

Stromingstechnieken moeten de basis vormen van elk ontwerp

Silo meer dan een vat met een gat

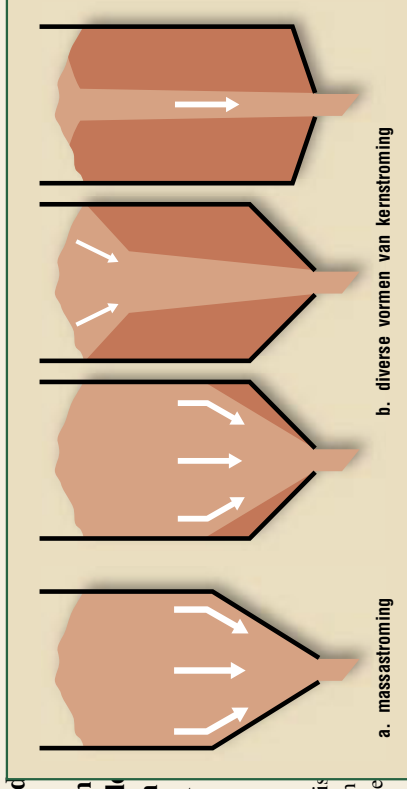
In de loop van de tijd werd de opslagsilo steeds geavanceerder. Dat bracht de nodige hoofdbreken met zich mee. Opslaan vergt meer dan in een silo brengen en er op zijn tijd weer uithalen. Hieronder volgen verschillende uitvoeringen van opslagsilo's, problemen die kunnen optreden en eventuele oplossingen.

Ir. P. van der Kooij
en Ir. G. Haaker

De kunst van het opslaan van producten is al bijna zo oud als de mensheid zelf. Een groot gedeelte van de in het warme seizoen geoogste of verzamelde voedselvoorraad moest op de een of andere manier worden bewaard om de winter door te komen.

Dit gebeurde aanvankelijk in gaten in de grond. Later volgde de manskogel, de aardewerkvaten waar het product, meestal een graansoort, van boven werd ingebracht en in een later stadium door dezelfde openingstromingsbevoorderende hulpmiddelen er weer naar behoefte kon worden uitge-schept (fi g. 1). Een dergelijke 'graansilo' wordt tot op heden soms nog gebruikt bij kleine landbouwgemeenschappen in Afrika. Er komen niet vaak problemen bij meters liggende normaal tussen de twee en dik vier meter, hoewel ook diameters tot acht dit soort opslag voor. Het gaat om betrouwbare producten in een simpel en betrouwbaar opslagsysteem. Tegenwoordig liggen de zaken wat ingewikkelder bij de opslagssystemen zoals we die in onze geïndustrialiseerde wereld tegenkomen. Ze blijken soms zelfs de bottlenecks in het productieproces.

Slanke silo's versus mammoetsilo's
De meest toegepaste silo's bestaan uit een cilindrisch bovendeel, rond, vierkant of rechthoekig. Het trechtervormig uithoofdeel. Het opslagproduct komt met een transportstelsel (pneumatisch of mechanisch) van boven in de silo terecht. Aan dit soort afmetingen kan de zwaartekracht Doordat stroming over de gehele doorsne-



het product niet door en uit de silo laten stromen. Meestal zijn extra hulpmiddelen als transportschroeven of schrapers nodig om het product naar het centrum van de silo te transporteren, waar het door de silo te transporteren, waar het door de

De verhouding van de cilinderdiameter (c.q. zwaartekracht weer naar de uitstroombreedte) van de ingeschreven cirkel) ering kan stromen. Hoewel dit type silo's de hoogte is meestal groter dan 1,5 waarbij een aantal aspecten wel overeenkomen we dan spreken van slanke silo's. Dikwijls vertoont met het stroomgedrag in een slanke silo, beperken we ons deze keer tot de slanke silo's.

Stromingspatronen en eeuvoeringsvormen

Bij het naar beneden stromen van een product door een cilindrische en trechtervormige silo staan de zogenaamde platbodem- of mammoetsilo's. Ook hier bestaat de silo uit een cilindervormig bovendeel, maar

De trechter ontbreekt of is zeer vlak uitmassa mee op het moment dat er product aan de silo wordt onttrokken. Er is sprake van dit soort silo's is meestal kleiner dan van een 'fi rst out' principe.

Hoewel er kleine snelheidsverschillen kunnen optreden, is er geen sprake van niet-stromende zones.

Doordat stroming over de gehele doorsne-

de van de silo plaatsvindt, zijn de stroom- plaatsvindt met slijtage als gevolg. Door snelheden betrekkelijk laag en ontstaat een lage transportsnelheid geeft dit alleen regelmatige stroming die goed regelbaar is, bij zeer abrasieve producten problemen. Bij kernstroming blijft het product aan de wand vastzitten. Verder verdient de benodigde hoogte van wand aanvankelijk in rust en vindt stroming plaats door een in het product zelf gevormd kanaal boven de uitstroombreedte. Dit kanaal wordt van bovenaf vanuit minder hoge trechter volstaat. De niet-stromende zones bijgevoeld. Hier is de soms gehoorde opmerking dat altijd uiteraard geen sprake van 'fi rst out' - massa-stroming zal optreden bij een trechter. De stroming is minder regelmatig. Het resultaat van een onderzoek naar door het soms schoksgewijs instorten van op. Het resultaat van een onderzoek naar de dode zones. Bij het niet regelmatig het te verwachten stromingsgedrag van legen van de silo maar steeds bijvullen, circa 500 producten op basis van de trechter kan het product lang in deze dode zones terhoek bij diverse wandmaterialen (RVS verblijven met kans op bederven, verouderen, aan de wand vastkloeken of brokkencoatings) staat in fi guur 5. Hieruit valt af te lezen dat voor axiaalsymmetrische stroming

Welke type stroming in een silo zal optreden, is afhankelijk van de inwendige wrijving van het product, de wrijving tussen product en silowand, en de steilheid van de trechter. De trechterhoek waarbij nog massa-stroming optreedt, is voor een gekozen trechtervorm te berekenen als de inwendige wrijving en de wandwrijving bekend zijn. Naast bovengenoemde aspecten speelt ook de geometrie van de trechter een rol. Een ronde of vierkante trechter (fi guur 3) vert een zogenaamde axiaalsymmetrische stroming op. Hierbij moet het product doormeer stabiele bruggen die de stroming ont-dat kan leegstromen terwijl de rest van het een zich in twee richtingen steeds vernauwen of geheel stoppen. Bij grote storting wordt de trechter in twee richtingen steeds vernauwen of geheel stoppen. Bij grote storting wordt de trechter in twee richtingen steeds vernauwen of geheel stoppen. Bij grote storting wordt de trechter in twee richtingen steeds vernauwen of geheel stoppen.

de van de silo plaatsvindt, zijn de stroom- plaatsvindt met slijtage als gevolg. Door snelheden betrekkelijk laag en ontstaat een lage transportsnelheid geeft dit alleen regelmatige stroming die goed regelbaar is, bij zeer abrasieve producten problemen. Bij kernstroming blijft het product aan de wand vastzitten. Verder verdient de benodigde hoogte van wand aanvankelijk in rust en vindt stroming plaats door een in het product zelf gevormd kanaal boven de uitstroombreedte. Dit kanaal wordt van bovenaf vanuit minder hoge trechter volstaat. De niet-stromende zones bijgevoeld. Hier is de soms gehoorde opmerking dat altijd uiteraard geen sprake van 'fi rst out' - massa-stroming zal optreden bij een trechter. De stroming is minder regelmatig. Het resultaat van een onderzoek naar door het soms schoksgewijs instorten van op. Het resultaat van een onderzoek naar de dode zones. Bij het niet regelmatig het te verwachten stromingsgedrag van legen van de silo maar steeds bijvullen, circa 500 producten op basis van de trechter kan het product lang in deze dode zones terhoek bij diverse wandmaterialen (RVS verblijven met kans op bederven, verouderen, aan de wand vastkloeken of brokkencoatings) staat in fi guur 5. Hieruit valt af te lezen dat voor axiaalsymmetrische stroming

Welke type stroming in een silo zal optreden, is afhankelijk van de inwendige wrijving van het product, de wrijving tussen product en silowand, en de steilheid van de trechter. De trechterhoek waarbij nog massa-stroming optreedt, is voor een gekozen trechtervorm te berekenen als de inwendige wrijving en de wandwrijving bekend zijn. Naast bovengenoemde aspecten speelt ook de geometrie van de trechter een rol. Een ronde of vierkante trechter (fi guur 3) vert een zogenaamde axiaalsymmetrische stroming op. Hierbij moet het product doormeer stabiele bruggen die de stroming ont-dat kan leegstromen terwijl de rest van het een zich in twee richtingen steeds vernauwen of geheel stoppen. Bij grote storting wordt de trechter in twee richtingen steeds vernauwen of geheel stoppen. Bij grote storting wordt de trechter in twee richtingen steeds vernauwen of geheel stoppen.

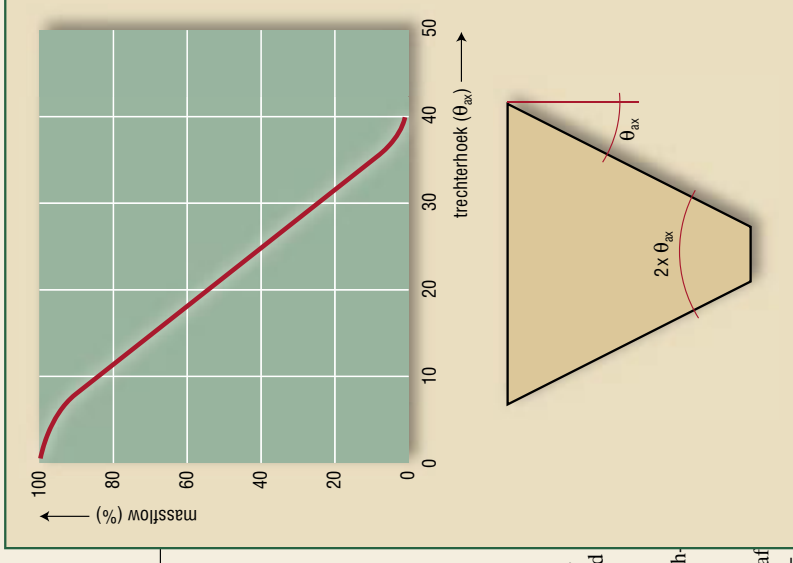
de van de silo plaatsvindt, zijn de stroom- plaatsvindt met slijtage als gevolg. Door snelheden betrekkelijk laag en ontstaat een lage transportsnelheid geeft dit alleen regelmatige stroming die goed regelbaar is, bij zeer abrasieve producten problemen. Bij kernstroming blijft het product aan de wand vastzitten. Verder verdient de benodigde hoogte van wand aanvankelijk in rust en vindt stroming plaats door een in het product zelf gevormd kanaal boven de uitstroombreedte. Dit kanaal wordt van bovenaf vanuit minder hoge trechter volstaat. De niet-stromende zones bijgevoeld. Hier is de soms gehoorde opmerking dat altijd uiteraard geen sprake van 'fi rst out' - massa-stroming zal optreden bij een trechter. De stroming is minder regelmatig. Het resultaat van een onderzoek naar door het soms schoksgewijs instorten van op. Het resultaat van een onderzoek naar de dode zones. Bij het niet regelmatig het te verwachten stromingsgedrag van legen van de silo maar steeds bijvullen, circa 500 producten op basis van de trechter kan het product lang in deze dode zones terhoek bij diverse wandmaterialen (RVS verblijven met kans op bederven, verouderen, aan de wand vastkloeken of brokkencoatings) staat in fi guur 5. Hieruit valt af te lezen dat voor axiaalsymmetrische stroming

Welke type stroming in een silo zal optreden, is afhankelijk van de inwendige wrijving van het product, de wrijving tussen product en silowand, en de steilheid van de trechter. De trechterhoek waarbij nog massa-stroming optreedt, is voor een gekozen trechtervorm te berekenen als de inwendige wrijving en de wandwrijving bekend zijn. Naast bovengenoemde aspecten speelt ook de geometrie van de trechter een rol. Een ronde of vierkante trechter (fi guur 3) vert een zogenaamde axiaalsymmetrische stroming op. Hierbij moet het product doormeer stabiele bruggen die de stroming ont-dat kan leegstromen terwijl de rest van het een zich in twee richtingen steeds vernauwen of geheel stoppen. Bij grote storting wordt de trechter in twee richtingen steeds vernauwen of geheel stoppen. Bij grote storting wordt de trechter in twee richtingen steeds vernauwen of geheel stoppen.

de van de silo plaatsvindt, zijn de stroom- plaatsvindt met slijtage als gevolg. Door snelheden betrekkelijk laag en ontstaat een lage transportsnelheid geeft dit alleen regelmatige stroming die goed regelbaar is, bij zeer abrasieve producten problemen. Bij kernstroming blijft het product aan de wand vastzitten. Verder verdient de benodigde hoogte van wand aanvankelijk in rust en vindt stroming plaats door een in het product zelf gevormd kanaal boven de uitstroombreedte. Dit kanaal wordt van bovenaf vanuit minder hoge trechter volstaat. De niet-stromende zones bijgevoeld. Hier is de soms gehoorde opmerking dat altijd uiteraard geen sprake van 'fi rst out' - massa-stroming zal optreden bij een trechter. De stroming is minder regelmatig. Het resultaat van een onderzoek naar door het soms schoksgewijs instorten van op. Het resultaat van een onderzoek naar de dode zones. Bij het niet regelmatig het te verwachten stromingsgedrag van legen van de silo maar steeds bijvullen, circa 500 producten op basis van de trechter kan het product lang in deze dode zones terhoek bij diverse wandmaterialen (RVS verblijven met kans op bederven, verouderen, aan de wand vastkloeken of brokkencoatings) staat in fi guur 5. Hieruit valt af te lezen dat voor axiaalsymmetrische stroming

de van de silo plaatsvindt, zijn de stroom- plaatsvindt met slijtage als gevolg. Door snelheden betrekkelijk laag en ontstaat een lage transportsnelheid geeft dit alleen regelmatige stroming die goed regelbaar is, bij zeer abrasieve producten problemen. Bij kernstroming blijft het product aan de wand vastzitten. Verder verdient de benodigde hoogte van wand aanvankelijk in rust en vindt stroming plaats door een in het product zelf gevormd kanaal boven de uitstroombreedte. Dit kanaal wordt van bovenaf vanuit minder hoge trechter volstaat. De niet-stromende zones bijgevoeld. Hier is de soms gehoorde opmerking dat altijd uiteraard geen sprake van 'fi rst out' - massa-stroming zal optreden bij een trechter. De stroming is minder regelmatig. Het resultaat van een onderzoek naar door het soms schoksgewijs instorten van op. Het resultaat van een onderzoek naar de dode zones. Bij het niet regelmatig het te verwachten stromingsgedrag van legen van de silo maar steeds bijvullen, circa 500 producten op basis van de trechter kan het product lang in deze dode zones terhoek bij diverse wandmaterialen (RVS verblijven met kans op bederven, verouderen, aan de wand vastkloeken of brokkencoatings) staat in fi guur 5. Hieruit valt af te lezen dat voor axiaalsymmetrische stroming

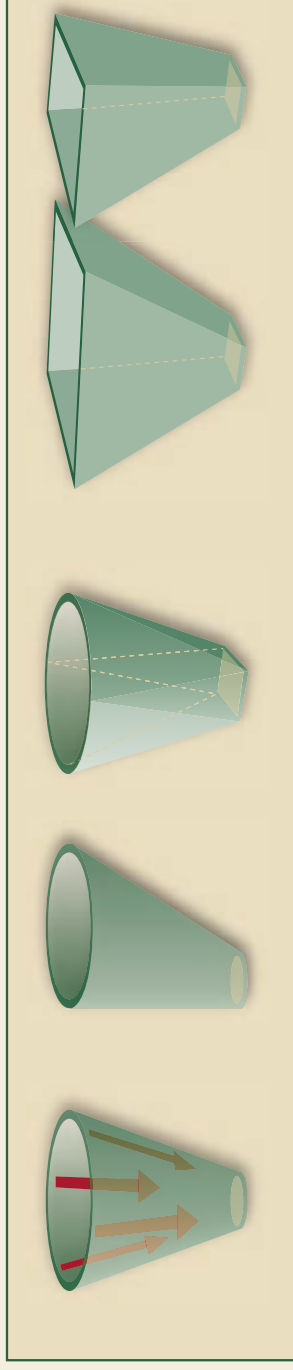
de van de silo plaatsvindt, zijn de stroom- plaatsvindt met slijtage als gevolg. Door snelheden betrekkelijk laag en ontstaat een lage transportsnelheid geeft dit alleen regelmatige stroming die goed regelbaar is, bij zeer abrasieve producten problemen. Bij kernstroming blijft het product aan de wand vastzitten. Verder verdient de benodigde hoogte van wand aanvankelijk in rust en vindt stroming plaats door een in het product zelf gevormd kanaal boven de uitstroombreedte. Dit kanaal wordt van bovenaf vanuit minder hoge trechter volstaat. De niet-stromende zones bijgevoeld. Hier is de soms gehoorde opmerking dat altijd uiteraard geen sprake van 'fi rst out' - massa-stroming zal optreden bij een trechter. De stroming is minder regelmatig. Het resultaat van een onderzoek naar door het soms schoksgewijs instorten van op. Het resultaat van een onderzoek naar de dode zones. Bij het niet regelmatig het te verwachten stromingsgedrag van legen van de silo maar steeds bijvullen, circa 500 producten op basis van de trechter kan het product lang in deze dode zones terhoek bij diverse wandmaterialen (RVS verblijven met kans op bederven, verouderen, aan de wand vastkloeken of brokkencoatings) staat in fi guur 5. Hieruit valt af te lezen dat voor axiaalsymmetrische stroming



Figuur 5: Percentage opstroomende massa-stroming als functie van de trechterhoek θ_{Bx} voor ca 500 storiged/wand combinaties in een ronde trechter.



Figuur 1: Traditionele graansilo.



Figuur 3: Trechtersvormen voor axiaalsymmetrische stroming.



Figuur 4: Trechtersvormen voor vlakke stroming.