

# Voorkomen is beter dan genezen

In een vorig artikel is beschreven hoe en waarom in een silo trillingen, schokken en andere ongewenste verschijnselen kunnen optreden.

We zullen nu wat verder ingaan op mogelijke gevolgen van deze problemen en, belangrijker, hoe ze kunnen worden voorkomen dan wel kunnen worden opgelost.

Ir. Gerard Haaker  
en Ir. Piet van der  
Kooij

In het geval van het zingen van silo's of bij lichte trillingen zijn de gevolgen meestal niet groot. Het is hooguit wat irritant voor het bedienende personeel in het silogebouw en daar vlak omheen. Dit geldt in feite ook voor het 'toeteren', hoewel dit wel eens heeft geleid tot klachten over burengerucht en de noodzaak tot aanpassing van het gebruikspatroon. Het wordt ernstiger wanneer de trillingen zodanig zijn dat delen van de constructie gaan meetrillen en lichte schades kunnen optreden. In het geval van echte schokken moet de zaak zeker serieus worden bekeken. Het leidt niet alleen voor het bedieningspersoneel tot een ongewenste situatie, maar kan ook ontregeling van meetapparatuur veroorzaken, of de dosering vanuit de silo onregelmatig maken doordat het afgegeven product geen constante dichtheid heeft. Bij ernstige schokken kan zelfs beschadiging van de silo of van de ondersteunende constructie optreden. Het is opvallend dat in de normen die de berekening van silolasten voorschrijven weinig aandacht aan deze mogelijke lastenverhoging wordt geschonken. Slechts in de Duitse norm DIN 1055 worden, wanneer schokken worden verwacht, wat verhoogde belastingsfactoren aanbevolen.

## Voorkomen of oplossen

A: In de ontwerpfase van de silo

Al tijdens de ontwerpfase dient aan de hier genoemde problemen aandacht te worden gegeven. Voorkomen moet worden dat een ontwerp ontstaat dat net op de grens van massa- en kernstroming uitkomt, daar dit vaak een aanleiding tot schokken oplevert door instabiele dode zones. Beter is het ruim binnen het massastroomgebied te gaan zitten, of als dit niet mogelijk of gewenst is, duidelijk voor kernstroming te kiezen.

Verder dienen bij spleetvormige uit-

stroomopeningen de gekozen feeders zodanig te worden ontworpen dat ze over de gehele spleetlengte materiaal onttrekken, om dode zones boven een deel van de spleet te voorkomen.

Tenslotte dient zo mogelijk te worden vermeden dat zogenaamde stick-slip-stroming van het materiaal langs de silowand optreedt. Dit kan aanleiding geven tot trillingen, maar ook zwaardere schokken inleiden of versterken. Het mogelijke stick-slip-gedrag kan meestal eenvoudig worden aangetoond met een standaard afschuifproef. Hierbij wordt het materiaal onder diverse belastingen (N) over een testplaat geschoven, waarbij de benodigde schuifkracht (S) wordt gemeten als functie van de verplaatsing. Bij stick-slip treden grote variaties in de gemeten schuifkracht op, zoals in figuur 1 is weergegeven.

Indien bij een bepaalde combinatie van stortgoed en silowand een stevige stick-slip blijkt op te treden, dient zo mogelijk een ander wandmateriaal of wandcoating te worden toegepast.

B: In de latere opslagpraktijk

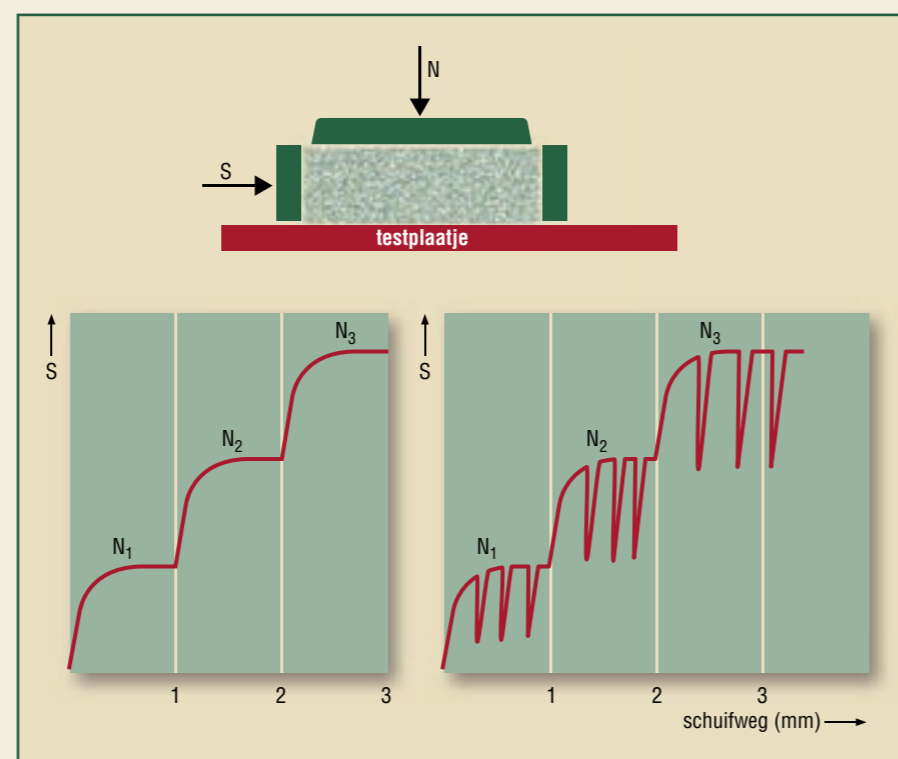
Hoewel in de ontwerpfase tot op zekere hoogte wel het voorkomen van schokken en trillingen kan worden nagestreefd, blijken in de praktijk toch deze problemen

op te treden. Dit kan gebeuren omdat de opslagproducten zich toch wat anders gedragen dan waarvan in de ontwerpfase was uitgegaan, of omdat geheel andere producten in de silo worden opgeslagen. De vraag is dan hoe het probleem kan worden opgelost. In een vorig artikel zijn de mogelijke oorzaken voor het optreden van trillingen en schokken beschreven. Wanneer we iets willen doen aan het opheffen of verminderen van deze problemen is het dan ook zaak om eerst zo goed mogelijk na te gaan welke oorzaken in dit geval een rol spelen om op basis daarvan een oplossing te zoeken.

We zullen hier in het kort aangeven hoe op basis van de diverse oorzaken een oplossing mogelijk kan zijn.

## Stick-slip-trillingen

Wanneer stick-slip-stroming in een silo optreedt, is dit meestal wel te constateren aan lichte trillingen die voelbaar zijn aan de cilinderwand. Wanneer deze trillingen echt hinderlijk zijn of toch tot wat schokken aanleiding geven, moet worden nagegaan of het materiaal langs de wand of inwendig stick-slip-gedrag vertoont. Dit kan, zoals eerder vermeld, met een simpele afschuifproef. Wanneer er sprake is van stick-slip langs de wand,



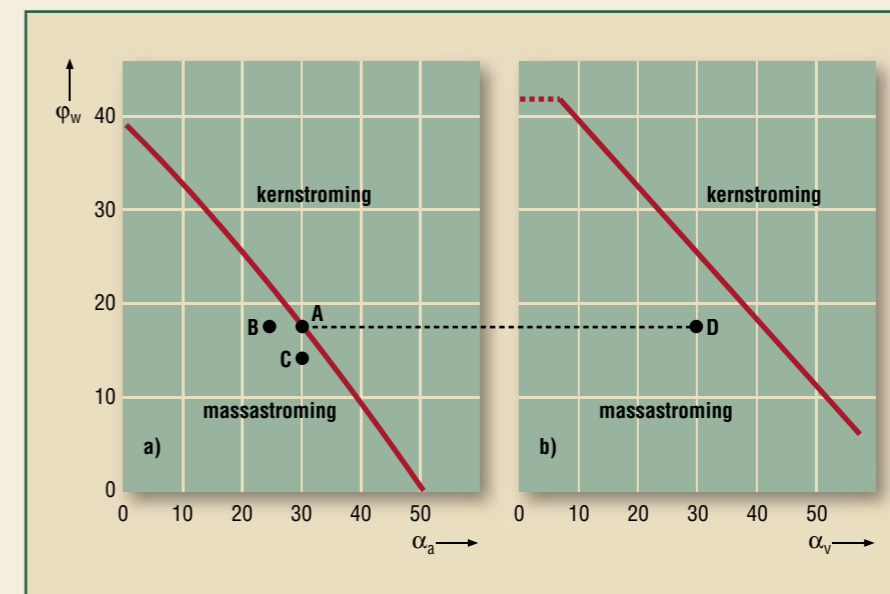
Figuur 1: Voorbeeld van het stick-slip-gedrag tijdens het meten van de wandwrijving.

kan worden geprobeerd met een geschikte wandcoating een beter stroomgedrag te krijgen. Is er alleen sprake van inwendige stick-slip, dan is er op zich weinig aan te doen. Wel blijkt soms dat bij lagere drukken het stick-slip-gedrag zowel langs een wand als inwendig in veel mindere mate optreedt. In dat geval kan een oplossing zijn om door geschikte maatregelen het drukniveau in de silo te verlagen zodat het stick-slipeffect wordt onderdrukt. In eerdere artikelen is beschreven hoe drukverlaging in een silo kan worden bereikt.

## Schokken tengevolge van een grensontwerp

Wanneer een vrij regelmatig patroon van op zich niet al te zware schokken optreedt, kan dit te wijten zijn aan een grensontwerp, waarbij de stroming wat pendelt tussen massa- en kernstroming. Op basis van de trechterhoek ( $\alpha$ ) en de wandwrijving ( $\varphi_w$ ) kan dit redelijk simpel worden gecontroleerd. Indien een grenssituatie bestaat, zoals aangegeven in figuur 2 als punt A, moet worden geprobeerd om tot een echte massastroming te komen. Hiervoor bestaan meerdere mogelijkheden. De vaak simpelste methode is het verlagen van de wandwrijving door een geschikte coating of bekleding van de conuswand te zoeken, waarbij de situatie bijv. in punt B terecht komt, met een goede massastroming. Helaas blijkt het niet altijd mogelijk om een geschikte en ook slijtvaste bekleding te vinden. Een tweede mogelijkheid is het steiler maken van de conus, zodat bijvoorbeeld fig 2 punt C wordt bereikt. Ook dan zal massastroming optreden, maar het is een ingrijpende oplossing die in een bestaande situatie meestal niet eenvoudig is te realiseren.

Een verdere mogelijkheid biedt het inbouwen van een verdringerkegel, zoals aangegeven in figuur 3. Dit is vooral bij axiaal-symmetrische stroming (dwz. een trechter met ronde of vierkante uitstroomopening) een redelijke optie. Door het inbouwen van de kegel ontstaat onderaan rond de kegel een spleetvormige uitstroomopening, waardoor een semivlak stromingsprofiel optreedt. Voor dit type stroming is een minder steile trechterhoek nodig om massastroming te krijgen dan in het oorspronkelijke axiaalsymmetrische stroomprofiel, zoals af te lezen in figuur 2



Figuur 2: Grenslijnen tussen massastroming en kernstroming voor  $\varphi_c = 45^\circ$ .  
a) axiaal-symmetrische stroming  
b) vlakke stroming

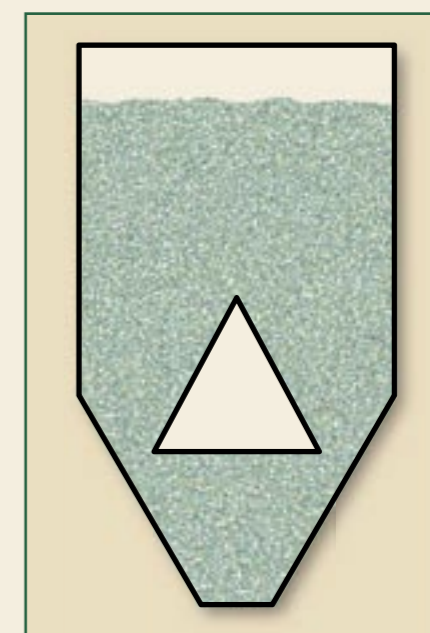
punt D. Het nadeel van het inbouwen van een verdringerkegel is dat de plaats en de juiste vorm van de kegel nogal kritisch is om een optimaal resultaat te krijgen. In de literatuur zijn hiervoor echter wel ontwerprichtlijnen te vinden. Tenslotte bestaat nog de mogelijkheid om aan de silogeometrie zelf niets te wijzigen, maar via trillers op de trechter of door het inblazen van lucht het stromingspatroon te verbeteren, zodat meer een massastroomsituatie ontstaat.

## Schokken en trillingen bij kernstroming

Indien kernstroming blijkt op te treden, kan in eerste instantie worden geprobeerd om massastroming te krijgen door verlaging van de wandwrijving of het inbouwen van een verdringerkegel. Indien dit niet mogelijk blijkt, kan worden geprobeerd het stroomgedrag te verbeteren door trillers op de trechter of het inblazen van lucht. Doch bij echte kernstroming is de kans op succes hierbij klein omdat de stroming zich relatief ver van de wand afspeelt. Wel is het soms mogelijk om, wanneer echte schokken optreden, met behulp van luchtkanonnen de stabiele zones op geregelde tijdstippen in beweging te brengen. Daarmee worden de schokken niet geheel voorkomen maar zullen ze regelmatiger en minder hevig optreden.

## Problemen bij massastroming

Ook bij een goede massastroming kunnen trillingen en schokken optreden. Deze



Figuur 3: Verbeteren van het stromingsgedrag door het inbouwen van een verdringerkegel.

kunnen worden veroorzaakt door een slecht werkende feeder waarbij instabiele zones boven de uitstroomopening ontstaan. Hierop moet het systeem worden gecontroleerd en moet de feeder worden aangepast. Maar ook bij goed werkende feeders kunnen bij massastroming problemen optreden. Meestal blijkt bij kleinere vulling van de silo de intensiteit van de schokken minder te worden. In dat geval kan het nuttig zijn om de druk op de trechter te verlagen door het inbouwen van obstructies in de cilinder.

In een volgende aflevering komen in een aantal cases (succesvolle) oplossingen bij schokproblemen aan bod. ■