

Het ontwerpen van silo's als maatwerk (2)

In een vorig artikel kwam een standaard-methode aan bod voor het ontwerpen van massastroomsilo's. Daarbij zijn een aantal zaken die invloed uitoefenen op het ontwerp of op het gebruik van de silo nog niet aan de orde geweest. In dit artikel gaan we daarop in en geven we aan hoe hiermee bij het ontwerp of bij het gebruik rekening kan worden gehouden.

Ir P. van der Kooij
en Ir G. Haaker

Sommige opslagsilo's lijken last te hebben van een maandagochtend-humeur. Vrijdagmiddag loopt de zaak nog uitstekend, maar wanneer maandagochtend na een ongestoord weekend de zaak weer wordt opgestart, komt er geen materiaal uit de silo. Slechts door een paar forse klappen met een voorhamer op de trechter komt de stroming dan soms weer op gang. Dit probleem komt over het algemeen voor doordat het materiaal onder druk voor langere tijd stilstond in de silo. De combinatie van tijd en druk veroorzaakt bij sommige materialen een vergroting van de eigen sterkte van het materiaal, waardoor het minder gemakkelijk zal vervormen of stromen. Om latere problemen te voorkomen, moet bij het silo-ontwerp al rekening worden gehouden met de tijdsinvloed. Of en in welke mate materi-

alen gevoelig zijn voor tijdsverstevinging, kunnen we met metingen vaststellen door het materiaal gedurende een zekere tijd onder een belasting te laten staan en daarna de eigen sterkte te meten. Waar we eerder het gemeten verband tussen consolidatiespanning σ_1 en eigen sterkte σ_1' aangaven met de Flow-Functie FF, hebben we bij de tijdsinvloed te maken met de Tijd-Flow-Functie FFt. Belangrijk is in deze ook de duur van de ongestoorde opslag, daar een langere tijd ook meestal tot een grotere sterkte zal leiden. We zullen dus voor tijdsgevoelige materialen al bij het ontwerp van de silo een indruk moeten hebben of en hoe lang het product wordt opgeslagen zonder dat er materiaal aan de silo wordt onttrokken.

Kritische uitstroombening

In de praktijk kunnen zich voor de flow-functies FF en FFt een aantal mogelijkheden voordoen zoals aangegeven in figuur 1. We zien hier in de eerste plaats de flow-factor ff en de tijdloze flow-functie FF. Het snijpunt van beide lijnen leidt tot de kritische waarde σ_1' waaruit de kritische uitstroombening d_{kr} wordt berekend. Verder zien we een tijd-flow-functie FFt1, gemeten voor een zekere ongestoorde opslagtijd t1, bijvoorbeeld 24 uur. Het snijpunt van FFt1 en ff leidt

tot een hogere waarde van σ_1' , en dus tot een hogere waarde voor de kritische uitstroombening d_{kr} . Een tweede tijd-flow-functie FFt2 geeft de invloed voor een nog langere tijd, bijvoorbeeld drie dagen, weer. Dit leidt tot een nog grotere kritische uitstroombening d_{kr} .

Door te kiezen voor grotere waarden voor de uitstroombening, kunnen we dus rekening houden met het tijdeffect en zal ook na stilstand de silo weer probleemloos op gang komen. Dit leidt echter niet in alle gevallen tot een bruikbare oplossing. Soms is de tijdsinvloed dermate groot, dat de keuze moet vallen op een onrealistisch grote uitstroombening met een navenant grote feeder. In deze gevallen verdient een andere benadering de voorkeur.

De eerste mogelijkheid is dan om uit te gaan van een realistische opening, bijvoorbeeld de tijdloze d_{kr} met een veiligheidsstoeslag. We accepteren dan dat er na stilstand stabiele brugvorming over de uitstroombening kan optreden, en passen een geschikt hulpmiddel (triller of luchtkanon) toe om deze bruggen te breken. Zodra stroming optreedt, vindt er voldoende vervorming in het materiaal plaats om de tijdsinvloed op te heffen zodat verdere stroming zal optreden zonder hulpmiddelen. Bij toepassing van trillers om mogelijke bruggen te breken mag alleen worden

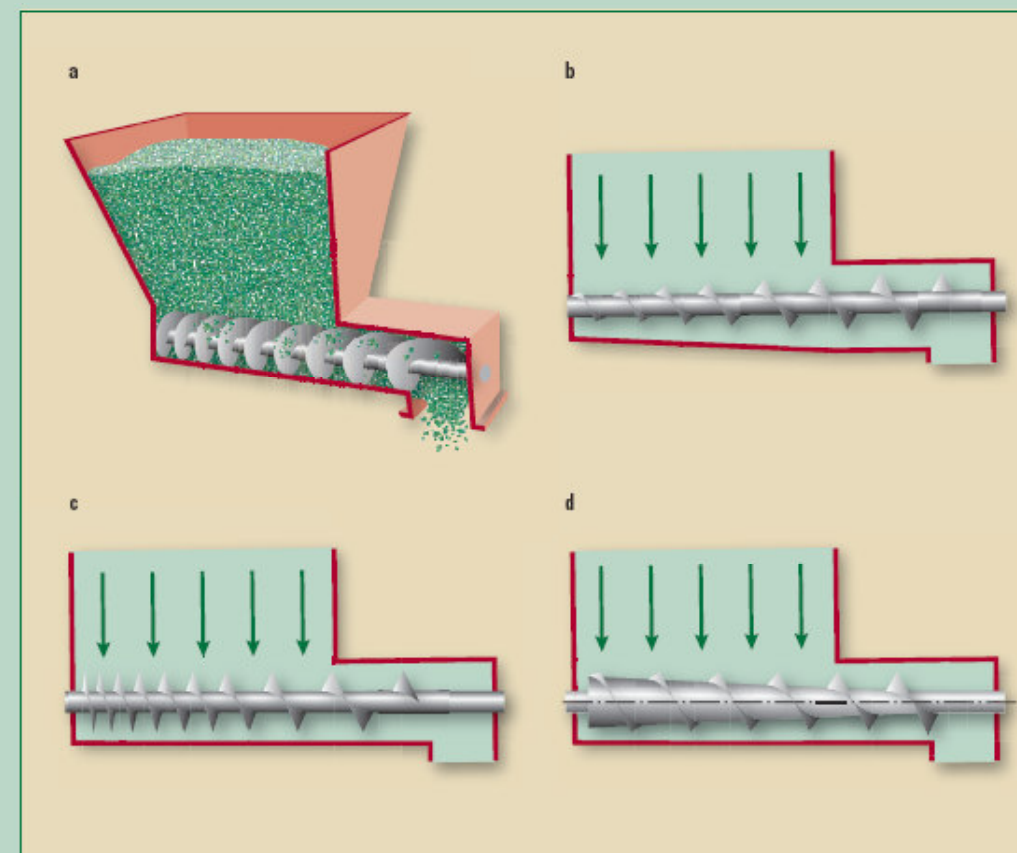
getrild bij geopende afsluiter of lopende feeder. Anders verslechtert de situatie misschien juist doordat de trillingen het materiaal nog meer versteven.

Een andere mogelijkheid is om uit te gaan van de kritische opening d_{kr} , behorende bij een korte tijdsinvloed, maximaal zes uur ongestoorde opslagtijd, en er voor te zorgen dat geen langere stilstandtijden optreden. Hiervoor moet er steeds na zes uur stilstand een kleine hoeveelheid materiaal worden afgetapt en gerecirculeerd. Dit herstelt de tijdloze situatie en kan verder zonder hulpmiddelen plaatsvinden. Welke van beide mogelijkheden de voorkeur verdient, zal per situatie verschillen maar kan op basis van de te meten tijdsinvloed op het betreffende materiaal worden bekeken.

De materiaalverstevinging tijdens stilstand zal in het algemeen geen invloed hebben op het stromingspatroon. Wanneer de stroming weer op gang komt, al dan niet met hulpmiddelen, zal weer massastroming optreden. Slechts in uitzonderlijke situaties, bijvoorbeeld wanneer tijdens stilstand het materiaal echt aan de wand bakt, kunnen problemen optreden. Dit aanbakgedrag valt vaak al tijdens metingen in de ontwerpfase op. Keuze voor een ander wandmateriaal, rvs, of een geschikte coating biedt dan soms een oplossing.

Invloed van de feeder

Direct onder de uitstroombening van een silo bevindt zich meestal een feeder. Dit is een kort transportmiddel dat de materiaalstroom uit de silo regelt. Vaak toegepaste feeders zijn schroef-, band- en trilfeeders. Voor een goede werking van de silo is het van belang dat de feeder materiaal onttrekt over de gehele uitstroombening. Indien slechts over een gedeelte van de opening materiaal wordt onttrokken, zal een vorm van kernstroming optreden met dode zones. Soms kan zelfs brugvorming optreden over de nu effectief kleinere uitstroombening. Een voorbeeld is de toepassing van een schroeffeeder met een constante spoed en diameter. Deze heeft de neiging alleen materiaal uit de achterzijde van de trechter te halen met alle gevolgen van dien (figuur 2). De oplossing is om voor het materiaal de ruimte in de schroef te creëren om over de gehele opening toe te stromen. Dit kan door de



spoed, de diameter of de asdiameter over de schroeflengte te variëren, zoals in figuur 3 is aangegeven.

Brugvorming in de cilinder

Niet alleen brugvorming in de trechter komt voor maar er zitten soms ook min of meer stabiele gewelven in de cilinder. Doordat het materiaal onder het gewelf wel normaal uitstroomt, vallen dergelijke stabiele gebieden niet direct op. Wanneer een dergelijk gewelf bezwijkt, soms spontaan of door externe trillingen, storten vaak tonnen materiaal omlaag en leiden tot ernstige schade.

De kans op dergelijke 'hang ups' kan op basis van een soortgelijke beschouwing als bij brugvorming in de trechter worden ingeschat.

Overigens is het bezwijken van het materiaal in het gewelf niet per se nodig om een stabiele cilinderbrug te voorkomen. Wanneer er sprake is van een perfecte cilinder kan de brug als geheel naar beneden glijden en is pas bij de overgang

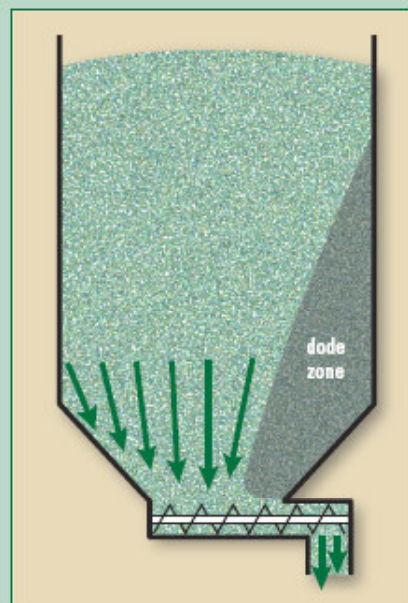
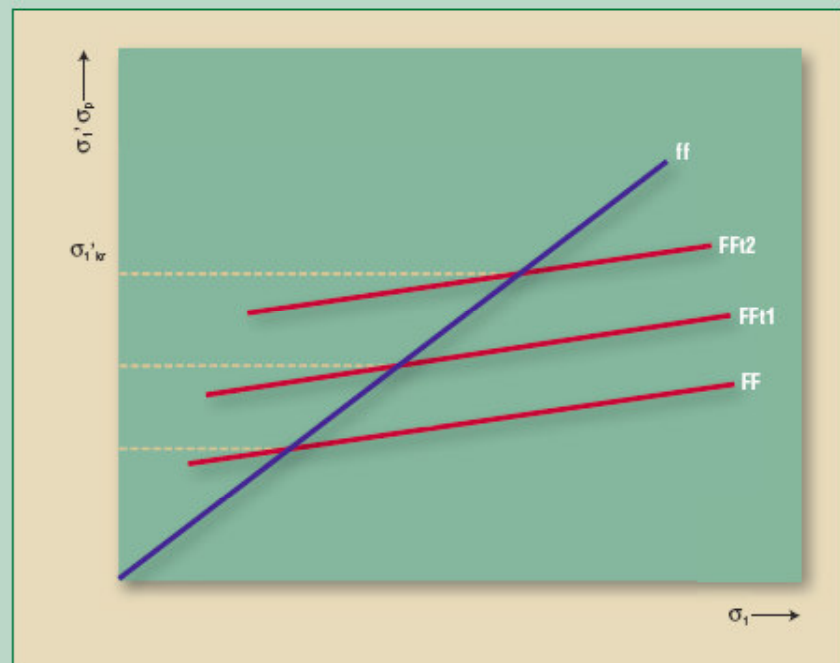
naar de trechter vervorming noodzakelijk. Om deze reden is de kans op een stabiel gewelf in de cilinder groter naarmate er meer imperfecties in de cilinderwand aanwezig zijn.

Over het algemeen zal brugvorming in de trechter eerder optreden dan in de cilinder. Wanneer het opslagproduct echter gevoelig is voor tijdsverstevinging, is controle hierop geboden. Zeker bij toepassing van hulpmiddelen in de trechter. Als het optreden van hang-ups niet kan worden uitgesloten, verdient het om schade te voorkomen aanbeveling om niveaumeters in de silo aan te brengen die een probleem tijdig signaleren. ■

Dit artikel behoort tot een reeks van drie. In Solids Processing nr.1 van dit jaar behandelden we de standaardmethode van massastroomsilo's. In het volgende nummer vindt u het afsluitende artikel.

Figuur 3: Aanpassing van een schroef via:
a) continu variabele spoed.
b) variabele schroefdiameter
c) stapsgewijs variabele spoed
d) variabele asdiameter.

Figuur 1: Invloed van de ongestoorde opslag-tijd op de kritische uitstroombening.



Figuur 2: Optreden van dode zones in een massastroomsilo door een slecht ontworpen schroef.