten door stortgoed	45 procent
problemen met stofvorming	23 procent
<b>Gerelateerd aan chemische oorzaken:</b>	
corrosie/erosie	29 procent
andere chemische oorzaken	6 procent

Denk aan het aanbrengen van een (slijt-vaste) coating of bekleding op de trechterwand waardoor de wandwrijving wordt verlaagd of bij ronde of vierkante trechters het inbouwen van elementen die de stroming bevorderen.

### Slecht stromen

Hoewel op basis van de juiste stortgoedeigenschappen en wandmateriaal in principe een storingsvrije silo kan worden ontworpen, blijkt dat in de praktijk nogal eens tegen te vallen. Bekende storingsproblemen bij massastroming zijn (semi)stabele brugvorming boven de uitstroomopening waardoor de stroming onregelmatig wordt of geheel stopt, terwijl ook hogerop in de silo het materiaal soms blijft hangen.

Bij kernstroming is het ontstaan van stabiele schachten vaak het probleem. Hierbij stroomt de ontstane schacht meestal wel leeg maar komt de rest van het materiaal niet meer in beweging. Deze problemen komen vaak voort uit onvoorziene materiaaleigenschappen, door bijvoorbeeld een wat hoger vochtgehalte. Maar ook het gebruik van de silo kan hierbij een rol spelen. Bij ongestoorde opslagtijd, zoals opslag in de silo zonder onttrekking van materiaal, kan het materiaal onder druk worden verstevigd zodat het moeilijker zal stromen. Het bij het ontwerp al rekening houden hiermee leidt soms tot onrealistische oplossingen. Het valt aan te raden bij kennis van tijdsversteving tijdens de rustperiode geregeld een beetje materiaal te recirculeren. Zowel bij tijdsversteving als bij tijdlose stromingsproblemen kunnen ook stroombevorderende hulpmiddelen, zoals trillers, woelers, luchtkanonnen enzovoort de stroming op gang brengen of houden.

### Ontmenging

Tijdens het vullen van een silo zal, zeker bij grote storthellingen, ontmenging van het stortgoed optreden door verschillen in dichtheid en/of grootte van de deeltjes in de stortmassa. Niet alleen vervelend bij gemengde producten met een gewenste samenstelling maar ook niet wenselijk bij een enkelvoudig product. Door de ontmenging zullen namelijk ook de stromingseigenschappen door de productmassa heen variëren en soms zelfs

in die mate dat het stromingspatroon wijzigt. Daarnaast treden door de ontmenging soms lokale dichtheidsverschillen op hetgeen weer problemen geeft met de verblijfstijd van doorstromende gassen of vloeistoffen. De ontmenging treedt hoofdzakelijk op bij het vullen van een silo of reactievat, maar kan bij kernstroming ook nog tijdens het doorstromen van de silo plaatsvinden. Bij massastroming wordt horizontale ontmenging weer gedeeltelijk hersteld als het materiaal in de conus in horizontale zin weer wordt hermengd. Bij kernstroming vindt deze hermenging niet plaats.

Daar ontmenging hoofdzakelijk tijdens het vullen plaatsvindt, biedt toepassing van geschikte verdelers uitkomst.

### Productwisseling

Bij overschakeling op een ander product tijdens het proces volgt een reinigingsstap. Waar bij gassen en vloeistoffen het grondig doorspoelen van de apparatuur volstaat, ligt dit bij stortgoed minder eenvoudig. De meeste van dit soort installaties lenen zich sowieso niet voor het doorspoelen met vloeistof en ook het doorblazen met lucht is meestal niet voldoende. Dat maakt een mechanische reinigingsstap noodzakelijk. Vooral wanneer met voedingsstoffen wordt gewerkt die allergene stoffen bevatten, zal bij productwissel een zeer grondige reiniging nodig zijn om geen contaminatie van het nieuwe product te krijgen. Zeker als je bedenkt dat de aanwezigheid van bijvoorbeeld 2 mg koemelkeiwit in 1 kg van een in principe allergeenvrij product al tot allergische reacties kan leiden.

### Tweede deel van dit artikel

Tot zover de problemen die in het gebruik van een silo of reactievat slechte prestaties van de installatie veroorzaken. In het tweede deel van dit artikel, in het volgende nummer van Solids Processing, komen een aantal zaken rond sterkte en stabiliteit van de installatie aan de orde en hoe zij in ongunstige situaties tot ernstige beschadigingen of zelfs het compleet falen van de installatie kunnen leiden. ■

#### Literatuur:

\* *Rand Publication, Paper P-7034, 1984, by Edward W. Merrow*

\*\* *Silos, Fundamentals of theory, behaviour and design. C.J. Brown and J. Nielsen E & FN Spon, London 1998, ISBN 0419215808*