

Schokkende, trillende en toeterende silo's

Dit is het eerste van drie artikelen over trillende, toeterende en schokkende silo's. Dit eerste deel gaat over wat er zoal kan gebeuren en wat de achterliggende mechanismen zijn. Deel twee gaat over mogelijke oplossingen en preventieve maatregelen. In een derde artikel worden een drietal praktische uitwerkingen beschreven. Deel twee en drie van deze reeks verschijnen in de komende twee nummers van Solids Processing.

Ir. Gerard Haaker
en Ir. Piet van der Kooi

Silo's voor de opslag van poeders of granulaire materiaal zijn over het algemeen wel zo te ontwerpen dat ze hun werk naar behoren kunnen doen. Maar soms treden er merkwaardige en vaak lastige dingen op. Sommige silo's blijken in combinatie met bepaalde soorten stortgoed een wat brommerig geluid voort te brengen ('de silo zingt'), of erger, een periodiek optredend geluid alsof er een vrachtwagen staat te toeteren (het zogenaamde silo-honking). Een ander fenomeen is een continu trillen van de silo (silo vibrations) waarbij ook andere delen van de constructie in trilling kunnen raken. Het ergste verschijnsel betreft het optreden van soms zeer zware schokken (silo quaking). Die zijn dan in het hele silogebouw voelbaar en kunnen zelfs tot schade leiden.

Oorzaken van trillingen en schokken

De hier bedoelde verschijnselen moeten niet worden verward met het plotseling instorten van semi-stabiele gewelven of bruggen, zoals dat kan voorkomen bij de silo-opslag van cohesieve materialen. Hierbij ontstaat vaak aanzienlijke schade. In dit artikel praten we over min of meer periodieke verschijnselen die op treden bij meestal vrijstromende producten die vrij hard zijn en een niet al te hoge inwendige wrijving hebben. Bekende voorbeelden zijn maïs, cementklinker, steenkool, ijzererts, en diverse harde kunststof granulaten. We kennen twee hoofdmechanismen die tot dit soort verschijnselen leiden: enerzijds inwendige stickslip of stickslip langs de silowand, anderzijds het wegglijden van stagnante zones in het opgeslagen product.

Inwendige stickslip of stickslip langs de silowand

Stickslip kan optreden wanneer een relatief groot verschil bestaat tussen de statische en de dynamische wrijvingscoëfficiënt. Het materiaal stroomt dan niet gelijkmatig langs een wand of in zichzelf, maar komt moeilijk in beweging, schiet

dan door en wordt weer afgeremd, een repeterend mechanisme. Hierdoor ontstaat een schokkerig bewegingspatroon dat in interactie met de wand tot trillingen of lichte schokken kan leiden. Bij welke combinaties van stortgoed en wand of bij welk stortgoed het optreedt, is moeilijk te voorspellen maar bij het bepalen van de (wand)wrijving kan dit meestal wel via een paar standaardmetingen worden gesignaleerd. Het optreden van stickslip blijkt vaak ook drukafhankelijk te zijn. Dit houdt in dat bij verlaging van de druk, zowel aan de wand als intern, de mate van stickslip afneemt en soms zelfs geheel verdwijnt.

Het wegglijden van stagnante zones in het opgeslagen product

Hoewel er diverse oorzaken tot dit soort schokken leiden, is het mechanisme in principe hetzelfde. Er zijn of er ontstaan stagnante (niet stromende) gebieden in het materiaal die plotseling wel in beweging komen en vervolgens weer even plotseling tot stilstand komen. Afhankelijk van de inwendige demping en wrijving van het product leidt dit tot schokken in de silo. De sterkte van de schokken en de schokfrequentie wordt in grote mate mede bepaald door de ruimte die het product

krijgt om af te glijden en de hoeveelheid betrokken product.

Situaties

De situaties waarbij dit type schokken optreedt:

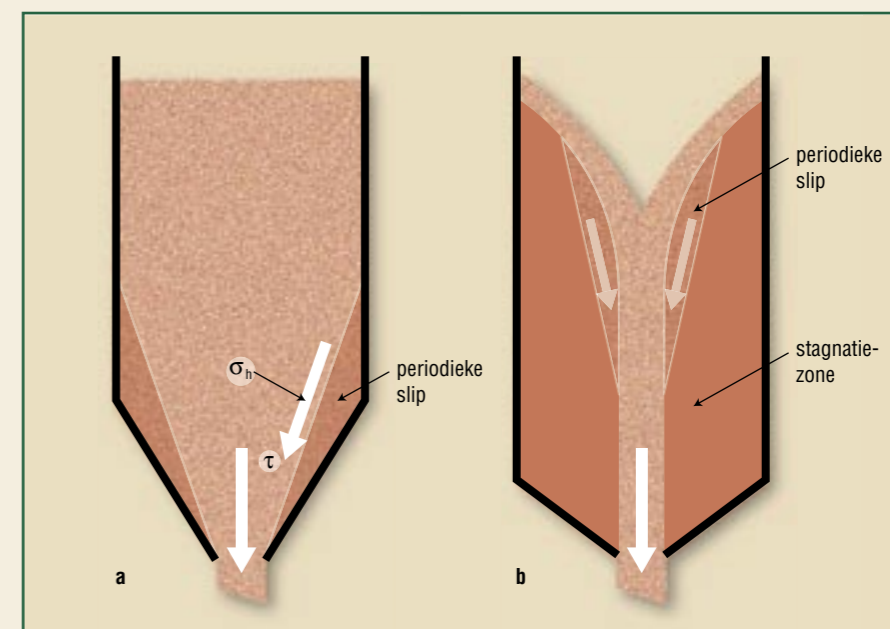
Bij grensontwerpen tussen massa- en kernstroming.

In een silo zal voor een bepaald product, afhankelijk van de trechterhoek α en de wandwrijving φ_w , massastroming dan wel kernstroming ontstaan. Bij massastroming is al het materiaal in beweging en vindt stroming langs de wand plaats. Bij kernstroming stroomt het materiaal (deels) in zichzelf en kunnen stagnante zones bestaan, zie figuur 1.

Bij een opslagsituatie waarbij de combinatie van silo en product zich bevindt in het overgangsgebied tussen massa- en kernstroming, kan een situatie als in figuur 2a optreden. Hierbij kan door een eerste vulling het materiaal in de trechter behoorlijk verdicht zijn. Omdat de trechter juist niet steil genoeg is voor massastroming, zal een stroomkanaal in het materiaal zelf ontstaan dat meestal wat convergerend is. Rond dit kanaal bestaan stagnante zones. Doordat het materiaal in het zich vormende stroomkanaal nu dilateert (oftewel het wordt minder dicht, want voor beweging is ruimte nodig) wordt de horizontale druk σ_h minder, waardoor de stagnante zone minder wordt gesteund. Bovendien zal het stromende materiaal via de schuifspanning τ het stagnante materiaal proberen mee te sleuren. Hierdoor kan er een situatie ontstaan waarbij het stagnante gebied of gedeelten daarvan ineens langs de wand naar beneden schieten. Dit maakt dat het materiaal in het stroomkanaal weer samen wordt perst en de afglijdende zones afgeremd waarbij een schok kan ontstaan. Daarna begint het geheel weer opnieuw wat een periodiek schokken veroorzaakt.

Bij een kernstroomsilo door inwendig afschuiven van schollen product

In het geval zoals aangegeven in figuur 2b vormt zich een verticaal of convergent stroomkanaal in het materiaal zelf. Dit stroomkanaal wordt normalerwijze steeds bijgevuld doordat materiaal vanaf de bovenkant van de stagnante zones toestroomt. Maar ook hier zal het materiaal in het



Figuur 2. Het schokmechanisme bij:
a) een grensontwerp
b) een kernstroomsilo.

stroomkanaal dilateren, zodat minder horizontale steun ontstaat voor de stagnante gebieden. Dit kan leiden tot het wegschieten van schollen product langs slijpvlakken in het materiaal zelf. Het plotseling weer afremmen van dit materiaal in het stroomkanaal leidt eventueel tot een schok waarbij ook het materiaal in het kanaal weer wordt verdicht en het proces opnieuw begint.

Bij massastroomsilo's met slecht werkende feeders

Bij goed werkende massastroomsilo's is al het materiaal in beweging en bestaan in feite geen stagnante zones. Het komt in de praktijk echter geregeld voor dat een onder de uitstroomopening aangebrachte feeder dit ideale patroon verknoeit. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer een slecht ontworpen schroef- of bandfeeder het materiaal maar over een gedeelte van de uitstroomopening onttrekt. Hierdoor ontstaan in de trechter alsnog een intern stromingskanaal en stagnante zones met alle gevolgen van dien.

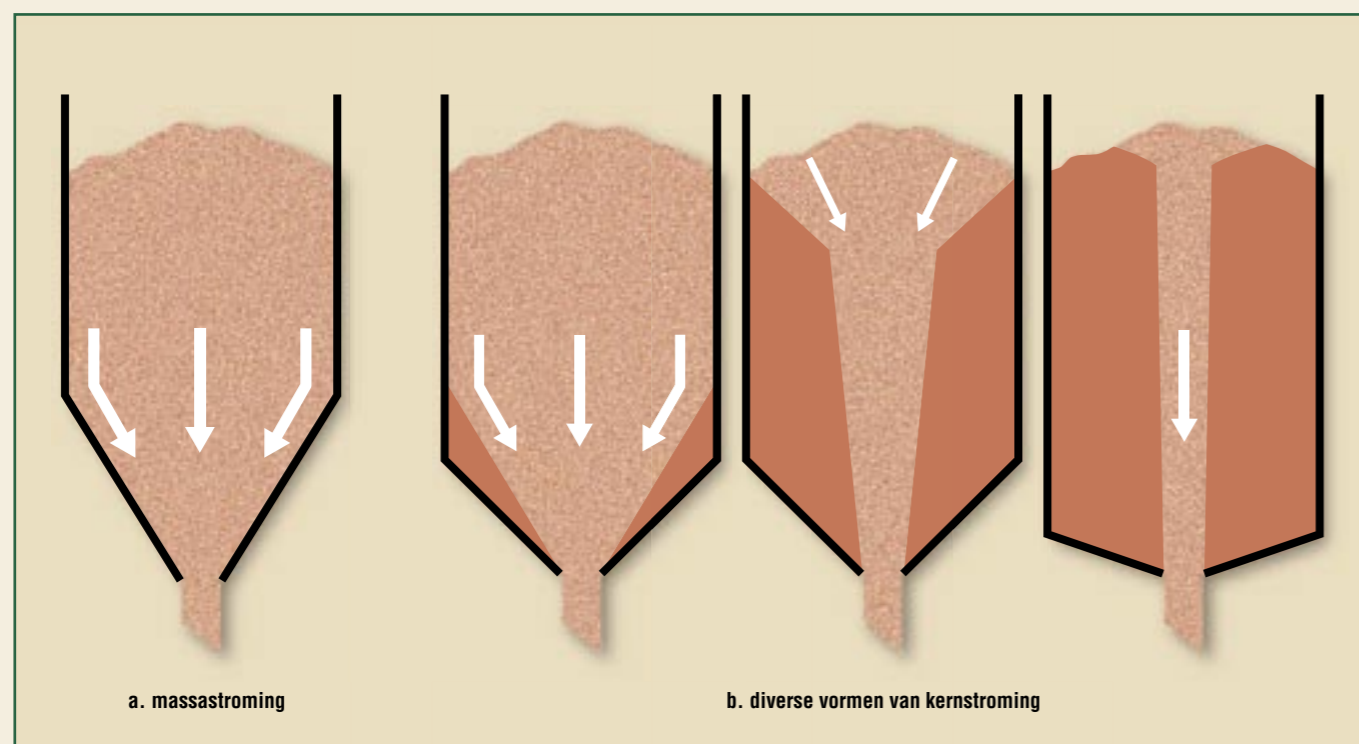
Bij goed werkende massastroomsilo's

Het is na het bovenstaande een beetje tegen het gevoel in dat ook bij goede massastroming schokken kunnen optreden, daar zich hier immers geen stagnante zones vormen. Toch blijkt ook hier schokgedrag, en soms zelfs in ernstige mate, op te kunnen treden. Het verschijnsel laat zich als volgt verklaren. In het verticale deel van

de silo zakt bij voldoende vullinggraad het materiaal als een min of meer vast blok naar beneden, de zogenaamde plug-flow. In de trechter moet beweging in het materiaal zelf plaats vinden waarbij dus dilatatie van het product op zal treden. Deze dilatatie begint bij de uitstroomopening en breidt zich naar boven in de trechter uit. Hierdoor zal het materiaal in de cilinder, de plug, minder steun ondervinden van het gedilateerde deel in de trechter. Daardoor schiet het plotseling een stukje omlaag waarna het weer wordt afgeremd door het materiaal in de trechter, met een schok als gevolg. Tevens wordt het materiaal in de trechter weer verdicht waarbij het proces opnieuw begint en er opnieuw een schok kan optreden. De grootte van de schok wordt hier bepaald door materiaaleigenschappen, door de ruimte die het materiaal krijgt om te zakken en de hoeveelheid materiaal in de plug dat er bij is betrokken.

Bovengenoemde mogelijkheden treden soms ook in combinatie op. Zo kunnen bij kernstroomsilo's waarbij het bovendel van het materiaal toch als een plug naar beneden zakt, dezelfde schokken optreden als bij massastroomsilo's. Ook het optreden van stick-slip kan soms het schokgedrag inleiden of versterken. In een volgend verhaal zal nader worden ingegaan op mogelijkheden die bestaan om de hier beschreven problemen te voorkomen of op te lossen. ■

Figuur 1. Mogelijk optredende stromingspatronen in een silo.
a) massastroming
b) diverse vormen van kernstroming.



a. massastroming

b. diverse vormen van kernstroming