

Optimale doorstroming gevraagd

Feeders worden in het Nederlands vaak aangeduid als silo-ontladers of losmechanismen. Ze vormen een belangrijk onderdeel van een opslagsysteem en regelen op een betrouwbare manier de voeding naar een volgend onderdeel van het proces. Althans, wanneer alles goed gaat. In dit eerste van twee artikelen belichten de auteurs de eisen die aan feeders mogen worden gesteld, naast mogelijke belastingen, keuzecriteria en mogelijke hulpmiddelen voor een goede uitstroom van een silo.

Strikt genomen vallen ook afsluitmechanismen als schuiven e.d. onder de definitie van een feeder. Maar in de praktijk dienen ze niet meer dan voor het (gedeeltelijk) open of dicht maken van een opening. Wanneer aan de massaastroom hogere eisen worden gesteld, voldoet een dergelijk aan/uit systeem niet en zal een echte feeder moeten worden gebruikt. Hiermee kan de massaastroom binnen de gevraagde nauwkeurigheid worden geleverd. In een aantal gevallen zal de stroming van silo naar feeder niet optimaal verlopen en zullen hulpmiddelen (zogenoemde flowpromotors) moeten worden toegepast. Op deze pagina's gaan we in op de algemene kenmerken van feeders en flowpromotors. Een volgende keer volgt een artikel over enkele feedertypen.

Eisen aan feeders

Net zoals een silo-ontwerp moet aansluiten bij het materiaal of een groep materialen dat in de silo wordt opgeslagen, dient ook de feeder te worden afgestemd op zowel het materiaal als de silo waarin deze wordt toegepast. Daarnaast moet de feeder de door het proces vereiste massaastroom kunnen leveren. Of dat nou gebeurt op basis van het geleverde volume (volumetrische dosering) of op basis van de geleverde massa (gravimetrische dosering). Welk type dosering zal worden toegepast en welke soort feeder ook wordt gekozen, de feeder zal tenminste aan drie eisen moeten voldoen:

- Hij moet een constante, ongestoorde materiaalstroom, bij alle gevraagde debieten van het proces kunnen leveren.
- Er mag geen negatieve invloed op het stromingspatroon van de silo worden uitgeoefend.

- Hij moet geschikt zijn voor alle soorten materiaal die in de silo worden opgeslagen.

Constante, ongestoorde materiaalstroom

Wanneer het gewenste debiet variabel is, zal de feeder dus zodanig moeten kunnen worden geregeld qua toerental of doorlaat dat de capaciteit voldoende is om alle gevraagde hoeveelheden met de gewenste nauwkeurigheid te kunnen leveren. Hierbij speelt ook de toevoer van de silo naar de feeder een rol. Die moet zelfs het maximaal gevraagde debiet kunnen verwerken. De massaastroom M van een vrij stromend materiaal uit een silo kan in benadering worden voorspeld met de empirische formule $M = C \cdot p_b \cdot \sqrt{g} \cdot (d - k \cdot d_p)^{2.5}$, waarin p_b de stortgoeddichtheid, d de hydraulische uitstroombiameter en d_p de gemiddelde deeltjesdiameter voorstelt. De waarden van de empirische constanten C en k zijn afhankelijk van het stortgoed en de silogeometrie en niet al te nauwkeurig vast te stellen. In het geval van zeer fijne vrijstromende, en zeker bij cohesieve materialen, is de voorspelling van het vrije uitstroombdebit nog minder betrouwbaar. Gelukkig blijkt in de praktijk dat in nagenoeg alle gevallen de vrije uitstroom ruim voldoende is, zodat niet de silo maar de feeder het maximaal haalbare debiet zal bepalen.

Stromingspatroon

De negatieve invloed op het stromingspatroon speelt speciaal bij massaastroomsilo's, omdat deze juist zijn ontworpen om een first in/first out-stroming te garanderen. Dit om problemen als segregatie, stabiele brugvorming en dode zones te voorko-

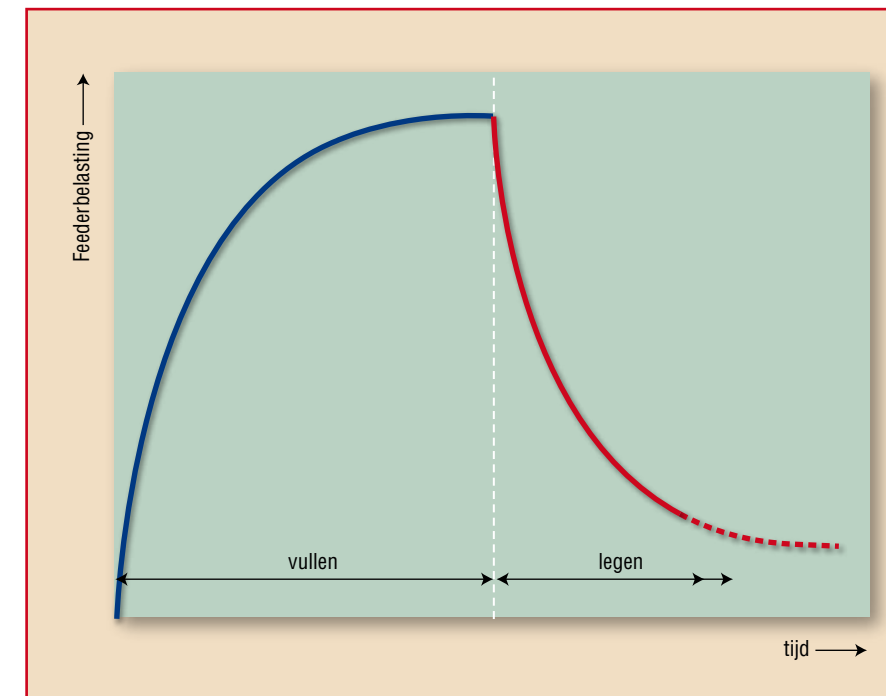
men. Daarvoor moet de feeder gelijkmatig en over de volledige uitstroombopening materiaal aan de silo onttrekken. Dit vormt meestal geen probleem bij kleine ronde of vierkante uitstroombopeningen indien als interface tussen silo en feeder een klein stuk verticale pijp wordt gebruikt met een hoogte ongeveer gelijk aan de uitstroombopening van de conus. In het geval van een langwerpige uitloop van de hopper moet het feeder-ontwerp rekening houden met een toename van de onttrokken materiaalstroom in de stromingsrichting. Hier komen we later, bij de bespreking van enkele afzonderlijke feeders op terug. Het feeder-ontwerp moet constructief ook zo zijn uitgevoerd dat geen obstructies van de stroming op kunnen treden door onnodige vernauwingen van het stroomkanaal. Zeker als hier bijvoorbeeld ook nog horizontale steunvlakken aanwezig zijn waarop het uit te stromen materiaal stabiele gebieden kan opbouwen. Het verdient dan ook aanbeveling om de toelaat naar de feeder wat wijder te kiezen dan de uitlaat van de silo.

Alle soorten materiaal

Zowel eigenschappen van het stortgoed zelf, zoals hardheid, versmerende en verslijtende werking op de feeder, en mogelijke stofvorming zijn van belang. Maar ook proceseigenschappen als temperatuur en feederlast spelen een rol bij de eisen aan het ontwerp. Vanzelfsprekend moet bij het stoppen van de feeder ook de materiaalstroom stoppen. Dat betekent dat de feeder normaal gesproken ook als afsluitorgaan dienst zal doen. Dit laatste moet ook kunnen bij materialen die gemakkelijk zijn te beluchten, waarbij in ongunstige omstandigheden een vorm van 'flooding' (het schieten van het materiaal) zou kunnen optreden. Dan moet de feeder wel voldoende afsluiten om ongecontroleerde materiaalstroming te voorkomen.

Feeder-belasting

De verticale belasting op een feeder wordt bepaald door de verticale druk in het onderste deel van de hopper. Hierbij moeten we onderscheid maken tussen de druk die op kan treden bij het vullen



Figuur 1: Mogelijke belasting van een feeder tijdens vullen en legen van de silo

van de silo, en de druk wanneer eenmaal materiaal aan de silo is onttrokken. Bij het vullen van de silo zal de druk in de cilinder toenemen bij toenemende vulling. De optredende wrijving van de wand begrenst deze tot minder dan hydrostatisch. De druk in de trechter zal aanvankelijk ook toenemen bij stijgende vulhoogte. Maar in hoeverre deze druktoename doorzet, hangt af van de eigenschappen van het opslagproduct en de vorm en wrijving van de conus. Wanneer er voldoende verticale beweging in de conus plaatsvindt (door nazakken/settlen), zal ook het stortgoed voldoende vervormen om een zogenaamd radiaal spanningsveld te laten ontstaan. Hierbij neemt de verticale druk in de conus vanaf de overgang cilinder/conus ongeveer lineair af met de diepte in de conus. De druk onderin de conus, en dus ook de belasting op de feeder is dan laag. Wanneer tijdens het vullen weinig beweging in de conus optreedt, zal er vooralsnog geen radiaal spanningsveld ontstaan. Hiermee zal ook de verticale druk onderin de conus en daarmee de feederload hoog zijn zolang geen materiaal wordt onttrokken. Het optreden van deze factoren hangt samen met een groot aantal factoren, zoals stijfheid en elasticiteit van het stortgoed, optredende stortgoeddruk, stijfheid van de feeder en de ondersteuning van de feeder en wijze

van vullen en is dus moeilijk te voorspellen. Figuur 1 schetst een beeld van feederbelastingen tijdens vullen en legen. Hier komt duidelijk naar voren waarom bij het feeder-ontwerp rekening moet worden gehouden met de maximale belasting tijdens het vullen. De belasting, optredend bij een geheel gevulde silo en hopper, heeft gezien de metingen een maximale waarde die overeenkomt met een hydrostatische drukhoogte van twee tot vier maal de breedte van de uitstroombopening. Tijdens het onttrekken van materiaal neemt deze druk snel af tot waarden die een factor drie tot vijf lager kunnen zijn. De hoge feederbelasting tijdens het vullen heeft als consequentie dat ook de aanloopkracht van de feeder voldoende groot moet zijn om de feeder te kunnen starten. Dit leidt in de praktijk soms tot problemen. Een hoge feederbelasting kan de kans op productdegradatie en slijtage van de feeder vergroten. Er bestaat gelukkig een aantal maatregelen om hoge feederbelastingen te voorkomen. Een mogelijkheid is een in verticale zin flexibele verbinding tussen hopper en feeder. Hierdoor zal bij een hoge belasting de feeder wat zakken. Dat maakt dat het materiaal in de hopper ook wat kan nazakken en dat er een omslag naar een radiaal spanningsveld kan optreden met een veel lagere feederbelasting. Een andere

mogelijkheid is om na het ten dele vullen van de silo, wanneer de feederbelasting nog niet te hoog is, een beetje materiaal aan de conus te onttrekken waardoor ook voldoende beweging in de conus optreedt om een radiaal spanningsveld te vormen. Bij het daarna verder vullen van de silo verandert het spanningsveld in de conus niet, zodat de druk op de feeder laag blijft.

Typekeuze

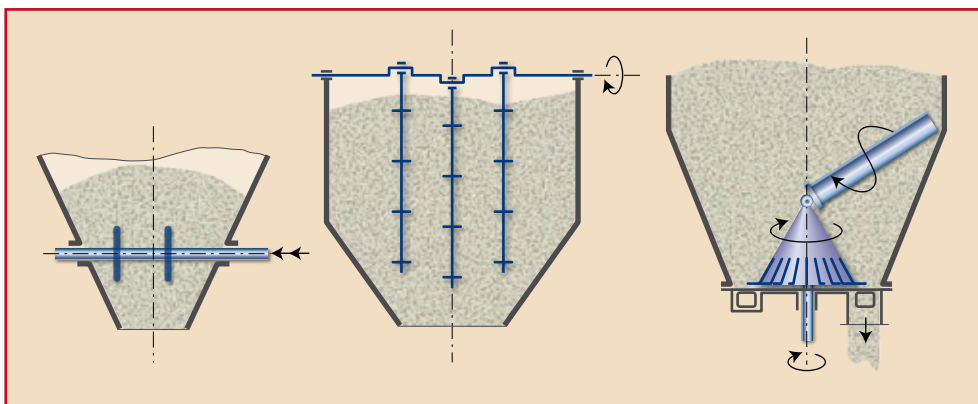
De inzet van het type feeder hangt nauw samen met de eigenschappen van het opslagproduct, de eisen vanuit het proces, en de fysieke beperkingen van een feeder. Bij dat laatste denken we dan aan maximale afmetingen, toelaatbare temperatuur en regelbereik. Belangrijke factoren vanuit het opslagproduct zijn de deeltjesgrootte (en dan voornamelijk de afmetingen van de grootste deeltjes), de gevoeligheid voor slijtage onder druk en afschuifkrachten en de slijtende werking van het product op de feeder. De eisen vanuit het proces hebben te maken met zaken als afdichting tegen stof, regelbereik van de feeder, onderhouds- en reinigingskosten, afdichting tegen mogelijke gasdrukverschillen en gravimetrische of volumetrische dosering. In de literatuur van Ed. C.J. Brown and J. Nielsen* zijn voor de meest gebruikte feedertypen tabellen te vinden waarin is aangegeven in hoeverre ze aan dergelijke eisen kunnen voldoen.

Stroombevordering

Stroombevorderende hulpmiddelen worden vaak aangebracht wanneer een silo minder goed of helemaal niet stroomt. Soms blijkt al in de ontwerpfase dat het voor bepaalde opslagproducten onmogelijk is om via geometrische dimensionering een goed werkende silo te bouwen. Dan ontkomt de gebruiker niet aan stroombevorderende apparatuur. Stel dat bij stilstand het materiaal in de tijd wordt verstevigd, dan is voor het weer ongestoord laten uitstromen vaak een grote opening nodig. Maar als dat met de toevoeropening van de feeder niet is op te lossen, dan wordt voor een kleinere opening en flow-stimulering gekozen.



Optimale doorstroming gevraagd



Figuur 2:
Voorbeeld van een aantal roer- en woel-apparaten om het materiaal los te houden

Flowpromotors komen in vele soorten en uitvoeringsvormen voor. We noemen hier de belangrijkste typen.

Mechanische hulpmiddelen

Pookgaten zijn in de silowand, meestal in de conus, aangebrachte openingen die het mogelijk maken het opslaggoed met mechanische of pneumatische lansen aan te stoten. Hoewel ze in bepaalde gevallen voldoende worden tegenwoordig nog maar weinig toegepast. Het zijn eigenlijk geen echte flowpromotors, maar ze worden incidenteel gebruikt wanneer het materiaal echt blokkeert doordat een stabiele brug of gewelf is gevormd. Waar het in de conus op deze manier op gang brengen van materiaal weinig kwaad kan, is dat hogerop in de silo een hachelijk zaakje. Bij het op deze wijze 'breken' van een gewelf kan door het plotseling

instorten van het gewelf een behoorlijke stootbelasting op de conus optreden met navenante schade.

Roer- en woelwerken zijn in of boven de conus aangebrachte, mechanische elementen die in het materiaal bewegen om het los te houden. Ze kunnen continu in beweging zijn of alleen na stilstand van de silo om de tijdversteving van het materiaal te breken. Vele uitvoeringen van dit type hulpmiddelen komen we in de praktijk tegen. Van horizontaal of verticaal bewegende stangenmechanismen tot in het materiaal draaiende schroeven. Figuur 2 toont enkele voorbeelden. Verdringerlichamen zijn in de trechter aangebrachte constructies in de vorm van een dichte conus of piramide met de punt naar boven, dan wel een extra open conus, een zogenaamde cone-in-cone constructie. Ze zijn meestal bedoeld

om de symmetrische ruimtespanning in het materiaal om te zetten naar een vlakspanningstoestand. Het zijn in feite geen echte flowpromotors omdat ze de stroming op zich niet verbeteren maar ook bij minder steile conushoeken het stromingspatroon kunnen omzetten van kernstroming naar massastroming. Soms worden deze inserts ook aangetrild en wordt daardoor de stroming op zich ook beïnvloed.

Trilmechanismen

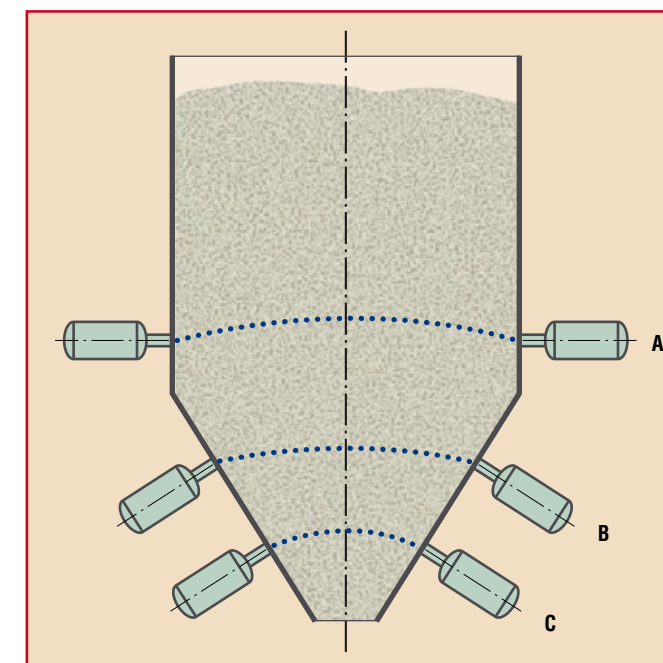
De meest simpele uitvoering van een trilmechanisme is natuurlijk de grote voorhamer. Een 'handig' hulpmiddel om de trechter mee te bewerken als de zaak weer eens vast zit. Meestal in het begin een praktische oplossing, op den duur resulterend in een trechterwand vol butsen die de stroming alleen nog maar verslechteren. Een wat meer geciviliseerde uitvoering is een op de conus aangebrachte triller. Pneumatisch of elektrisch aangedreven, zijn ze vaak ook qua aanstootkracht en/of frequentie regelbaar. Aandachtspunt is wel dat deze trillers alleen mogen werken bij geopende uitstroomopening. Anders wordt door de aangebrachte trillingen het materiaal in de trechter juist vast getrild. Soms wordt de gehele conus aangetrild, waarbij meestal ook nog een interne trillende bodemplaat is aangebracht. Hierover later meer bij de bespreking van de feeders.

Op basis van lucht

Bij pneumatische flow-promotie wordt meestal lucht continu of intermitterend in het onderste gedeelte van de trechter geblazen, heel lokaal via nozzles of over grotere oppervlakken via poreuze platen. Nozzless zijn vaak op één ringleiding aangesloten (zie figuur 3a). In het eerste geval blaast er continu kleine luchtstroom door alle nozzless tegelijkertijd. Hierdoor wordt het materiaal in ieder geval bij de wand gefluidiseerd en zal beter stromen. In het tweede geval, wanneer bij cohesief materiaal in de trechter mogelijk brugvorming kan optreden, dient het systeem meer als brugbreker. Hierbij wordt door de afzonderlijke nozzless beurtelings een luchtstoot op het materiaal losgelaten die de brug laat bezwijken. Hetzelfde resultaat geeft het in de trechterwand inbouwen van een serie opblaasbare luchtkussens (figuur 3b). Het alternerend en zeer kortdurend opblazen van de verschillende kussens belast de brug asymmetrisch, waardoor deze bezwijkt. Een andere toepassing van lucht zijn de

zogenaamde airslides. Dit zijn luchtdoorlatende platen die worden aangebracht op nagenoeg vlakke bodems of op de wanden van een stompe conus. De optredende fluidisatie genereert een goede stroming langs deze flauwe hellingen. Toepassing vindt meestal plaats bij de wat grotere silo's die vanwege de benodigde ruimte niet van een echte conus kunnen worden voorzien. Voorwaarde hierbij is uiteraard dat het materiaal goed fluidiseerbaar moet zijn, zoals bijvoorbeeld cement. Tenslotte bestaan er zogenaamde air-blasters of air-cannons. Deze worden gebruikt bij zeer cohesieve materialen wanneer veel brugvorming optreedt, speciaal tijdens stilstand van het opslagsysteem. Deze luchtkanonnen bestaan uit luchtvaartjes met lucht van hoge druk (5-8 bar). Die worden tegen de buitenzijde van de conus gemonteerd op de plaatsen waar brugvorming wordt verwacht (zie figuur 4). Wanneer de uitstroom uit de silo blokkeert, kan de inhoud van de luchtvaten via enkele nozzles met een flinke stoot in het materiaal worden

Figuur 4: Het gebruik van luchtkanonnen met relatief grote drukstoten om
A) gewelfvorming in de cilinder tegen te gaan,
B) brugvorming door tijdsconsolidatie te verbreken,
C) continu stabiele bruggen te voorkomen



geblazen. Dit veroorzaakt breking van de opgetreden blokkering. Om de blokkade van meerdere zijden te bestoken, zitten deze luchtkanonnen vaak op meerdere plaatsen aan de omtrek. Op basis van ervaring kunnen deze luchtkanonnen ook preventief worden toegepast. Hiervoor worden ze op geregelde tijdstippen in werking gesteld voor een echte blokkering optreedt.

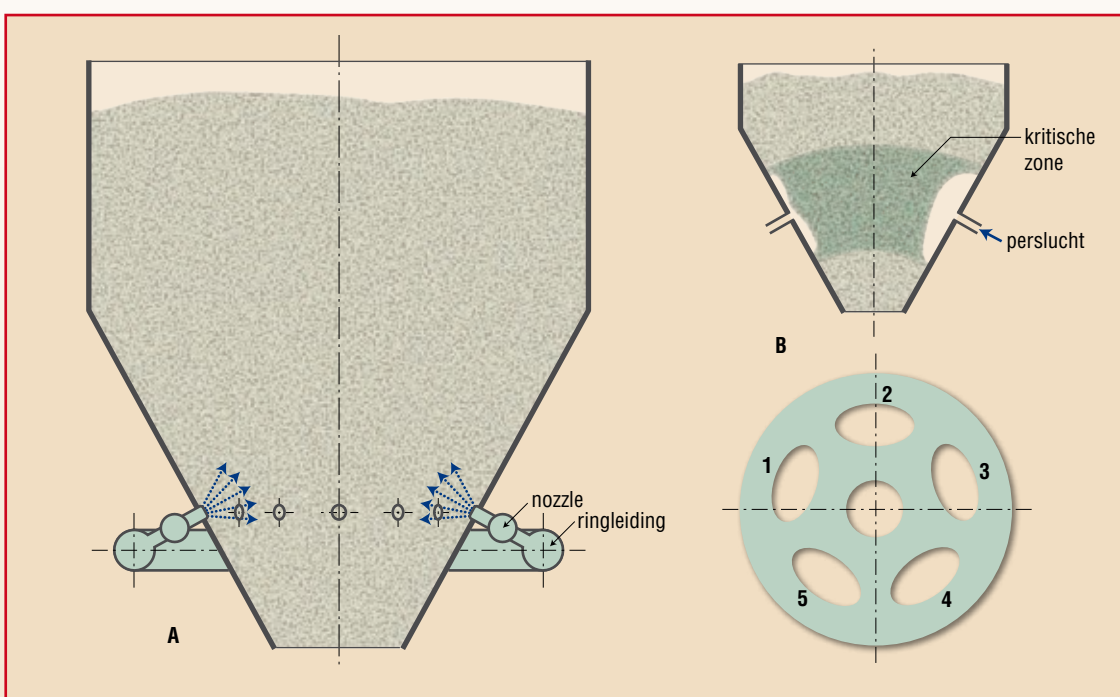
Luchtkanonnen worden ook wel preventief toegepast wanneer het gevaar bestaat van gewelfvorming hogerop in de cilinder. Door het instorten van dergelijke gewelven kunnen zware trillingen optreden, of zelfs ernstige beschadigingen aan de uitlooptrechter. Hier brengen een of meer aan de cilinderwand aangebrachte luchtkanonnen uitkomst.

Combinaties van oplossingen

Bij zeer slecht lopende producten bieden combinaties van bovengenoemde mogelijkheden soms een oplossing. Trillers op de conus en gelijktijdige fluidisatie door het inblazen van lucht, levert in enkele

gevallen een goed resultaat. Ook is wel geprobeerd om te fluidiseren met hoogfrequente luchtstootjes. Echter, de resultaten van een combinatie van trillingen en fluidisatie bleken in de praktijk nogal tegen te vallen. ■

*Silos, Fundamentals of theory, behaviour and design. Ed. C.J.Brown and J.Nielsen, 1998 E & FN Spon, London, ISBN 0419215808



Figuur 3b: Opblaasbare kussens om gevormde bruggen te breken. De kussens worden intermitterend opgeblazen, bijvoorbeeld in de volgorde 1-3-5-2-4