

Silo ontwerp; meten is weten

Stromingsproblemen vermijden door een goed ontwerp.

Om problemen in de silo met betrekking tot stroming, bederf of veroudering tegen te gaan, is silo-ontwerp noodzakelijk. Het ontwerp van een silo gaat uit van het meest voordelige geval: zwaartekrachtstroming. Wandwrijving, inwendige wrijving en brugvormingseigenschappen bepalen de toe te passen trechterhoek en openingsdiameter. Ook als een "simpele" silo niet mogelijk is komt dit bij het ontwerp naar voren. Het behoeft dan niet door "trial and error" aangetoond te worden. **Meten is weten.**

door: ir. P.J. van der Kooi

Inhoud	
Inleiding: Waarom silo-ontwerp?	
Wat is Massastroming?	Ontwerp op Massastroming.
Wat is Kernstroming?	
Wat is Brugvorming?	Ontwerp op Brugvorming.
Wat voor Uitdraag-apparatuur?	Ontwerp van Uitdraag-apparatuur.

INLEIDING

Om stromingsproblemen in een silo tegen te gaan, is een goed silo-ontwerp noodzakelijk. De meest voor de hand liggende (en de meest voordelige) manier van opslag van bulkgoed is in een silo met zwaartekrachtstroming. De silo krijgt dan een cilindrische of rechthoekige vorm met daaronder een trechter. De trechter laat het product convergeren naar de opening, en is daardoor meteen de oorzaak van de meeste problemen.

Te noemen zijn daarbij: onregelmatig uitstromen, ontmenging, achterblijvend product, veroudering of bederf van product, schokken, flooding, versleping, of: stroming treedt geheel niet op.

Voor vele van deze problemen is apparatuur beschikbaar, of kan door "trial and error" een oplossing worden gezocht.

Maar het is natuurlijk beter deze problemen te vermijden. Dit is mogelijk door het ontwerp te baseren op de gemeten eigenschappen van het product. De stromingseigenschappen van een product bepalen dus de toe te passen geometrie. Ook als een "gewone" silo niet mogelijk is komt dit bij het ontwerp naar voren. Het behoeft dus niet na veel moeite en kosten in de praktijk ondervonden te worden.

Het ontwerpproces van een silo kent de volgende hoofd-elementen:

- » STROMING,
- » BRUGVORMING
- » UITDRAGEN

STROMING

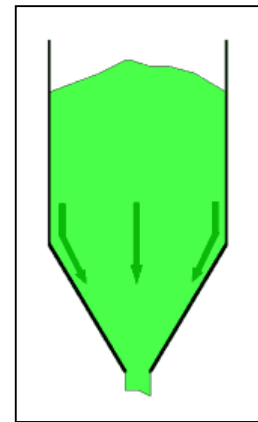
Problemen met stroming hangen samen met het optredende stromingspatroon. In een silo kunnen twee belangrijke stromingstypen worden onderscheiden:

- » massastroming (mass flow) en
- » kernstroming (funnel or core flow)

Massastroming

Bij massastroming is de gehele inhoud van de silo in beweging zodra product aan de silo wordt onttrokken. Dit type stroming wordt gekenmerkt door:

- first in - first out;
- weinig ontmenging;
- regelmatige stroming en een goed regelbaar uitstroomdebiet;
- geen risico van bederf, veroudering of contaminatie;
- mogelijkheid tot het volgen van productbatches van een bepaalde samenstelling.



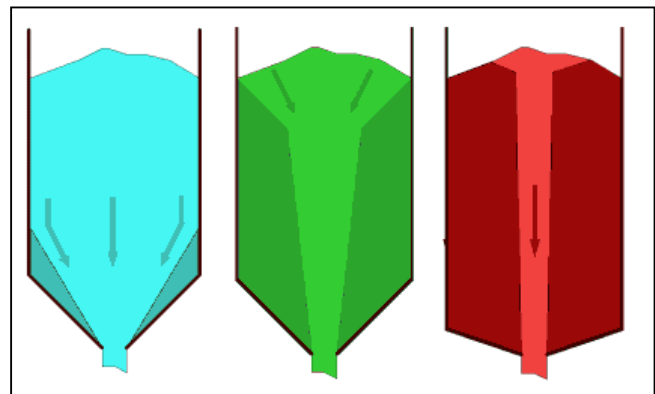
Nadelen van massastroming kunnen zijn dat in specifieke gevallen schokken kunnen ontstaan. Bij abrasieve producten zullen de silowanden meer slijten. Door de lage stroomsnelheden in een silo vormt dit echter doorgaans geen probleem.

Kernstroming

Bij kernstroming stroomt het product door de kern. Er ontstaan daardoor gebieden waar het product stilstaat (dode zones).

Het gevolg is dat de volgende problemen kunnen ontstaan:

- Wanneer de silo steeds wordt bijgevuld voordat deze leeg is, zal veroudering en evt. bederf optreden;
- Wordt de silo voor meerdere producten gebruikt, dan zal contaminatie optreden (versleping);
- In sommige gevallen groeien de dode zones aan, zodat op een gegeven moment het product alleen uit een kanaal (rat hole) boven de opening stroomt. De kans is dan groot dat stroming helemaal stopt;
- Het instorten van dode zones kan leiden tot het onbeheersbaar uitstromen van product (flooding).



Kernstroming is daarom alleen toe te passen voor grove, vrijstromende producten, waarbij bederf of veroudering geen rol speelt.

Gewenste stroming

In veruit de meeste gevallen is massastroming gewenst. Daarom loont het de moeite de silo zo te ontwerpen, dat dit type stroming gewaarborgd is. Het stromingspatroon dat optreedt in een silo, wordt bepaald door:

- de hellingshoek van de trechter;
- de wrijving tussen product en wand;
- de vorm van de trechter;
- de inwendige wrijving van het product.

Hierbij kan in zijn algemeenheid worden gesteld dat massastroming wordt bevorderd door een steilere en gladdere trechter. De wanden en hoeken moeten daarom glad afgewerkt zijn. Verder is een trechter met een sleufvormige opening beter dan een ronde of vierkante trechter.

Massastroom-ontwerp

Het ontwerp van een massastroomtrechter verloopt als volgt:

1. De inwendige wrijving van het product wordt gemeten.
2. De wandwrijving van het product op het voorgestelde constructie-materiaal wordt gemeten.
3. Aan de hand van deze gegevens wordt de trechtersvorm en -hoek berekend, waarbij massastroming optreedt.
4. Wanneer in stap 3) geen praktische oplossing gevonden wordt, wordt gezocht naar een coating, lining of ander constructiemateriaal met een lagere wandwrijving.
5. Is dit ook niet haalbaar, dan kan trilling of beluchting een oplossing zijn.
6. Werkt dit ook niet, dan moet worden afgezien van een trechter.

BRUGVORMING

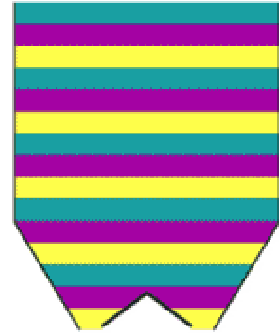
De meeste producten vertonen cohesie; deeltjes blijven aan elkaar plakken. Dit zorgt ervoor dat het product niet vrijstromend is, zodat in een silo bruggen ontstaan.

Optreden van brugvorming

Is een product vrijstromend, dan zullen problemen met brugvorming niet optreden. Een voorbeeld is zand, mits de korreltjes redelijk rond en ongeveer even groot zijn, en het zand niet vochtig is. Hieruit blijkt meteen al dat de naamgeving van een product niet voldoende is om te weten wat de eigenschappen zijn. Daarnaast spelen de condities ook een grote rol.

Stroming in een silo is eigenlijk het continu bezwijken (instorten) van bruggen. Brugvorming gaat een probleem vormen wanneer een brug kan blijven bestaan. Daarbij spelen twee zaken een rol:

- de sterkte van een brug;
- de kracht die op de brug werkt.



Sterkte van de brug

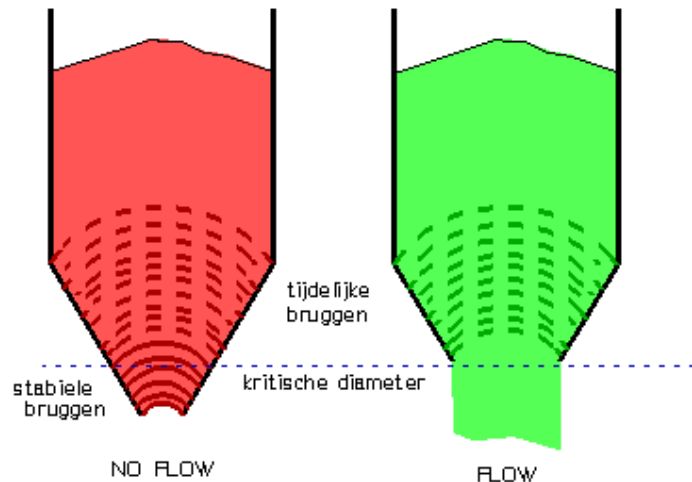
Het product in de silo zal druk ondervinden van het bovenliggende product. Door deze silodruk krijgt het product een zekere samenhang, de eigensterkte. Vergelijk dit met het vormen van een sneeuwbal en een "zandbal"; met droog zand is het laatste niet mogelijk. De eigensterkte van een product is afhankelijk van:

- de samenstelling;
- de deeltjesgrootteverdeling;
- de druk die het heeft ondergaan;
- het vochtpercentage;
- de temperatuur;
- de opslagduur.

Vooraf de laatste speelt in veel situaties een rol, zoals vaak blijkt uit de opstartproblemen na een weekend. Om de sterkte van een brug te kunnen berekenen moet de eigensterkte van het product als functie van de druk gemeten worden. Uit het bovenstaande blijkt dat het belangrijk is om de metingen onder de condities uit te voeren, die van toepassing zijn.

Kracht op de brug

Om het product uit de silo te laten stromen, moet de samenhang van het product weer verbroken worden. Stabiele brugvorming zal niet optreden zolang gevormde bruggen bezwijken. Door het eigengewicht van de brug zal de brug bezwijken als die kracht groter is dan de eigensterkte die het product heeft, bij de aanwezige silodruk.



Optreden van brugvorming

Het optreden van stabiele bruggen is daarom afhankelijk van de bulkdichtheid, de vorm van de cilinder en trechter, de wandwrijving, de inwendige wrijving en natuurlijk de cohesie van het product. Zijn deze gegevens bekend (gemeten), dan kan de kritische diameter van de opening berekend worden. De toe te passen opening moet groter zijn dan deze kritische diameter om brugvorming te vermijden.

Ontwerp op brugvorming

Bij dit gedeelte van het silo-ontwerp wordt de diameter van de opening vastgesteld om het product probleemloos uit te laten stromen. De procedure is als volgt:

1. Wanneer sprake is van meerdere producten of condities, wordt het meest kritische product of de meest kritische conditie bepaald. Dit gedaan worden met een kwalitatieve tester, waarmee het brugvormingsgedrag kan worden vergeleken.
2. De wandwrijving en inwendige wrijving worden gemeten om de betreffende silo-drukken te bepalen.
3. De brugvormingseigenschappen, ofwel de eigensterkte van een product, worden gemeten met de Jenike shear cell, onder de betreffende condities en in relatie tot de silodruk.
4. Indien van toepassing wordt de tijdsverstevinging gemeten, voor de periode die het product in de silo stil kan staan.
5. De kritische diameter, de diameter waarbij een brug kan blijven staan, wordt berekend.

Indien een grotere kritische diameter wordt gevonden dan de geplande opening dan zal een oplossing moeten worden gezocht in de vorm van brugbrekers, trilbodems, lamellenbodems, beluchting, etc.

Aan de hand van de beschikbare gegevens kan een gerichte oplossing gezocht worden:

- Bij toepassing van een brugbreker is het belangrijk om deze te plaatsen waar bruggen verwacht kunnen worden. Met het bepalen van de kritische diameter is de plaats bekend.
- Bij langdurige stilstand kan recirculatie verstevinging opheffen. Voor een bepaalde opening kan de maximale duur van ongestoorde opslag bepaald worden.
- Bij de toepassing van een beluchtingsbodem kan de invloed van het lucht inblazen op het stromingsgedrag nader worden onderzocht.

Zo kan afhankelijk van de situatie met de ontwerpmethode en ondersteunende tests de optimale oplossing gevonden worden.

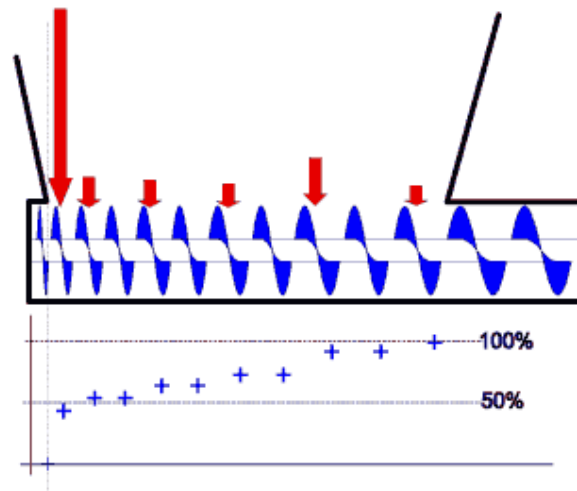
UITDRAGEN

In het voorgaande kwam ter sprake dat een sleufvormige opening gunstig kan zijn voor het optreden van massastroming. Dit stelt echter extra eisen aan de uitdraag-apparatuur. Deze apparatuur moet voor een gelijkmatige onttrekking zorgen. Is dit niet het geval dan zal de feeder kernstroming veroorzaken, ook al is de silo op massastroming ontworpen.

Ter verduidelijking het volgende praktijkvoorbeeld:

Case

Een silo voor hout- en gipspoeder gaf regelmatig stromingsproblemen. Dit uitte zich in stagnatie van de stroming. Onder de silo zat een uitdraagschroef met een verlopende spoed. Na controle van het ontwerp van de silo bleek dat hierin massastroming zou optreden. Controle van de schroef maakte duidelijk dat deze niet goed gedimensioneerd was. De neerwaartse snelheid van het product en de capaciteit van de schroef zijn in de figuur hiernaast weergegeven: Hieruit valt op te maken dat de eerste gang van de schroef al 50% van de totale capaciteit voor zijn rekening neemt. Met andere woorden: slechts 10% van de schroeflengte is verantwoordelijk voor 50% van de capaciteit.



Daardoor is de neerwaartse productsnelheid boven deze 10% van de schroef zeer hoog. In de bestaande situatie was de verticale snelheid van de overige 90% zo laag dat de stroming boven dit gedeelte geheel stagneerde.

Er is daarom een schroef ontworpen die er voor zorgt dat product boven de hele opening wordt onttrokken. Met deze nieuwe schroef wordt product gelijkmatig over de hele lengte onttrokken, en treedt stagnatie van de stroming niet meer op.

Richtlijnen voor uitdraag-apparatuur

Hoewel voor deze apparatuur niet een alles omvattende theorie bestaat zijn een paar aandachtspunten te geven waar bij het ontwerp en dimensionering op gelet moet worden.

De uitdraag-apparatuur moet:

- alle vereiste capaciteiten kunnen leveren;
- geschikt zijn voor alle materialen die worden opgeslagen;
- een zo constant mogelijke stroom leveren bij elk debiet;
- over het gehele gebied goed regelbaar zijn;
- over de gehele uitstroomopening gelijkmatig onttrekken;
- (meestal) het debiet bepalen, bijvoorbeeld bij een combinatie van trilbodem met transportschroef moet de transportschroef een grotere capaciteit hebben dan de trilbodem.