

Drie praktijkoplossingen

De twee vorige artikelen beschreven hoe en waarom allerlei vervelende problemen als trillingen en schokken in een silo kunnen ontstaan en wat eventuele oplossingen kunnen zijn. In dit verhaal een aantal cases waarin met redelijk succes een probleem is opgelost.

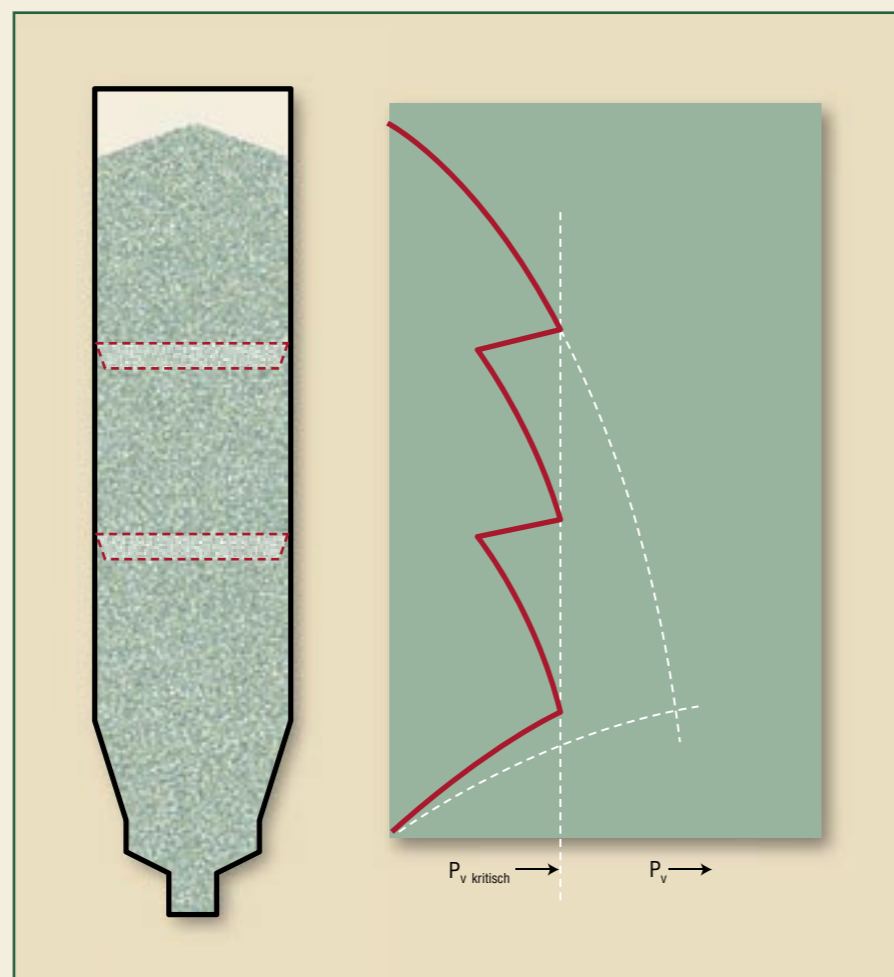
Ir. Gerard Haaker
en Ir. Piet van der
Kooij

Voorbeeld 1: Kalvermelksilo's met doseerproblemen

Twaalf slanke silo's voor jongveevoeder in poedervorm met een diameter $D=3,2\text{m}$ en een hoogte $H=6\text{m}$, vulhoogte $4-5\text{m}$, voorzien van een vrij steile uitstroomtrechter met een trechterhoek $\alpha = 200$. De silo's waren voorzien van regelbare trilbodems waarmee het uitstroomdebiet kon worden geregeld. Elke silo was afgesteund op vier drukdozen die het gewicht van silo-inhoud nauwkeurig registreerden. Dit systeem werd gebruikt voor het beladen van bulkwagens waarbij een geijkte nauwkeurigheid van de belading kon worden gegarandeerd. Dit beladingsysteem werkte lange tijd naar behoren. Totdat door capaciteitsvergroting werd besloten de silo's tot een hoogte van tien m te verlengen met een vulhoogte van $8-9\text{m}$. Vanaf dat moment traden er bij meerdere producten, vooral vette kalvermelkpoeder, behoorlijke schokken op. Op zich waren deze schokken geen probleem voor de siloconstructie maar het weegsysteem raakte compleet van slag. Er werden afwijkingen gemeten tot soms twee ton ten opzichte van het werkelijke vulgewicht met als gevolg dat de trilbodem geregeld veel te vroeg werd uitgezet en de uitlevering stopte. Omdat pas na een minuut het systeem weer mocht worden opgestart, ontstond een traag en lastig te besturen systeem.

Dure alternatieven

Oplossingen als het gebruik van weegbruggen voor het wegen van de bulkwagens of het bouwen van kleinere tussenbunkers werden in eerste instantie als nogal duur van de hand gewezen. Besloten werd zo mogelijk aan het schokken zelf iets te doen. Als eerste mogelijkheid werd de werking van trillers op diverse plaatsen van de cilinderwand uitgetest. Het bleek dat twee trillers per silo, onderaan en halverwege de cilinder, het probleem redelijk



Figuur 1: Het verminderen van schokproblemen door het inbouwen van drukverlagende tussenconussen.

beheersbaar maakte. Helaas bleek de bovenste triller bij daling van het vulniveau thermisch uit te slaan zodat hiervoor een aparte regeling nodig was. Vanwege de vrij hoge investeringen, extra energieverbruik, extra lawaai-overlast en met het oog op toekomstige uitbreidingen, bleek deze oplossing niet optimaal. De zoektocht ging verder.

Metingen aan de producten maakte duidelijk dat een zekere mate van stick-slip, zowel aan de wand als inwendig, bleek op te treden. Uit de gemeten wandwrijving en de toegepaste trechterhoek kon verder worden geconcludeerd dat in de silo's duidelijk massastroming optrad. Bij massastroming worden schokken dikwijls veroorzaakt doordat de massa in de cilinder de ruimte krijgt om plotseling wat te zakken en daarna wordt afgeremd. De ruimte ontstaat doordat het materiaal in de trechter dilateert of doordat mogelijk wat instabiele bruggen in de cilinder of de trechter bezwijken. In beide gevallen

speelt de vulhoogte van de cilinder en daarmee de verticale druk, een grote rol bij de intensiteit van de schokken. Ook bij de beschouwde silo bleek beneden een bepaald vulniveau geen schokgedrag meer op te treden. Het was dus zaak om ook bij een volledig gevulde silo de verticale druk te verlagen tot onder de druk van dit kritische niveau. Dit bleek mogelijk door het inbouwen van een aantal tussenconussen. Uit een berekening volgde dat met inbouw van twee conussen met een hoogte van $h=30\text{cm}$, dan wel drie met $h=22\text{cm}$ de druk voldoende kon worden teruggebracht. Gekozen werd uiteindelijk voor de inbouw van twee stuks waarna het systeem geen storende schokken meer vertoonde. De uiteindelijke oplossing is aangegeven in figuur 1.

Voorbeeld 2: grondstofsilo met zware schokproblemen

Voor de opslag van diverse grondstoffen in een chemische industrie wordt gebruik

gemaakt van een aantal slanke silo's met een opslagcapaciteit van circa 40 ton per stuk. Bij een aantal producten traden al bij een silovulling van 15 ton sterke schokken op en bij 20 ton was het schokniveau niet meer aanvaardbaar. Het verlagen van het drukniveau door inbouwen van een ontlastingsconus onderin de cilinder bleek nauwelijks te helpen. Besloten werd daarom tot een nader onderzoek naar oorzaak en oplossing van het probleem.

De betreffende silo bestaat uit een cilindrisch bovendeel, $D=2,5\text{m}$ $H=6\text{m}$, voorzien van een gecoate boventrechter die uitloopt in een broekstuk met twee uitstroomopeningen, elk voorzien van een trilgoot. Meting van het product dat de meeste schokken veroorzaakte wees uit dat het een vrij hard materiaal met een niet al te hoge inwendige wrijving betrof ($\varphi_e = 35^\circ$), met een licht stick-slip gedrag zowel inwendig als t.o.v. het wandmateriaal.

Op basis van de gemeten wandwrijving t.o.v. de gecoate boventrechter ($\varphi_w = 24^\circ$) bleek dat een trechterhoek α van 18 á 20° nodig zou zijn voor een goede massastroming. De in de boventrechter aanwezige hoek $\alpha = 20^\circ$ is dus typisch een grensgeval dat mogelijk (mede) oorzaak van de schokken zou kunnen zijn door de wisseling van massa- naar kernstroming en omgekeerd. Dieper in de trechter treedt dit niet meer op omdat de uitlopen van het broekstuk steiler zijn.

Er bestond de mogelijkheid dat door ongelijk materiaal onttrekken via beide uitlaten een asymmetrische stroming ontstaat met de kans op instabiele tijdelijke zones. De praktijk wees uit dat er altijd schokken optraden, ook wanneer via beide uitlaten dezelfde hoeveelheid werd onttrokken. Zoals in een vorig artikel uiteengezet, is ook bij echte massastroming schokvorming mogelijk doordat het materiaal in de trechter dilateert (uitzet omdat er ruimte nodig is voor de beweging) hetgeen het materiaal in de cilinder de ruimte geeft om plotseling na te zakken. Deze schokvorming treedt voornamelijk op bij vrij harde materialen met een lage, inwendige wrijving. Het beschouwde product voldeed hier aan.

In feite bleven er twee mogelijke oorzaken over voor het schokgedrag. Namelijk het instorten van instabiele zones door een niet ideale massastroming en/of door

de dilatatie in de uitstroomtrechter. Het schokgedrag werd daarbij mogelijk nog versterkt door het stick-slip effect van het product. De oplossing moest dus worden gezocht in het aanpakken van deze genoemde mogelijkheden door een aanpassing van de silo waardoor:

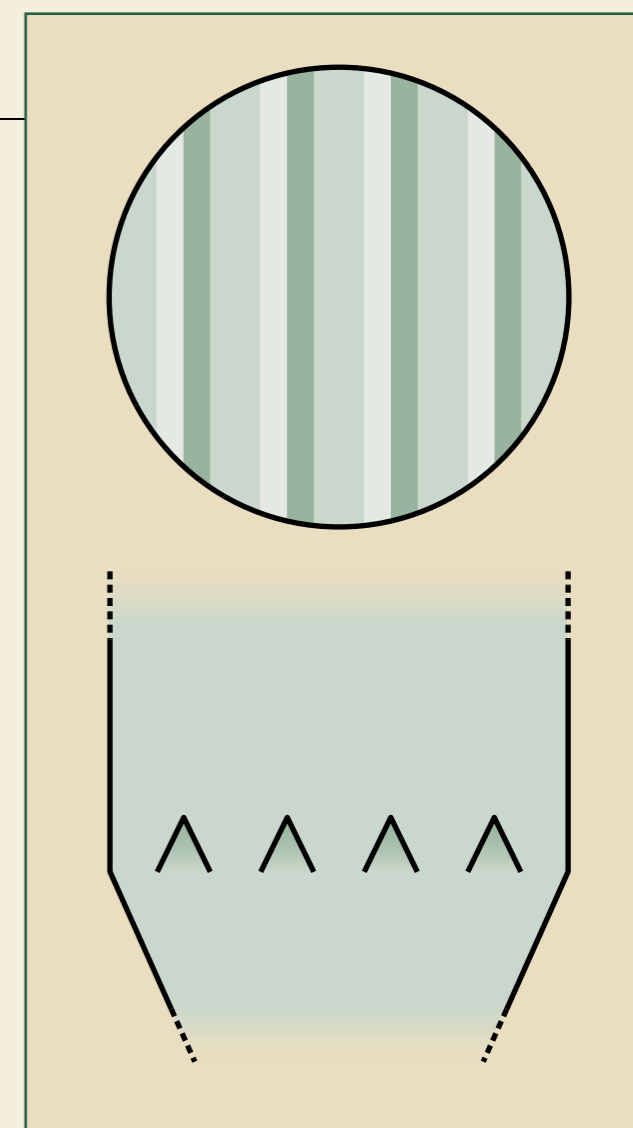
- het massastroomprofiel wordt verbeterd in het bovendeel van de trechter
- het gebied waar dilatatie kan optreden wordt verkleind
- de zakking van de productmassa in de cilinder beheerst kan worden.

Inbouw

Na het bekijken van een aantal mogelijkheden kwam als bruikbare oplossing naar voren het ter plaatse van de overgang inbouwen van twee of meer concentrische ringen, elk voorzien van een dakvormige opbouw. De hoeken van deze opbouw moeten wel voldoende steil zijn om massastroming te garanderen en de ruimte tussen de ringen groot genoeg om brugvorming te voorkomen. Het voordeel van de inbouw is dat veel minder ruimte voor dilatatie van het product bestaat met als gevolg ook minder 'valruimte' voor het bovenliggende materiaal in de cilinder. Bovendien wordt de druk op de rest van de trechter verlaagd zodat daar geen of weinig verdichting meer zal optreden. Het nadeel is dat deze oplossing constructief nogal lastig is zodat uiteindelijk gekozen is voor een serie evenwijdige dakjes zoals aangegeven in figuur 2. Hoogte, helling en afstand tussen de dakjes werden zo gekozen dat een goede en ongestoorde massastroming kon worden verkregen. De dilatatie van het materiaal vindt nu alleen in de ruimtes tussen de dakjes plaats waardoor deze ruimte vele malen kleiner is dan in de oorspronkelijke situatie. De inbouw neemt verder een aanzienlijk deel van de verticale last op. Het resultaat van de inbouw was dat, hoewel het schokgedrag nog niet geheel was verdwenen, het nu aanzienlijk verminderde en een vulling tot 35 á 40 ton nog acceptabel bleek.

Probleem 3: dagbunker voor kolen met feeder-problemen

Voor de tussenopslag van steenkool bij een kleine kolencentrale wordt een silo gebruikt, $D=3,5\text{m}$, $H=8\text{m}$. Onderaan de trechter is een uitdraagschroef aange-



Figuur 2: Voorbeeld van een inbouw ter vermindering van het schokgedrag. Door de inbouw wordt a) het stroomgedrag verbeterd, b) de druk op de conus verlaagd en c) de ruimte voor het schoksgewijs zakken van het materiaal in de cilinder verkleind.

bracht die het materiaal doseert naar de molen. Vanaf de ingebruikname traden bij bepaalde koolsoorten lichte schokken op die niet echt tot problemen leidden maar de dosering wat ontregelden. Controle van de silo en de schokkende koolsoorten wees uit dat er sprake moest zijn van een goede massastroming. Ook bij inspectie van bovenaf bleek een mooie gelijkmatige zakking van de kolen op te treden. Omdat het niet echt een probleem opleverde, werd er voorlopig maar niets aan gedaan. Toen na enige tijd de slijtage van de trechterbekleding moest worden gecontroleerd, kwam de aap uit de mouw. Aan de voorzijde van de trechter, de kant dus waar de schroef van de silo verlaat, was aanzienlijk minder slijtage opgetreden dan in de rest van de trechter. Dit wees dus duidelijk op een slecht werkende feeder die hoofdzakelijk materiaal aan de achterzijde onttrekt, met als gevolg (instabiele) dode zones aan de voorzijde. Aanpassing van de schroef door een variatie van de spoed en de diameter verbeterde het onttrekpatroon en daarmee bleken de schokken nagenoeg verdwenen. ■