

**OPSLAG**

Ir Gerard Haaker en Ir Piet van der Kooi

Systemen soms onnodig duur en minder betrouwbaar

# Geef opslag en transport direct wat meer aandacht

Wanneer een productieproces voor een bepaald product wordt ontworpen, gaat de meeste aandacht uit naar de betrouwbaarheid van de productie zelf en de kwaliteit van het product. Dat het product ook nog eens moet worden getransporteerd en opgeslagen, komt in dat stadium vaak nauwelijks aan de orde. Soms blijkt dan pas later dat het gefabriceerde product nogal beroerde stromingseigenschappen heeft, zodat niet-verwachte, grotere investeringen nodig zijn om een betrouwbaar opslagstelsel te realiseren.

In dit artikel beschrijven de auteurs het ontwerpproces van een opslagstelsel voor een tussenproduct in een bedrijf. Tijdens dit proces bleek dat de stromingseigenschappen van het product grote problemen tijdens opslag zouden gaan veroorzaken. Inzet van extra hulpmiddelen en dus hoge opslagkosten waren onvermijdelijk. Toch nog maar even gezocht naar alternatieven om een betrouwbaar systeem tegen lagere kosten te kunnen realiseren.

**Het productieschema**

In het voorbeeld ging het om een organisch tussenproduct dat op locatie wordt geproduceerd en zowel in het eigen bedrijf als bij andere bedrijven verder moet worden verwerkt. Daar zowel de afzet van het product als de aanvoer van de voor het product benodigde grondstoffen sterk fluctueerde, beschikte het bedrijf over een relatief grote opslagbuffer. De eerste opslag gebeurde in vijf silo's van 200m<sup>3</sup>. Dit garandeerde voldoende voorraad voor tien dagen.

Zoals in figuur 1 is te zien, zal in de eerstvolgende verwerkingsstap het materiaal weer moeten worden opgelost. Om deze opslagstap voldoende snel te laten verlopen, mogen in het product geen deeltjes groter dan 2mm voorkomen. Uit een zeefanalyse bleek dat in het uitgangsmateriaal nog circa 25 procent van de deeltjes te groot zou zijn (zie figuur 2, curve 1). Dat maakte een verkleiningsstap na de productie nodig. Om bedrijfstechnische redenen moest dit voor de opslag gebeuren. Een hamermolen met een eindzeef van 1,5mm, respectievelijk 3mm bracht uitkomst. De zeefanalyses van deze ma-

terialen staan in figuur 2 als curve 2 en 3. Beide verkleinde producten voldoen aan de eis dat geen deeltjes > 2mm meer aanwezig zijn.

**Stromingseigenschappen**

De drie inputmaterialen, corresponderend met curve 1, 2 en 3 zijn via de standaardtestmethode met een Jenike sheartester gemeten. Het product kwam relatief warm uit de productie, aanname circa 60° C bij aanvang van de opslag, zodat ook de materiaaleigenschappen op een hogere temperatuur werden gemeten. De tien dagen voorraad resulteren bovendien in soms acht dagen geen materiaalonttrekking aan de silo. Dat betekent dat ook tijdstijversteving een belangrijke rol speelt.

De wandwrijvingshoek  $\phi_w$  en de inwendige wrijvingshoek  $\phi_b$  bleken voor alle materialen zodanig dat voor massastroming een niet al te steile conus nodig zou zijn. De problemen deden zich pas voor toen naar de materiaalsterktes werd gekeken. En vooral de tijdstijversteving beïnvloedde dat nog eens extra.

Op basis van de metingen zijn voor de drie materialen de benodigde uitstroombereik berekend om ongestoorde uitstroming te kunnen garanderen. Figuur 3 geeft de benodigde uitstroombereik  $d_{krit}$  weer als functie van de ongestoorde opslagtijd. Uit deze figuur blijkt onmiddellijk dat de verkleinde materialen (2 en 3) eigenlijk al na een dag dermate verstevigd zijn dat ze grote problemen bij de opslag zullen geven. Dat kost weer een hoop

inzet van hulpapparatuur om ze losbaar te krijgen. Extra nadeel is de lage dichtheid van het materiaal (gemiddeld ca 500 kg/m<sup>3</sup>). De ervaring leert dat dit soort lichte materialen in het algemeen moeilijker stromen.

Materiaal 1, het niet verkleinde uitgangproduct, gedraagt zich een stuk beter. Dat is zelfs ondanks de optredende tijdsconsolidatie nog wel hanteerbaar. Daarom zocht het bedrijf een manier om een tussenproduct te maken dat wat meer op materiaal 1 bleef lijken en toch geen te grote deeltjes zou bevatten. Het aanbrengen vóór de molen van een 2mm zeef en alleen het gedeelte >2mm door de molen voeren, bracht uitkomst. Na de molen kwam het materiaal dan weer bij elkaar. De zeefanalyse van het hiermee ontstane mengproduct is in figuur 2 als materiaal 4 weergegeven. Dit materiaal blijkt dus goed te voldoen aan de eisen qua deeltjesgrootte en wijkt in het kleine deeltjesgebied niet al te veel af van die van materiaal 1. Figuur 3 geeft de vergelijking weer van de benodigde uitstroombereik. Het gemengde product 4 wordt alleen bij korte opslagtijden wat sneller vastevigd dan het uitgangproduct 1. Maar bij langere opslagtijden vallen deze verschillen weer weg.

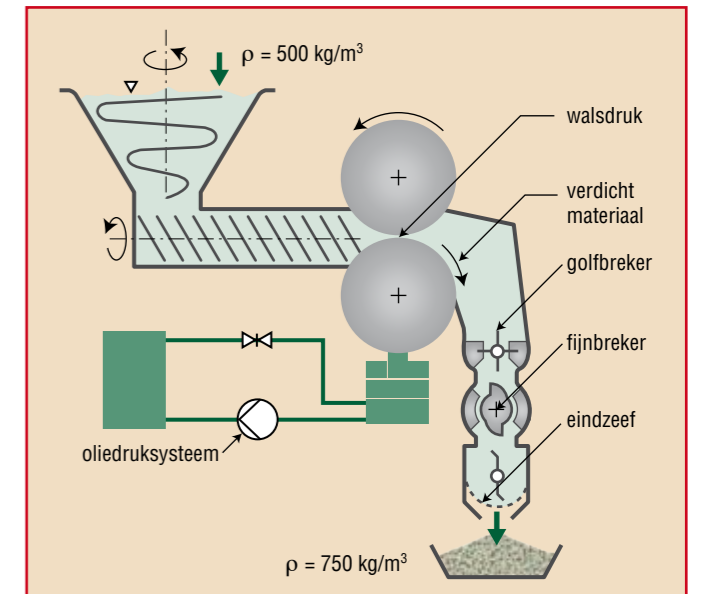
**Niet de ideale oplossing**

Op basis van product 4 zijn de opslagsilo's ontworpen met als voorwaarde dat met acht dagen tijdsconsolidatie moest worden gerekend. Zoals af te leiden uit figuur 3 is in dat geval een minimale uitstroombereik  $d_{krit} > 4m$  nodig. Een aanvullende eis betrof stroombevorderende hulpmiddelen. Gekozen werd voor toepassing van trilbodems die tot een maximum diameter van 3,6m leverbaar zijn. Er kon alleen boven de trilbodem geen vast conusdeeltje

worden aangebracht omdat dit een te kleine doorlaat had om brugvorming te voorkomen. De silo's bestonden nu dus uit een cilindrisch bovendeel met een diameter van 3,6m en direct daar onder een trillende conus. Deze oplossing leverde wel twee duidelijke nadelen op. Allereerst is de belasting vanuit de cilinder op de trilconus relatief hoog omdat er geen vast conusdeeltje aanwezig is dat de belasting voor een groot deel op zou kunnen nemen. Het tweede nadeel betreft de gekozen cilinderdiameter van 3,6m, waarbij het niet uitgesloten is dat er ook brugvorming onder in de cilinder kan optreden bij acht dagen tijdsopslag. Om dit te voorkomen, dan wel op te lossen, was dus een vorm van recirculatie of flow-promotie via bijvoorbeeld luchtkanonnen nodig. Op de cilinderwanden werden daarom alvast voorzieningen getroffen om zo nodig luchtkanonnen te kunnen aanbrengen. Ondanks de hoge kosten en twijfel over de betrouwbaarheid werd, mede onder tijdsdruk vanuit de productie, besloten op deze basis vijf voorraadsilo's en verdere tussenopslag te bouwen. Na een hoop aanloopmoeilijkheden begon het systeem uiteindelijk te voldoen. Maar gezien de hoge investeringskosten werd vast voor toekomstige opslag gekeken naar een meer betrouwbaar en mogelijk ook goedkopere oplossing.

**Het alternatief**

Vanaf het begin was duidelijk dat alleen verbetering van de stromingseigenschappen tot een betere oplossing zou kunnen leiden. Het uitgangproduct met de sterke

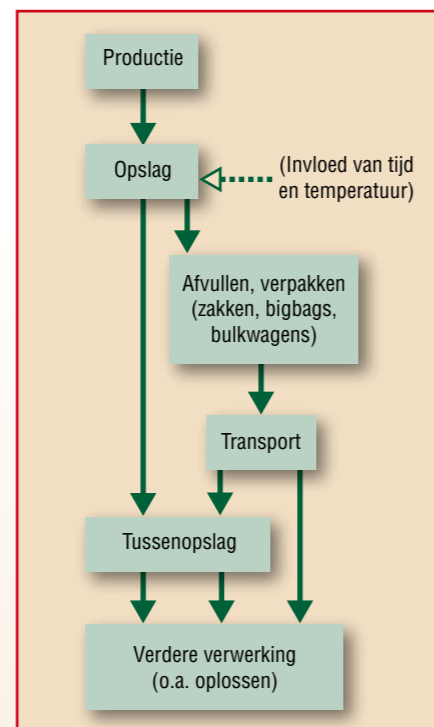


**Figuur 4** Schema van de proefopstelling voor het verdichten en weer vermalen van het product waarbij de productvariaties 5 en 6 werden verkregen

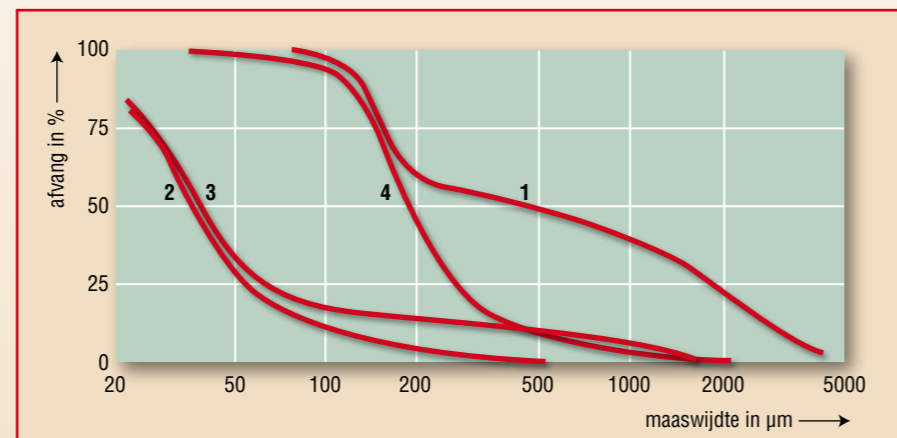
tijdsconsolidatie en het lage, soortelijke gewicht zou altijd problemen geven. Wijziging van het product zelf door aanpassing van het productieproces was niet goed mogelijk en eigenlijk ook niet gewenst. Dus bleef alleen een nabehandeling van het materiaal na het productieproces als optie over. Hierbij opperde iemand het idee om via compacteren van het product en het daarna weer te breken mogelijk een korrelgrootteverdeling te verkrijgen met nauwe en instelbare grenzen. De daarop uitgeprobeerde proefopstelling gaf resultaten als schematisch aangegeven in figuur 4. Het materiaal werd eerst via walsrollen verdicht en vervolgens met twee brekers weer gebroken. Aan het eind van de breekcyclus was een eindzeef met een doorlaat van 1,2mm aangebracht. De zeefanalyse van het zo ontstane product 5 wordt in figuur 5 vergeleken met de resultaten van het eerder ontwikkelde product 4. Hieruit blijkt dat product 5 een duidelijk grotere gemiddelde afmeting combineert met een nog steeds vrij grote spreiding in de deeltjesgrootte. Om deze spreiding te verkleinen, werd via een extra zeefstap de fractie kleiner dan 0,4mm (circa 25 procent van de doorzet) afgescheiden en weer voor de walsen aan het materiaal toegevoegd. Zo ontstond het in figuur 5 aangegeven materiaal 6, dat uiteraard een veel nauwere korrelgrootteverdeling heeft.

**Eureka**

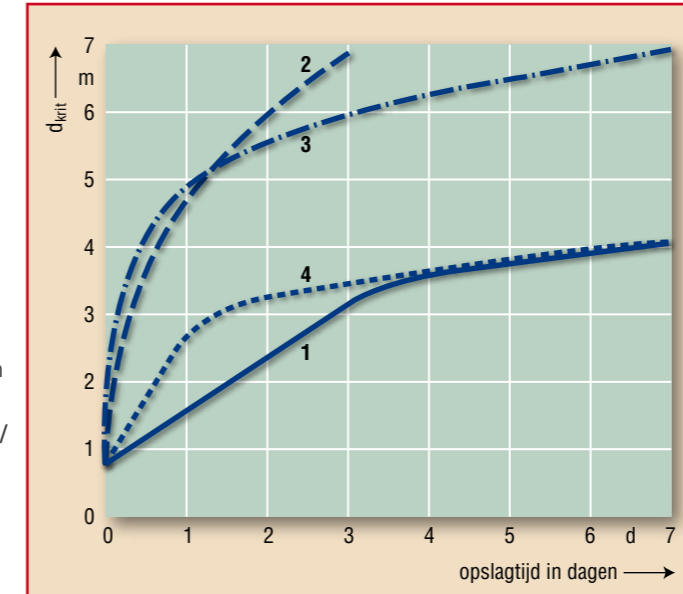
Van de materialen 5 en 6 zijn met de standaardtestmethode weer de stromingseigenschappen bepaald en van daaruit



**Figuur 1** Het opslag- en transportsysteem van het product



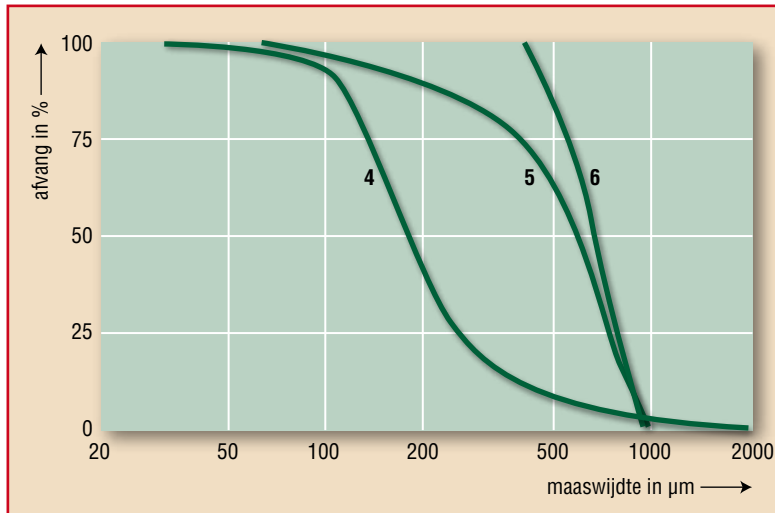
**Figuur 2** Zeefanalyse van het basisproduct 1, de verkleinde producten 2 en 3 en het ten dele verkleinde product 4



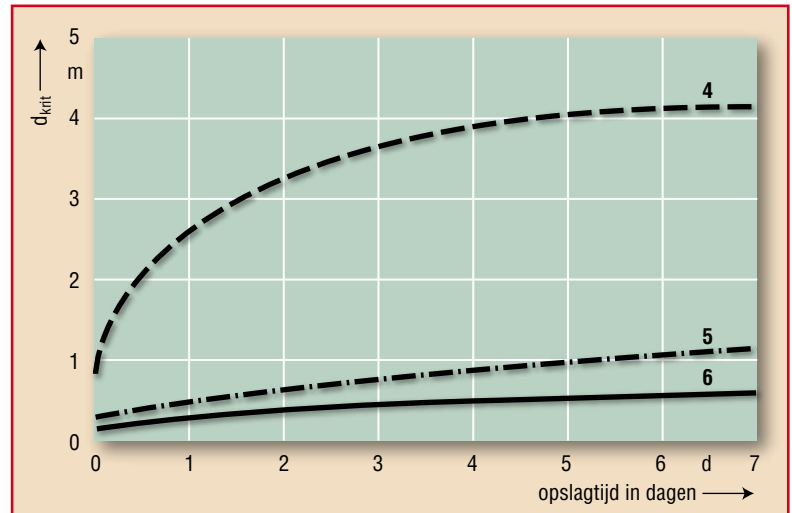
**Figuur 3** De minimaal benodigde uitstroombereik ( $d_{krit}$ ) voor de verschillende materialen als functie van het aantal dagen ongestoorde opslagtijd (begin-temperatuur 60°C)

## OPSLAG

## Geef opslag en transport direct wat meer aandacht



Figuur 5 Zeeanalyse van de producten 5 en 6 ter vergelijking met het eerder gekozen product 4



Figuur 6 De minimaal benodigde uitstroomdiameters ( $d_{krit}$ ) voor de materialen 5 en 6 vergeleken met het gekozen materiaal 4

de voor het silo-ontwerp benodigde waarden.

In figuur 6 zijn voor de drie eindproducten (4, 5 en 6) de benodigde uitstroomdiameters weergegeven als functie van de ongestoorde opslagtijd. Duidelijk blijkt hieruit dat product 5 en in nog sterkere mate product 6 veel minder problemen met silo-opslag geven dan de eerdere materialen. Bij 5 blijkt nog maar een kleine trilbodem nodig te zijn. Bij 6 kan zelfs die achterwege blijven. Hierdoor is ook de cilinderdiameter niet meer beperkt tot 3,6m maar kan voor  $D=4m$  worden gekozen. Een bijkomend voordeel is bovendien dat door het compacteren de soortelijke massa van het materiaal toeneemt van 500 tot  $750 \text{ kg/m}^3$ . Dat maakt het volume dat moet worden opgeslagen ook aanmerkelijk kleiner. Zo klein zelfs dat met drie in plaats van vijf silo's kan worden volstaan voor de opslag van tien dagen voorraad.

#### Prijstechnisch

Hoewel het alternatieve opslagsysteem in principe betrouwbaarder zal zijn dan het gerealiseerde systeem, hangt de keuze voor een bepaalde oplossing altijd in grote mate af van de investering- en bedrijfskosten. Als besparingen in deze case noemen we als eerste de investeringen in de voorraadopslag, minder silo's en bovendien geen dure stroombevorderende middelen. Verder geldt ook voor de tussenopslag dat er minder en met minder hulpmiddelen hoeft te worden opgeslagen. Tenslotte zullen er ook bij de levering aan derden besparingen zijn bij het vullen en verpakken en liggen ook de transportkosten lager. Het kleinere volume bijvoorbeeld betekent circa 30 procent

minder ritten met bulkwagens.

Aan de andere kant kosten compacteren, breken, afzeven en gedeeltelijke terugvoer van het materiaal extra. Een globale calculatie gaf aan dat besparingen meer dan voldoende opwegen tegen de kosten. Een betere optie dus dan het gerealiseerde systeem. Maar zoals zo vaak ontbrak ook hier de tijd om in de ontwerpfase wat langer naar een betere oplossing te zoeken.

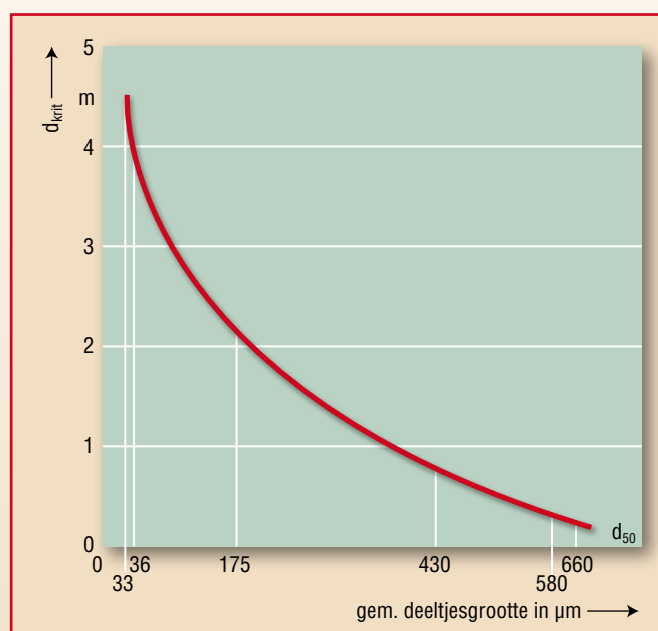
#### Conclusie

In de praktijk komt het helaas nog te vaak voor dat in een proces stortgoed wordt geproduceerd zonder dat men zich realiseert dat het product meestal ook nog moet worden getransporteerd en opgeslagen. Vooral wanneer zo'n materiaal fijn verdeeld is (en dus meestal cohesief), een

laag soortelijk gewicht heeft en ook nog onderhevig is aan sterke tijdsconsolidatie. Dan rest er niets anders dan onnodig dure en vaak niet altijd betrouwbare kunstgrepen te gebruiken. Soms brengt een kleine verandering aan het product nog een oplossing. Dit kan in het productieproces zelf maar zal vaak, net als in bovenstaande case een extra bewerking na het proces vergen. Hetzij verkleinen, drogen of het toevoegen van zogenaamde loopmiddelen.

Figuur 7 laat zien dat in bovenstaand geval vooral de korrelgrootte van belang was. De benodigde uitstroomdiameters (na een dag tijdsconsolidatie en  $50^\circ \text{C}$  begintemperatuur) zijn voor de verschillende variëteiten, materiaal 1 t/m 6 weergegeven tegen de gemiddelde deeltjesgrootte ( $d_{50}$ ).

Ondanks dat de toegenomen dichtheid ook de benodigde kritische diameter van de materialen 5 en 6 met circa 30 procent verkleint, blijkt toch zeer duidelijk dat vooral de deeltjesgrootte voor de meeste problemen zorgde. ■



Figuur 7 De benodigde uitstroomdiameter ( $d_{krit}$ ) als functie van de gemiddelde deeltjesgrootte ( $d_{50}$ ) zoals berekend voor de zes bekeken variëteiten na een dag tijdsconsolidatie (begintemperatuur  $50^\circ \text{C}$ )