

Veel toegepaste feeders

In de twee eerdere artikelen zijn de algemene eisen en toepassingen van feeders behandeld en de mogelijkheden om de toestroming te verbeteren door gebruik te maken van flowpromotors. Dit derde artikel gaat wat specifiek op een aantal veel toegepaste feeders in, namelijk de schroeffeeder of uitdraagschroef, de bandfeeder, de trilfeeder, de cellenradsluis en de trilbodem of bin activator.

We bespreken hier slechts die eigenschappen waarmee rekening moet worden gehouden om het systeem silo/feeder probleemloos te laten werken. Een complete beschrijving van deze en andere lossystemen in de vorm van een decision-matrix kan in de literatuur worden gevonden [1].

De schroeffeeder of uitdraagschroef

De schroeffeeder is waarschijnlijk de meest toegepaste feeder en kan in principe worden toegepast voor alle typen stortgoed, zowel vrijstromend als cohesief. Zolang de toestroming naar de feeder maar is gewaarborgd. Hij is minder geschikt voor abrasieve materialen, daar de optredende wrijving veel slijtage kan veroorzaken. Een schroeffeeder zal normaal gesproken volumetrisch doseren via regeling van het toerental. Maar hij kan in combinatie met een weegstelsel uiteraard ook gravimetrisch werken. Dit type feeder kan bij een ronde of vierkante silo-uitgang worden gebruikt, maar wordt het meest toegepast bij een langwerpige

uitstroomopening. Hierbij is het wel noodzakelijk dat de schroef geometrisch goed is ontworpen. Een schroef heeft namelijk de neiging om hoofdzakelijk materiaal aan de achterzijde van de sleufopening, dus aan het begin van de schroef, aan een silo te onttrekken. Alleen de eerste schroefgangen worden gevuld en deze transporteren het materiaal onder de rest van de opening mee, zonder dat verder aanvulling plaatsvindt. Hierdoor treedt niet alleen in de silo geen massastroming meer op, maar kan ook over een deel van de opening stabiele brug- of gewelfvorming optreden, met alle problemen vandien. Er is een aantal constructieve aanpassingen mogelijk om de schroef wel materiaal over de gehele lengte van de opening te laten onttrekken. Het idee is om er voor te zorgen dat in de transportrichting in de schroef voldoende ruimte ontstaat om overal nog materiaal te laten toestromen (Fig. 1). Dit bereiken we door de spoed en/of de diameter van de schroef in de transportrichting (trapsgewijs of continu) te laten toenemen, dan wel de diameter

van de as te laten afnemen. Hierbij dient wel met een aantal zaken rekening te worden gehouden. Die hebben alle te maken met de werking van een uitdraagschroef. Die verschilt duidelijk van de werking van een normale (horizontale) transportschroef. De laatste heeft een lage vullingsgraad en werkt als een duworgaan, waarbij het stortgoed totaal niet roteert maar door het langs glijdende schroefblad horizontaal over de bodem van de trog of buis wordt getransporteerd. Bij een uitdraagschroef is de vullingsgraad veel hoger en wordt het materiaal ten dele door wrijving met as en schroefblad meegenomen en afgeremd door de wrijving met het huis en de inwendige wrijving. Door het achterblijven van de rotatie van het materiaal t.o.v. de schroef vindt dan transport plaats. Het is te vergelijken met een moer op een roterende bout, waarbij de moer wat wordt tegengehouden om geheel met de bout mee te draaien. Hierdoor zal dus verplaatsing van de moer langs de bout optreden. In het geval van de uitdraagschroef zal de mate van transport dus afhangen van de optredende wrijvingen van het stortgoed met de schroef en het huis die weer worden bepaald door wrijvingscoëfficiënt en schroefgeometrie. Voor het ontwerp van een goed functionerende schroef zijn de vier volgende grootheden belangrijk:

1. Minimale waarde van de spoed

In feite gaat het hier om de verhouding tussen spoed (s) en schroefdiameter (d_s): s/d_s . Wanneer deze waarde te klein wordt, zal de wrijving van schroefblad en as met het materiaal zo groot zijn dat het materiaal nagenoeg met de schroef mee roteert en er geen transport zal optreden. De exacte grenswaarde van s/d_s is lastig exact te berekenen, maar praktisch wordt meestal een waarde $s/d_s = 0,25$ als veilige ondergrens aangehouden.

2. Maximale waarde van de spoed

Uit een theoretische beschouwing van het schroefgedrag (zie [2]) kan worden afgeleid dat geen transport meer zal optreden wanneer de spoed zo groot wordt dat geldt $\alpha + \varphi_w > 90^\circ$. Hierin is α de flankhoek ($\arctan s/\pi d_s$) en φ_w de wrijvingshoek tussen schroef en buis met het stortgoed. Dit

leidt tot een absolute bovengrens voor de waarde van s/d_s , maar in de praktijk blijkt een kleinere waarde al veel eerder kritisch te zijn. Uit berekeningen van de transportcapaciteit Q als functie van de waarde s/d_s blijkt namelijk dat deze aanvankelijk toeneemt bij stijgende s/d_s , maar vanaf een zekere waarde weer zal afnemen. In fig.2 is dit als voorbeeld aangegeven voor een bepaalde schroef/stortgoed combinatie. Deze trend geldt voor alle combinaties waarbij het actuele verloop wordt bepaald door de optredende wrijvingshoeken. De invloed van de wrijvingshoek φ_w is te zien in fig.3, waar de relatieve transportweg van het materiaal per schroefomwenteling (S_b/d_s) als functie van s/d_s en φ_w is weergegeven. Het vergroten van de waarde van s/d_s voorbij de maximumwaarde van de transportcapaciteit Q (of van S_b) is contraproductief omdat de capaciteit dan dus af- in plaats van toeneemt. Hierdoor wordt niet alleen de toestroming vanuit de silo lokaal belemmerd, maar kunnen ook problemen met ongewenste drukopbouw en grote schroefmomenten optreden. In de praktijk kan als veilige maat van s/d_s 75 procent van de theoretische waarde bij Q_{max} worden aangehouden.

3. Gevraagde uitdraagcapaciteit

De uitdraagcapaciteit wordt bepaald door de s/d_s aan het einde van de schroef, dus net voor een eventuele choke-sectie begint, en het toerental n. De waarde van n wordt meestal tussen 40 en 80 rpm gekozen. Op basis hiervan en de gevraagde uitdraagcapaciteit kan nu de waarde van s/d_s worden bepaald met de relatie Q en s/d_s , die op basis van de wrijvingswaarden kan worden opgesteld, zoals bijvoorbeeld in fig.2. Wanneer de waarde van s/d_s aan het schroefeinde hoger zou uitkomen dan 75 procent van de waarde bij Q_{max} , kan voor een wat hoger toerental en/of grotere diameter worden gekozen.

4. Optimalisatie van de schroef

Wanneer de eindwaarde van s/d_s eenmaal vast ligt, kan voor de rest van de schroef de waarde van de spoed worden bepaald om een zo gelijkmatig mogelijke onttrekking van het materiaal

te krijgen. In figuur 4 (ontleend aan [3]) is een voorbeeld gegeven van het optimaal berekende spoedverloop. Hierbij is tevens de asdiameter gevarieerd om de ideale toename van de transportcapaciteit langs de schroef zo dicht mogelijk te benaderen. Een op deze wijze optimaal ontworpen schroef zal dus over de volle toevoeropening gelijkmatig materiaal aan de silo onttrekken. In het transportgedeelte van de schroef, dus voorbij de toevoeropening, dan wel in de smoorsectie, neemt de spoed nog iets toe om mogelijke drukopbouw te voorkomen. Hoewel het in principe dus mogelijk is de benodigde, continue variatie van spoed en diameter te berekenen, wordt in de praktijk vaak voor een trapsgewijze variatie gekozen. Dit omdat het eenvoudiger is te realiseren. Een dergelijke oplossing is ook in figuur 4 aangegeven. Hieruit blijkt wel dat bij te lange gedeelten met constante spoed geen toename van de capaciteit, dus geen toestroming van materiaal plaatsvindt. Zo ontstaat toch het risico van stilstaande gebieden. Dit is ten dele te voorkomen door in deze gebieden de asdiameter aan te passen. Een bijkomend voordeel van een schroeffeeder is dat hij in principe geheel gesloten kan worden uitgevoerd, zodat geen stofproblemen hoeven op te treden. Tevens kan het laatste gedeelte van het schroefhuis als pijp worden uitgevoerd, de

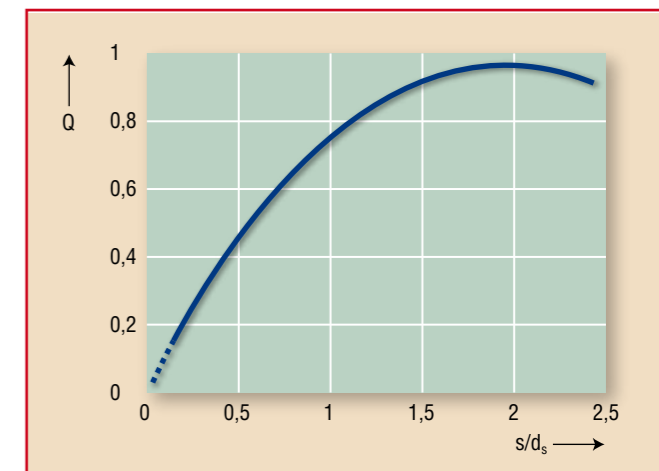


Fig. 2 : Voorbeeld van de invloed van de toename van de spoed s op de transportcapaciteit Q per omwenteling

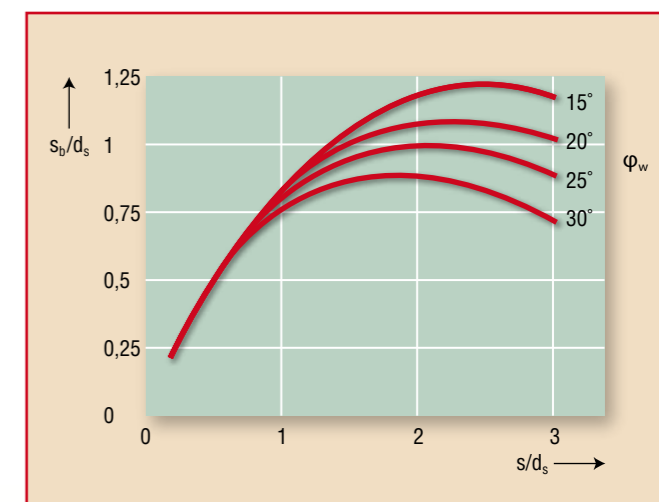


Fig. 3 : Invloed van de schroefwrijving φ_w op de stortgoedverplaatsing S_b per omwenteling. Bij een hogere waarde van φ_w is S_b lager en wordt ook eerder het maximum bereikt

zogenoemde smoorsectie. Wanneer deze voldoende lang wordt gekozen, kan de gevulde schroef ook als afzichting tegen een (niet al te hoog) luchtdrukverschil worden gebruikt. Bij brede toevoeropeningen worden vaak meerdere schroeven

Fig.1: a) Een slecht werkende schroef bij langwerpige openingen, en mogelijkheden tot verbetering door b) toenemende schroefdiameter, c) toenemende spoed, d) afnemende asdiameter

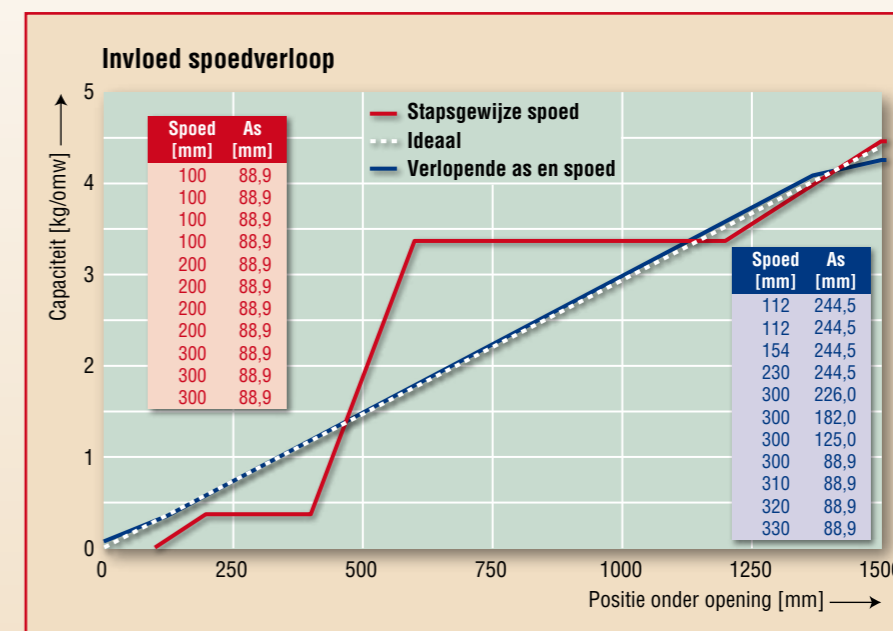
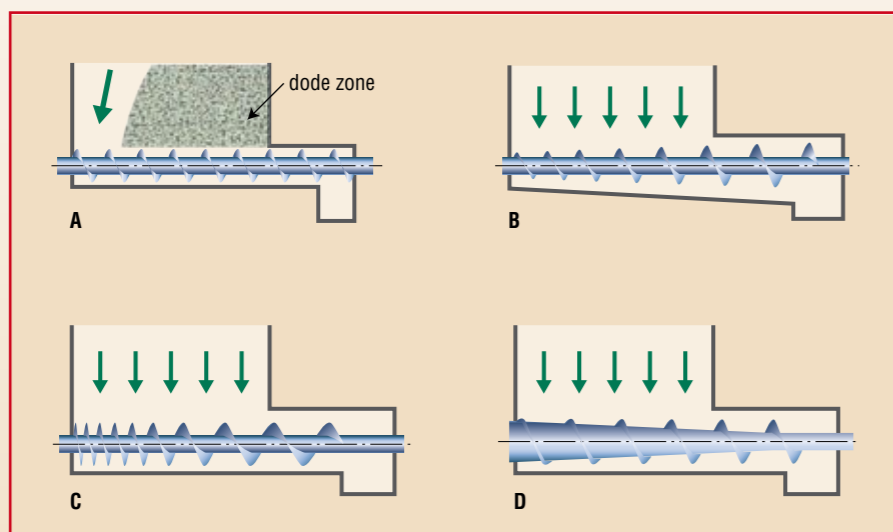


Fig. 4 : Voorbeeld van een schroefontwerp dat door optimale aanpassing van spoed en asdiameter het ideale transportverloop zo goed mogelijk benadert. Ter vergelijking is ook een aanpassing met een trapsgewijs variërende spoed en constante asdiameter weergegeven

Veel toegepaste feeders

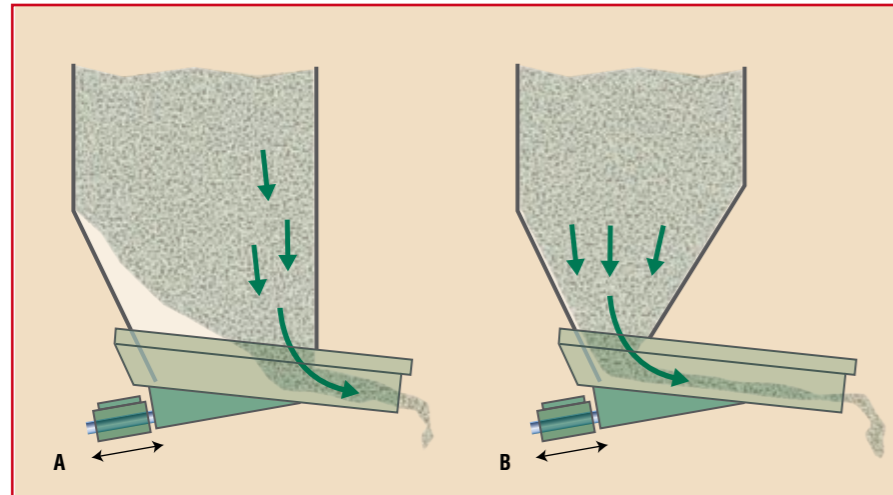


Fig. 5: a) Niet optimaal werkende trilfeeder bij langwerpige opening, te verbeteren door b) de toeloop aan de voorzijde te vertragen door een minder steile, afremmende helling

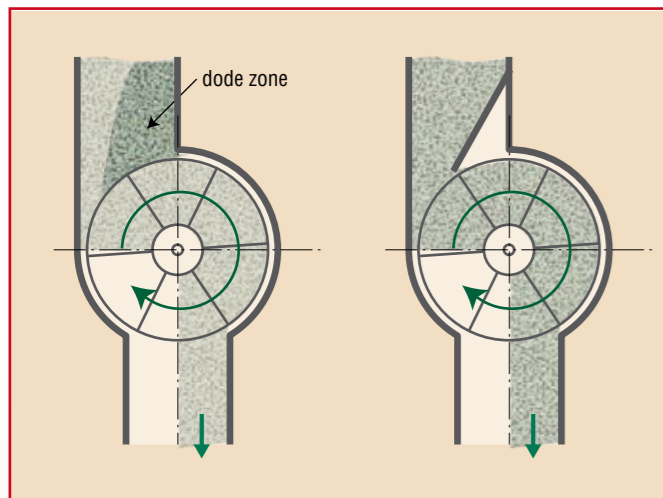


Fig. 6: Het vermijden van dode zones bij een roterende sluis door het aanbrengen van een geleideplaat

naast elkaar toegepast om te grote diameters te voorkomen. Een wat verdere verdieping in de hierboven aangegeven methoden van schroefontwerp kan in de literatuur [2] en [3] worden gevonden.

De bandfeeder

De bandfeeder is in feite een normale, meestal vlakke, korte transportband. Dit veel voorkomende type feeder is goed toepasbaar voor zowel vrijstromende als cohesieve, breekbare, elastische, niet stuwende materiaalsoorten. Het grote voordeel is dat de bandbelasting vrij eenvoudig is te meten, zodat zowel volumetrisch als gravimetrisch kan worden gedoseerd. Regeling van de massastroom vindt plaats via aanpassing van laagdikte en/of bandsnelheid. De bandfeeder kan zowel voor ronde en vierkante als voor langwerpige openingen worden gebruikt. In het laatste geval zullen voor een goede werking weer enkele geometrische aanpassingen nodig zijn. Ook een bandfeeder zal in het algemeen niet gelijkmatig mate-

moeten blijven om massastroming te houden. En bij cohesieve materialen dat de opening groot genoeg blijft om brugvorming te voorkomen.

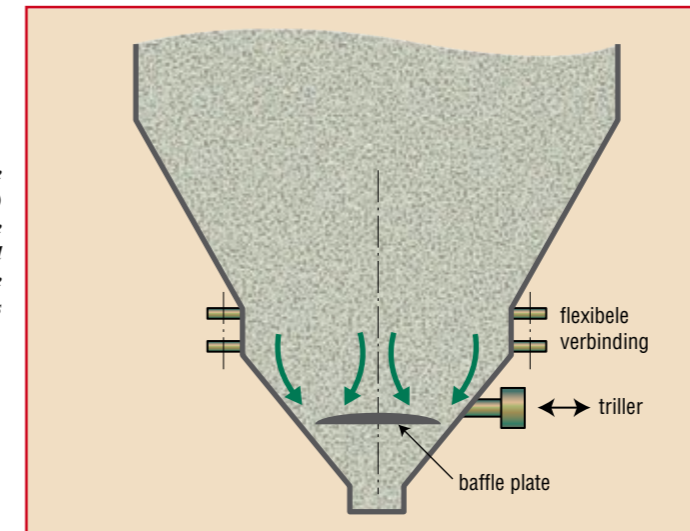
De roterende sluis (cellenradsluis)

De eveneens veel toegepaste roterende sluis wordt gebruikt bij ronde of vierkante openingen, voor het (volumetrisch) doseren van vrij stromende of licht cohesieve materialen. Bij niet te grote afmetingen vindt meestal stroming over de gehele toevoeropening plaats, bij wat grotere exemplaren kunnen problemen optreden. Omdat de cellen al bij het begin van de inlaatopening worden gevuld, kan een eenzijdige stroming en opbouw van een dode zone ontstaan (zie fig. 6a). Dit kan voorkomen worden door het installeren van een geleideplaat boven de inlaat van de sluis (fig. 6b). Ook toepassing van meer en kleinere cellen en een hogere draaisnelheid, zodat de cellen wat minder snel vol zijn, kunnen de toevoer wat regelmatig maken. Door variatie van de draaisnelheid van de sluis kan de geleverde volumestroom binnen zekere grenzen worden geregeld. De roterende sluis wordt vaak toegepast voor het voeden van pneumatische transportinstallaties. Samen met de boven de sluis staande materiaal kolom vormt deze een redelijke afdichting tussen silo en de hogere druk in het pneumatische systeem. Wel zal er altijd een zekere hoeveelheid lek lucht optreden. Ten eerste via de inhoud van de roterende kamers, en ten tweede via rechtstreekse lek door de spleet tussen rotor en huis. Door slimme constructies is dit lek klein te houden. Bovendien is wat lekken van lucht niet altijd ongunstig omdat dit soms het materiaal onderin de conus enigszins fluidiseert zodat de toestroming wordt bevorderd. Leklucht kan echter ook zorgen voor ondersteuning van een (tijdelijke) brug, zodat stagnatie of een onregelmatige stroming kan optreden.

De trilfeeder

Deze zogenaamde trilgoot is een vrij robuust uitgevoerde feeder die voor vele materialen (vrijstromend, cohesief, heet, agressief) en in veel omstandigheden (stoffig, vuil) kan worden toegepast. Dit genereert een redelijk constante, regelbare materiaalstroom. De regeling kan zowel via aanpassing van de frequentie als de amplitude plaatsvinden. Dit type feeder wordt bij voorkeur voor ronde en vierkante openingen gebruikt en is maar in beperkte mate geschikt voor langwerpige openingen. Het probleem daar is dat de trilfeeder het materiaal bij voorkeur aan de voorkant van de uitstroombuiging onttrekt (zie fig. 5a). Dit kan grotendeels worden voorkomen door de hopper aan de achterzijde zo steil mogelijk te maken en aan de voorzijde een niet zo steile helling te kiezen (fig 5b) eventueel door het aanbrengen van geleideplaten. De beperking hierbij is dat de hellingen steil genoeg

Fig. 7: Trillende conus (bin activator) met meertrollende baffle-plate, flexibel afgehangen aan de siloconus



blijven liggen wanneer niet wordt getrild. Dan treedt ook geen feeding op hoewel soms toch een aparte afsluiter nodig blijkt. Door de trillingen vindt niet alleen transport plaats maar wordt ook het stromingsgedrag van het materiaal verbeterd. Dit type feeder is wat regelbaar in frequentie en amplitude maar het regelbereik is vrij klein. Buiten dit gebied wordt de werking snel aangetast. Verder is de materiaalstroom, vooral bij de wat grotere diameters, vrij groot. Wanneer deze stroom teveel wordt geknepen, loopt het onderste

deel van de bodem vol en treedt alsnog stagnatie op.

De werking van de trilbodem wordt sterk beïnvloed door de belasting vanuit het bovenliggende stortgoed. Wanneer deze belasting te hoog wordt, zal de trilling van de conus worden belemmerd. Het is dan ook eigenlijk niet aan te raden om deze feeder rechtstreeks onder de cilinder te monteren. In zo'n geval wordt zeker bij grotere diameters, de belasting op de feeder te hoog voor een goede werking. Beter is het om eerst een stukje

vaste conus aan te brengen, waardoor de verticale belasting sterk zal afnemen. Dit heeft bovendien het voordeel dat met een kleinere, trillende conus kan worden volstaan. Ook hier geldt overigens dat in de vulsituatie, zeker bij harde, weinig elastische materialen, de dan mogelijk optredende hoge feederbelasting moet worden voorkomen. ■

Literatuur:

- [1] Silos, Fundamentals of theory, behaviour and design, Ed. By C.J. Brown and J. Nielsen, 1998, E & FN Spon, ISBN 0419215808
- [2] A method to optimize screw feeder geometry for equitable draw-down performance. G. Haaker c.s. Powder Handling & Processing Vol.6 nr 2, April/June 1994
- [3] Ontwerp uitdraagschroef, variabele spoed, variabele kerndiameter. P. van der Kooij, 1998. Na te lezen op: www.bulksolids.nl leesmap.