

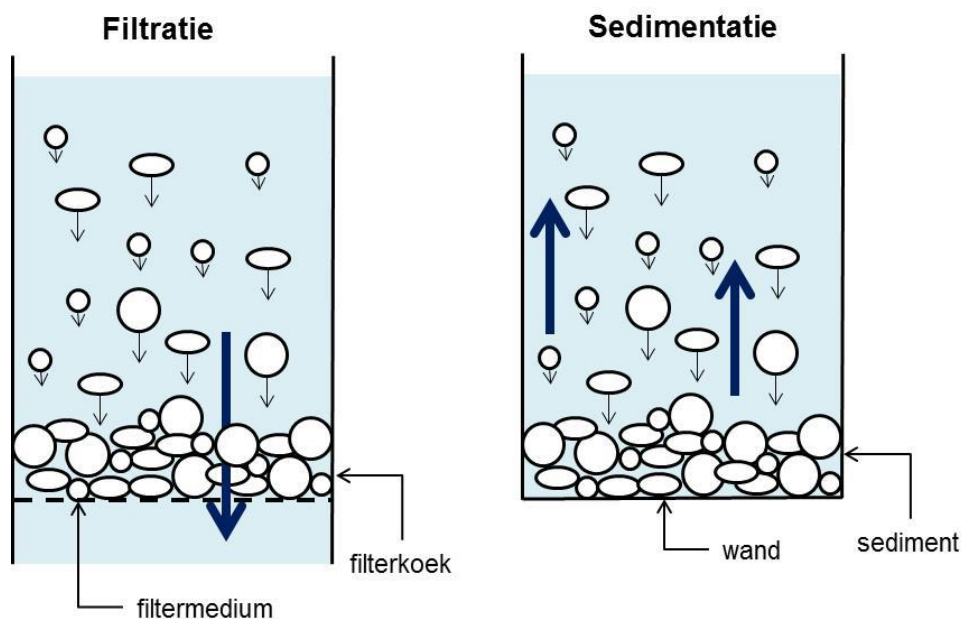
Best Practice Vloeistof - Vaste Stof Scheiding

1. Inleiding

Met de unit operation vloeistof - vaste stof scheiding wordt een mechanische scheidingsmethode aangeduid, waarbij een vloeistof - vaste stof mengsel wordt gescheiden in een vaste stof (met zo weinig mogelijk aanhangende vloeistof) en een vloeistof (met zo weinig mogelijk vaste stof). Dit document heeft betrekking op processen waarbij veel vaste stof in de vloeistof aanwezig is. De grootte van de vaste-stofdeeltjes ligt hierbij in de orde van grootte van 10 tot 500 μm . Voor filtratie van deeltjes $< 1 \mu\text{m}$ wordt verwezen naar de Best Practice Membraantechnologie.

Een mengsel van vloeistof met veel vaste stof wordt slurry genoemd. Scheiding vindt plaats door filtreren of sedimenteren:

- Bij filtratie vindt de scheiding plaats met behulp van een poreus filtermedium, waarbij de vaste-stofdeeltjes worden tegengehouden en hierbij een filterkoek wordt gevormd. De vloeistof (het filtraat) wordt via de filterkoek en het filtermedium afgevoerd. De drijvende kracht voor dit proces is een drukverschil: centrifugale kracht bij een filtrerende centrifuge, onderdruk aan de filtraatzijde bij vacuümfiltratie of overdruk aan de slurrytoevoerzijde bij drukfiltratie.
- Sedimentatie vindt plaats ten gevolge van dichtheidsverschillen tussen vaste stof en vloeistof. De drijvende kracht is hierbij de zwaartekracht (bij indikkers) of een centrifugale kracht (bij een hydrocycloon of decantercentrifuge).



Figuur 1: Vloeistof - vaste stof scheiding d.m.v. filtratie en sedimentatie

2. Vuistregels

Hieronder worden enkele vuistregels gegeven, waarmee u kunt beoordelen of uw vloeistof - vaste stof scheiding aandacht nodig heeft:

- Zowel bij bestaande installaties als bij aanpassing of vernieuwing van een installatie is het belangrijk de [scheidingsvraag](#) (wat is het doel van het scheidingsproces?) goed te formuleren.

- Zorg dat de unit operation vast-vloeistof scheiding onderdeel is van het [totale scheidingsproces](#). Het gebeurt vaak dat men probeert de vast-vloeistof scheiding te optimaliseren (op bijvoorbeeld droge-stof gehalte) en de overige scheidingssystemen uit het oog verliest.
- Om in een droger 1 kg water te [verdampen](#) is, inclusief verliezen, tenminste 3000 kJ nodig. Alle vloeistof die mechanisch kan worden verwijderd, hoeft niet in de droger te worden verdampt.
- Vacuümfilters worden als vloeistof - vaste stof scheider dikwijls toegepast, omdat het eenvoudige apparaten zijn waarop de filterkoek desgewenst goed kan worden gewassen. Een nadeel van deze filters is het hoge eindvochtgehalte.
- Er zijn meerdere [methoden](#) voor het (verder) ontvochtigen van een filterkoek (gas doorblazen, centrifugeren, drukrollen) met elk voor- en nadelen. De keuze wordt in de regel bepaald door de bestaande systemen en/of de eisen aan de vaste stof of vloeistof.
- De drijvende kracht bij het ontvochtigen door middel van [gas doorblazen](#) is een verschil in gasdruk over de filterkoek, waarbij de interstitiële vloeistof pas kan worden leeggedrukt als de gasdruk hoger is dan de capillaire druk. Deze methode wordt vooral toegepast bij open poreuze structuren.
- [Deeltjes van 100 µm](#) en groter, die niet te veel vervormen en niet uit elkaar vallen, kunnen in een continu filtrerende centrifuge met een korte verblijftijd goed worden ontvochtigd.
- Voor kleinere [deeltjes \(ca. 20 µm\)](#) dient een discontinue centrifuge te worden gebruikt om goed te ontvochtigen (centrifugale kracht van circa 2000*g; verblijftijd van enkele minuten).
- Gas doorblazen en centrifuges worden vooral toegepast als een koek compact is gestapeld met vormvaste, niet poreuze deeltjes.
- Voor specifieke toepassingen kunnen specifieke centrifuges worden ontwikkeld, zoals een systeem voor het oogsten van [algen](#).
- [Persapparaten](#) (zoals bandpers, schroefpers en diafragma filterpers) persen de vloeistof uit een filterkoek. Deze methode heeft vooral voordelen als de deeltjes poreus zijn (van zichzelf poreus, geagglomererde of geflocculeerde deeltjes) en/of vervormbaar en/of de oorspronkelijke filterkoek een meer open structuur heeft.
- Bij toepassen van alleen persen zijn na het proces de interstitiële ruimten tussen de deeltjes gevuld met vloeistof. Een [combinatie](#) van persen en blazen kan dan voordelen bieden.

3. Componenten van een vloeistof - vaste stof scheiding

Bij de meeste processen bestaat de vloeistof - vaste stof scheiding uit de volgende deelprocessen:

- a. Ruwe scheiding. Vaste stof wordt van de vloeistof gescheiden door middel van filtreren of sedimenteren. Na dit deelproces is er nog veel vloeistof aanwezig in de ruimte tussen de vaste-stofdeeltjes (interstitiële vloeistof).
- b. Wassen van de afgescheiden vaste stof. De oorspronkelijke interstitiële vloeistof wordt vervangen door een wasvloeistof met het doel om: (i) zoveel mogelijk van de oorspronkelijke vloeistof te winnen (indien de vloeistof het gewenste product is); of (ii) de vaste stof zo volledig mogelijk te reinigen van de oorspronkelijke vloeistof (als de vaste stof het gewenste product is).
- c. Ontvochtigen van de afgescheiden vaste stof. De interstitiële vloeistof wordt zo goed mogelijk verwijderd met als doel een vaste stof met een laag vochtgehalte te verkrijgen.

De vloeistof - vaste stof scheiding wordt beïnvloed door:

- Deeltjesafmetingen. Naarmate de deeltjes groter zijn en de deeltjesgrootteverdeling minder breed is (kleine fractie aan kleine deeltjes), verloopt de scheiding gemakkelijker en bevat de vaste stof uiteindelijk minder aanhangende vloeistof.
- Temperatuur. Naarmate de temperatuur hoger is, verlopen de bovenstaande deelprocessen sneller en wordt in de regel een lager eindvochtgehalte bereikt.

4. Overige operationele aspecten

Uit economisch en operationeel oogpunt is het dikwijls aantrekkelijk de drie deelprocessen (ruwe scheiding, wassen en ontvochtigen) in één apparaat uit te voeren. In veel gevallen ligt de nadruk van het proces op het wassen van de filterkoek, waarbij dan wordt geoptimaliseerd op de hoeveelheid wasvloeistof. Bij de keuze van het scheidingssysteem wordt dan een hoger eindvochtgehalte geaccepteerd. Uit energetisch oogpunt is echter het eindvochtgehalte van belang als de natte vaste stof vervolgens thermisch moet worden gedroogd. In deze sectie wordt derhalve uitgebreid ingegaan op het ontvochtigen van filterkoeken langs mechanische weg. Voor thermische verwijdering van vloeistof wordt verwezen naar de Best Practice Droogsystemen.

4.1. Ontvochtigen van filterkoeken

4.1.1. Algemeen

In deze sectie wordt ingegaan op het ontvochtigingsproces van filterkoeken. Doel ervan is een kwalitatief inzicht te geven in de factoren die het ontvochtigen bepalen en te dienen als achtergrond voor de voorbeelden in sectie 4.2. Methoden om filterkoeken te ontvochtigen zijn:

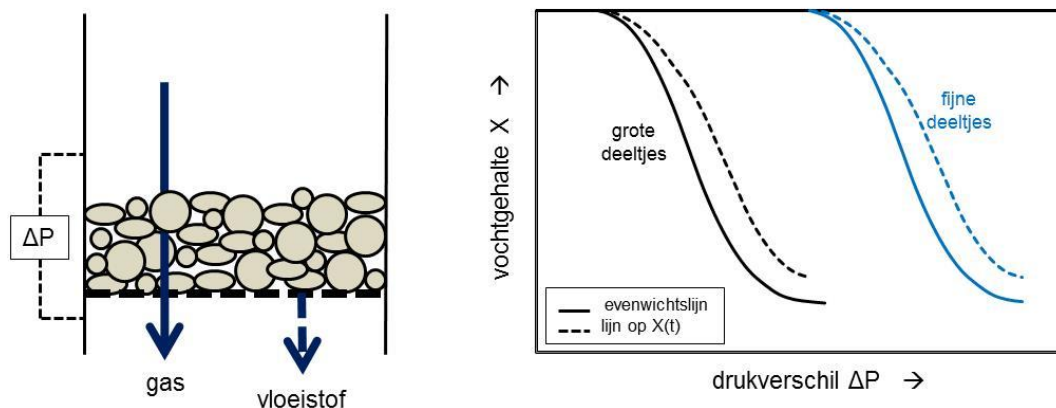
- gas (lucht, stoom) door de filterkoek te blazen of te zuigen;
- centrifugeren;
- persen;
- combinatie van bovengenoemde methoden.

Bij het ontvochtigen verschaffen de begrippen *evenwichtsvochtgehalte* (het vochtgehalte dat, onder invloed van de drijvende kracht (drukverschil, centrifugale kracht), na voldoende tijd wordt bereikt) en *kinetiek van ontvochtigen* (het verloop van het vochtgehalte tijdens het ontvochtigen als functie van de tijd) nuttige informatie. De evenwichtscurve geeft de grootte van minimale drijvende kracht aan en de kinetiek de minimale verblijftijd in de ontvochtiger.

Het vochtgehalte kan worden uitgedrukt als het aantal kg vocht per kg droge stof (symbool X) of als vochtpercentage (kg vocht per kg nat product * 100%). Bij droogsystemen wordt in het algemeen de eerste definitie gebruikt.

4.1.2. Gas doorblazen

De drijvende kracht bij het ontvochtigen door middel van gas doorblazen is een verschil in gasdruk over de filterkoek. De interstitiële vloeistof wordt er door het gas uitgedrukt en meegesleurd. Een *kanaal* tussen deeltjes kan pas worden leeggedrukt als de gasdruk hoger is dan de capillaire druk.



Figuur 2: Ontvochtigen door middel van gas doorblazen.

Kwalitatief is deze wijze van ontvochtigen voor filterkoeken die zijn opgebouwd uit grove en uit fijne deeltjes weergegeven in figuur 2. Daarin is zowel het evenwichtsvochtgehalte X als de waarde $X(t)$ op het tijdstip t waarop het evenwicht nog niet bereikt is als functie van het drukverschil Δp geschetst.

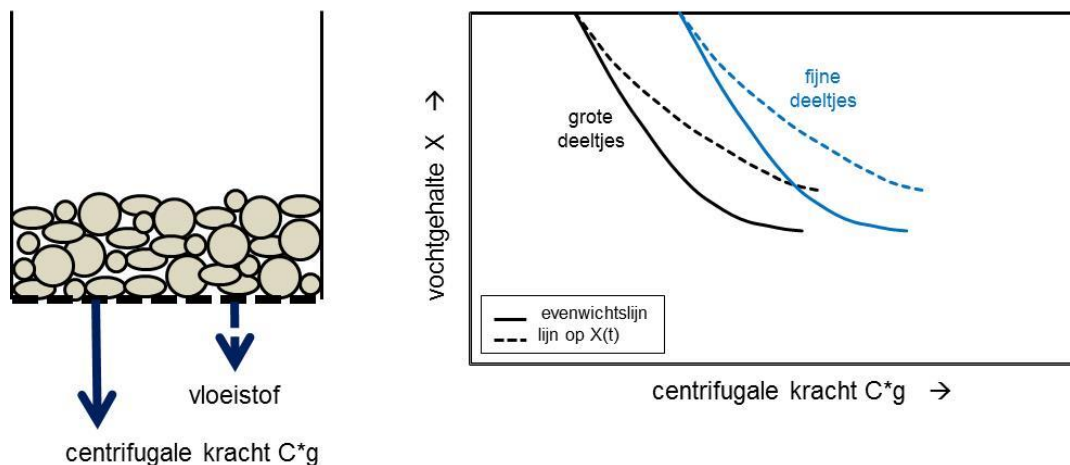
Uit figuur 2 is het volgende af te lezen:

- Er is een bepaald drukverschil nodig (de capillaire intrededruk) voordat de koek begint met ontvochtigen. Dit drukverschil is groter naarmate de koek uit fijnere deeltjes is opgebouwd.
 - Als vervolgens het drukverschil toeneemt en er meer gas door de koek wordt geblazen, daalt het vochtgehalte.
 - Bij verdere toename van het drukverschil wordt voor het vochtgehalte een constante waarde bereikt.
- Bij vacuümfilters is het beschikbare drukverschil om gas door de koek te zuigen beperkt ($< 0,6$ bar). Het gevolg is dat het vochtgehalte van dergelijke filterkoeken hoog is, vooral als die zijn opgebouwd uit fijne deeltjes. Als een koek is opgebouwd uit stabiele deeltjes van gemiddeld $100 \mu\text{m}$, dan is in het algemeen de koek op een vacuümfilter redelijk goed droog te zuigen; bij een deeltjesdiameter van gemiddeld $25 \mu\text{m}$ is dat gewoonlijk niet meer het geval. Natuurlijk dient men te bedenken dat het geheel afhankelijk is van de vorm van de deeltjes, de porositeit van de koek, de deeltjesgrootteverdeling en de viscositeit van de vloeistof.

Filters die bij hogere gasdruk de filterkoek kunnen ontvochtigen zijn schijvenfilters, trommelfilters en bandfilters die in een drukhuis zijn gebouwd (continu filters), en kaarsenfilters (discontinu filters).

4.1.3. Centrifugereren

Het ontvochtigen van een filterkoek in een centrifugaal veld is, op een overeenkomstige wijze als figuur 2, weergegeven in figuur 3. De drijvende kracht is de centrifugale versnelling $C \cdot g$, waarin g de versnelling van de zwaartekracht is. De factor C geeft weer hoeveel maal de versnelling groter is dan de zwaartekracht.



Figuur 3: Ontvochtigen door middel van een filtrerende centrifuge

Hoewel de fysische principes van gas doorblazen en centrifugereren verschillend zijn, komen de curven van figuur 2 en 3 redelijk met elkaar overeen. Figuur 3 laat zien, dat een bepaalde minimale $C \cdot g$ -waarde vereist is alvorens de vloeistof uit de ruimten tussen de deeltjes gaat lopen, dat deze waarde hoger is voor filterkoeken die opgebouwd zijn uit fijne deeltjes en dat de afname van het vochtgehalte tot een constant minimale waarde wordt bereikt als $C \cdot g$ toeneemt.

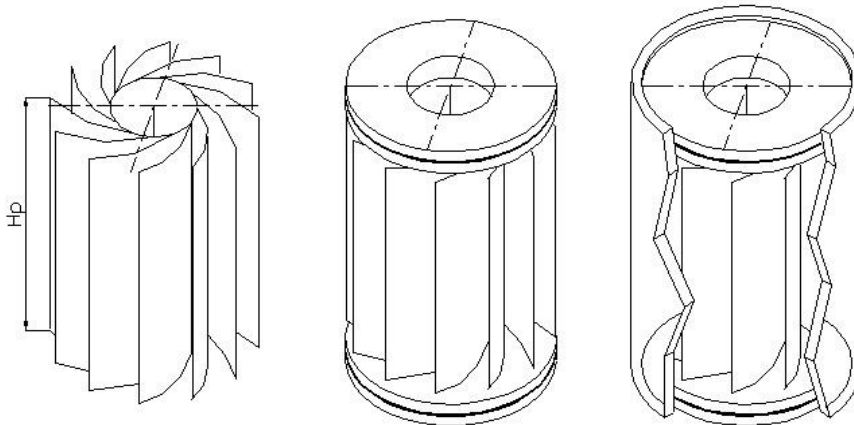
De invloed van de centrifugale kracht op het ontvochtigen van vaste stoffen met verschillende deeltjesgrootte kan als volgt worden toegelicht:

- Deeltjes van 400 µm die niet te veel vervormen en niet uit elkaar vallen zijn reeds bij 300*g in een continu filtrerende centrifuge met een korte verblijftijd (bijv. schuifcentrifuge) goed te ontvochtigen.
- Voor deeltjes van 100 µm geldt hetzelfde bij 1200*g (in bijv. een schroefcentrifuge).
- Voor deeltjes van 20 µm is, om goed te ontvochtigen, een centrifugale kracht van circa 2000*g nodig en een verblijftijd van enkele minuten. Deze waarden kunnen niet in een continue centrifuge maar wel in een discontinue (bijv. schilcentrifuge) worden gerealiseerd.

Bovengenoemde getallen zijn als een indicatie bedoeld en gelden als de viscositeit van de vloeistof voldoende laag is (zoals van waterige systemen). Naast filtrerende centrifuges worden voor fijne deeltjes op grote schaal decanteercentrifuges (scheiding door sedimentatie) ingezet om te ontvochtigen.

4.1.3. Speciale centrifuges

Voor speciale toepassingen zijn specifieke centrifuges ontwikkeld. Een voorbeeld hiervan is de ontwikkeling van een centrifuge (door leverancier Evodos omschreven als "dynamic settler" [5]) voor het oogsten van algen. De centrifuge werkt bij een centrifugale kracht van circa 1500-3000*g en door de constructie van de spiraalvormige platen kunnen hoge concentraties worden gehaald. Specifieke toepassingen zijn: algen, zware oliefracties en 'drilling muds'.



Figuur 4: Evodos spiral plate technologie [6]

4.1.4. Persen

Het gedrag van een filterkoek tijdens het persen wordt beschreven aan de hand van het begrip porositeit. De porositeit ϵ van een filterkoek is het volume van de ruimten tussen de deeltjes gedeeld door het totale volume. Van een met vloeistof gevulde filterkoek is dus het volumedeel ϵ gevuld met vloeistof en $(1 - \epsilon)$ met vaste stof. De waarde van ϵ ligt tussen 0 (volume helemaal gevuld met vaste stof) en 1 (geen vaste stof aanwezig).

In welke mate door middel van persen vloeistof uit een filterkoek kan worden verwijderd, hangt af van het verband tussen de porositeit en persdruk. Als een koek compact is gestapeld met vormvaste, niet poreuze deeltjes dan zal bij persen de porositeit weinig afnemen en er dus weinig vloeistof worden verwijderd.

Daarentegen als de deeltjes poreus zijn (van zichzelf poreus, geagglomererde of geflocculeerde deeltjes) en/of vervormbaar en/of de oorspronkelijke filterkoek een meer open structuur heeft, dan zal de porositeit bij persen sterk afnemen en veel vloeistof worden verwijderd.

Voor een verzadigde koek is het verband tussen het vochtgehalte X en de porositeit ϵ :

$$X = \epsilon * \rho_L / [(1 - \epsilon) * \rho_S]$$

waarin: X = vochtgehalte in kg vocht / kg vaste stof

ϵ = volume van de ruimte tussen de deeltjes / totale volume (porositeit)

ρ_L = soortelijke massa van de vloeistof

ρ_s = soortelijke massa van de vaste stof

Rekenvoorbeeld:

Als $\rho_l/\rho_s = 0,5$ en de porositeit bij het persen afneemt van 0,75 naar 0,3, dan vermindert het vochtgehalte X van 1,5 naar 0,22 kg vocht per kg droge stof.

Het is belangrijk te realiseren dat bij alleen persen na het proces de interstitiële ruimte tussen de deeltjes is gevuld met vloeistof. Daarom worden soms combinaties van persen en blazen toegepast. Voorbeelden van persapparaten zijn de bandpers, schroefpers en diafragma filterpers.

4.2. Verbeterde ontvochtingsmethoden

4.2.1. Algemeen

Methoden om filterkoeken beter te ontvochtigen en de bijbehorende apparaten worden reeds lang toegepast. Hierbij wordt voortdurend gezocht naar verdere verbeteringen in de vorm van hogere toerentallen, hogere persdrukken en nieuwe filtermedia.

Bij het beschouwen van een verbetering dient hierbij aan de volgende voorwaarden te worden voldaan:

- De krachten (gasdruk, centrifugekracht, persdruk) en de verblijftijd dienen voldoende groot te zijn om het gewenste ontvochtigingseffect te kunnen bereiken.
- Het apparaat moet het product op de gewenste wijze kunnen verwerken, met andere woorden het product mag niet worden beschadigd, het filtermedium mag niet te sterk verstopten en de vaste stof moet in continu-apparaten goed kunnen worden getransporteerd.
- De verbeterde energie-efficiëntie dient voldoende groot te zijn om de extra investering in de ontvochtigingsapparatuur te kunnen verantwoorden. Hierbij dienen ook de besparing in aanpalende apparatuur (met name in de drogersectie) te worden beschouwd.

Een goede methode om te bepalen of een investering in een verbeterde ontvochtigingsmethode loont, is het bepalen van de grootte van de energiebesparing. Een eenvoudige inschatting is te maken met de navolgende vergelijking:

$$\text{Energiebesparing} = 1,2 * \Delta X * M * r \text{ kJ/s}$$

waarin 1,2 = ervaringsfactor voor verdamping in industriële drogers (dit is minimum waarde; kan hoger zijn afhankelijk van het type droger).

ΔX = verschil in vochtgehalte vóór en na verbeterd ontvochtigen in kg vocht per kg vaste stof.

M = massastroom vaste stof in kg droge vaste stof per seconde.

r = verdampingswarmte van de vloeistof in kJ/kg.

Indien water de vloeistof is, wordt bovenstaande vergelijking vereenvoudigd tot:

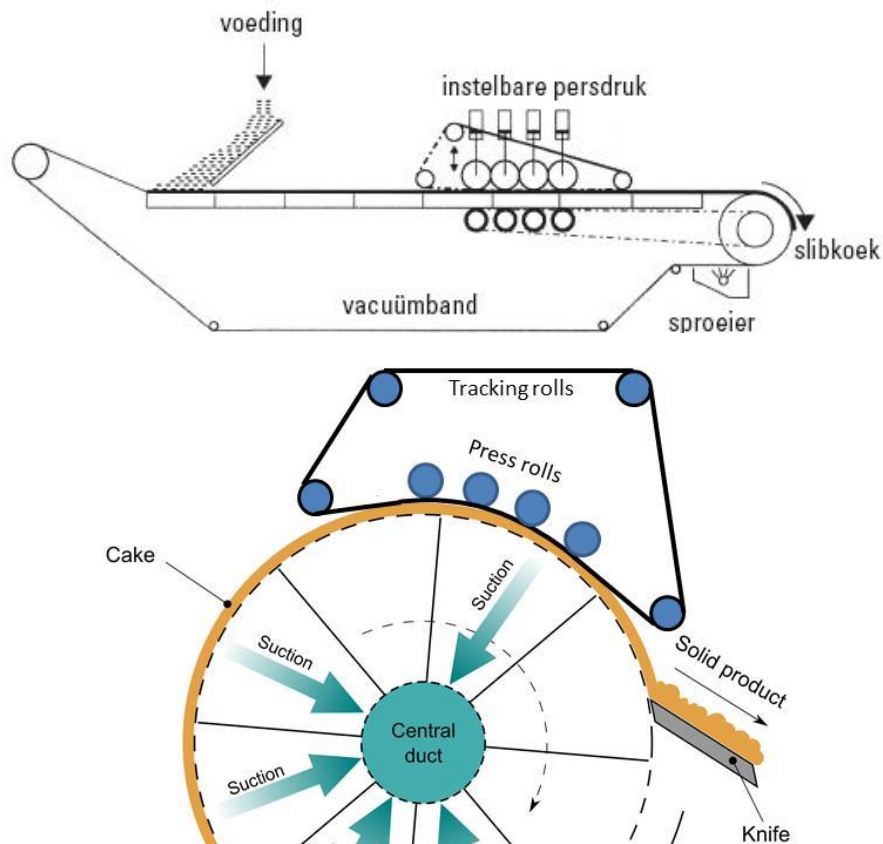
$$\text{Energiebesparing} = 3000 * \Delta X * M \text{ kJ/s}$$

4.2.2. Extra voorzieningen op ontwateringstafels en vacuümfilters

Zoals reeds genoemd in sectie 4.1.2 is het hoge eindvochtgehalte een nadeel van vacuümfilters. Bij ontwateringstafels is het vochtgehalte nog hoger, omdat hier alleen de zwaartekracht op werkt.

a. Drukrollen.

Als de filterkoek voldoende stevig is en de aandrukkrachten en -tijden voldoende zijn, kan met drukrollen op een bandfilter of een roterend vacuümfilter het vochtgehalte aanmerkelijk worden gereduceerd. De maximale lijndruk is 12 (bandfilter) tot 25 N/mm (roterend vacuümfilter).



Figuur 5: Drukrollen op vacuümbandfilter en op roterend vacuümfilter

b. *Pers-blaasinstallatie.*

Bij de drukrollen op een bandfilter beweegt het doek met de koek continu. Bij een pers-blaasinstallatie wordt het doek met de koek discontinu getransporteerd: de koek wordt met een poreuze drukplaat aangedrukt en vervolgens wordt gas (lucht) door de koek geblazen. Dit systeem wordt vooral toegepast bij filterkoeken waarvan de rheologie na vacuüm ontvochtigen thixotrope eigenschappen heeft. Dit zijn filterkoeken waarvan de interne viscositeit hoog is als er geen schuifspanningen worden uitgeoefend en die zich moeilijk onder vacuüm laten ontvochtigen maar wel door middel van persen/blazen.

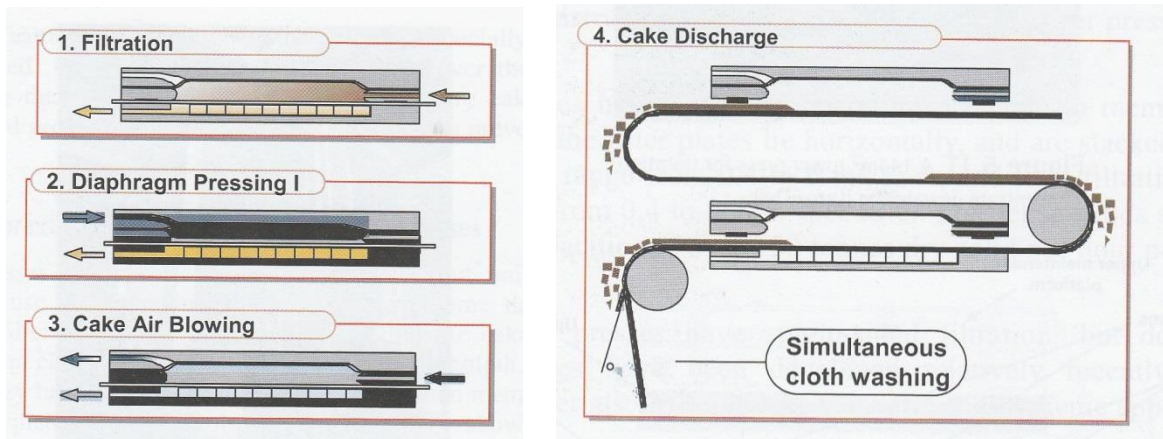
4.2.3. Ander apparaat kiezen dat beter ontvochtigt

Als veel waarde wordt gehecht aan een laag eindvochtgehalte (bijvoorbeeld omdat dan thermisch drogen niet meer nodig is of grote besparingen in de droger kunnen worden bereikt) kan een vloeistof- vaste stof scheider daarop worden geselecteerd. Enkele voorbeelden zijn:

a. *Filterpersautomaat.*

Bij een filterpersautomaat is de positie van het filterdoek horizontaal, waardoor de filterkoek kan worden geperst, gewassen, eventueel nageperst, drooggeblazen en gelost. Filterpersautomaten worden in verschillende toepassingen gebruikt. Een voorbeeld betreft een slurry van vaste stof (afval) in een oplosmiddel. In het oorspronkelijke proces werd de slurry gedroogd in een contactdroger. Omdat de gedroogde stof sporen bevatte van organisch oplosmiddel, werd deze als chemisch afval afgevoerd. Vervanging van de contactdroger door een diafragma filterpersautomaat, waarin de filterkoek wordt gewassen en daarna uitgeperst tot een steekvaste koek met een

vochtgehalte van 1,5 kg vocht per kg droge stof, heeft ertoe geleid dat de koek zonder verdere behandeling op daarvoor bestemde plaatsen kon worden gestort.



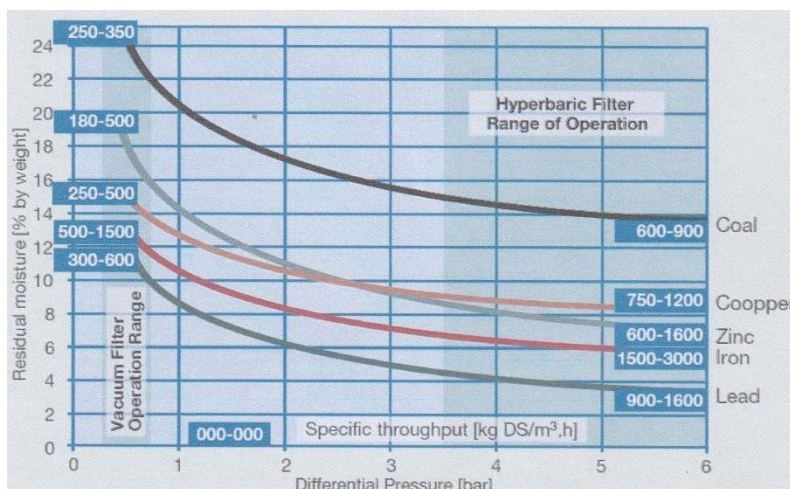
Figuur 6: Verschillende processtappen van de filterpersautomat [3]

In een andere toepassing in de zetmeelindustrie vervangen filterpersautomaten vacuümfilters of decanteercentrifuges. Als voordeel wordt genoemd dat de filterpersautomaten in het algemeen een 10% lager eindvochtgehalte bereiken dan de centrifuges, waardoor vervolgens energie- en investeringsbesparingen in de droger worden verkregen.

b. Gas onder druk door de koek blazen.

Reeds jarenlang worden schijvenfilters, trommelfilters en bandfilters als vacuümfilter uitgevoerd. Nadeel is dat voor fijne deeltjes het eindvochtgehalte hoog is. Een ontwikkeling van de laatste jaren is, om deze filters in een drukhuis te bouwen en de filterkoek onder gasdruk (meestal lucht, soms stoom) te ontvochtigen.

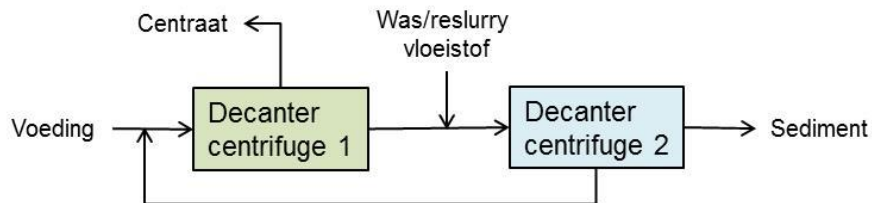
Figuur 7 laat kwantitatief zien dat het vochtgehalte (residual moisture) van de koek afneemt en de specifieke capaciteit toeneemt als het drukverschil van circa 0,5 bar (vacuümfiltratie) toeneemt tot circa 5 bar (gasdrukfiltratie).



Figuur 7: Restvochtgehalte als functie van het drukverschil [7]

c. *Decanteercentrifuges met reslurry washing.*

Als in een gesloten systeem moet worden gewerkt en/of de filtratiesnelheid laag is en daardoor een (vacuüm)filter te groot wordt, kunnen systemen met twee of maximaal drie decanteercentrifuges in serie worden overwogen (figuur 8). Dit systeem wordt beschreven in referentie [8]. In het daarin genoemde voorbeeld is de vaste stof biomassa (afval) dat, met het vochtgehalte waarmee het uit de centrifuge komt, zonder verder te drogen kan worden afgezet. De vloeistof bevat het product dat met de reslurry washing zo volledig mogelijk wordt gewonnen.



Figuur 8: Twee decanteercentrifuges in serie met reslurry washing

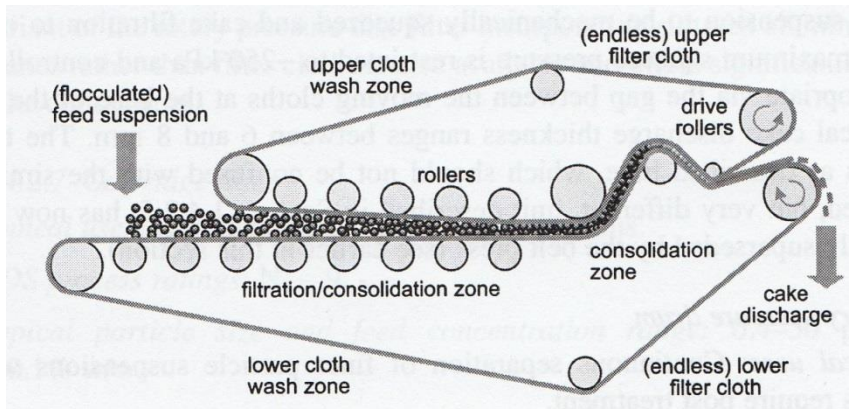
4.2.4. Nageschakeld apparaat

Met een nageschakeld apparaat, zoals een bandpers of een centrifuge, is het mogelijk het vochtgehalte na vacuümfilters te verlagen. Bij het inzetten van deze systemen dient men altijd te beseffen wat het uiteindelijke doel van het totale proces is. Het inzetten van een nageschakeld apparaat is alleen zinvol indien het ontvochtigen van de koek centraal staat. Indien bijvoorbeeld de vloeistoffase verder dient te worden opgewerkt, dan kan een dergelijke actie soms averechts werken.

Mogelijke nageschakelde apparaten zijn:

a. *Bandpers na bandfilter.*

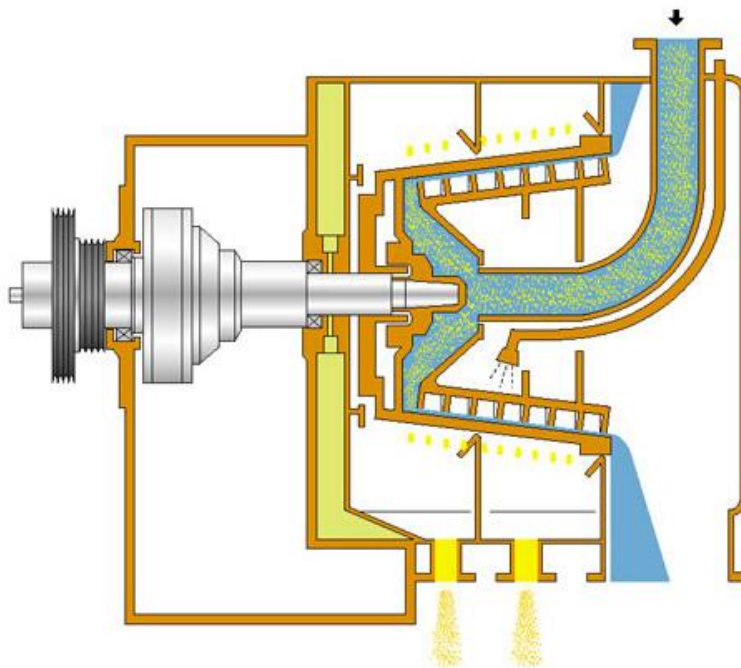
Om het vochtgehalte te verlagen kan een bandpers achter een (vacuüm)bandfilter worden opgesteld. Als het duidelijk is dat er een bandpers zal worden gebruikt, kan desgewenst een eenvoudige ontwateringstafel als eerste stap volstaan. De bandpers kan direct verbonden zijn met de ontwateringstafel of er los achter staan. In figuur 9 wordt schematisch een systeem weergegeven waarbij de (geflocculeerde) suspensie vanaf een ontwateringstafel aan de bandpers wordt toegevoerd. In het eerste deel van de bandpers wordt een koek gevormd die vervolgens stapsgewijs wordt uitgeperst. Voorbeeldberekening [9]: Het vochtgehalte van de zeer poreuze polymeerdeeltjes na ontvochtigen op het bandfilter is 6,5 kg water per kg polymeer; na de bandpers is het vochtgehalte 2 kg/kg, dus $\Delta X = 4,5$ kg/kg. De lijndruk van de laatste rollen van deze pers is 200 N/mm, wat een hoge waarde is voor dit type apparaten. Deze hoge druk is nodig om voldoende water uit de deeltjes te persen. Omdat de vaste-stofstroom hoog is (M is ca. 0,4 kg/s), worden met het uitpersen grote energiebesparingen in de droger bereikt ($3000 * \Delta X * M = 3000 * 4,5 * 0,4 = 5400$ kJ/s). De kosten van de bandpers zijn lager dan die voor de uitbreiding van de drogercapaciteit, zodat ook de investering lager uitvalt.



Figuur 9: Schematische weergave van losstaande bandpers [1]

b. Centrifuge na bandfilter.

Zoals reeds vermeld in paragraaf 4.1.3 kan een continu filtrerende centrifuge worden ingezet als de deeltjes voldoende groot zijn en de vaste stof ervoor geschikt is. Met een filtrerende schroefcentrifuge (zie figuur 12), die bij circa 1000*g werkt, kunnen veel lagere vochtgehalten worden bereikt dan met een vacuümfilter. In een aantal gevallen wordt daarom na een bandfilter een schroefcentrifuge opgesteld. De centrifuge kan direct worden gevoed met de natte filterkoek of de koek van het bandfilter kan worden opgeslurried en als slurry aan de centrifuge worden toegevoerd. In het eerste geval wordt de natte koek met een transportschroef in de centrifuge gevoed.



Figuur 12: Filtrerende schroefcentrifuge

Enkele voorbeelden waarbij een schroefcentrifuge na een vacuümfilter is geïnstalleerd:

- Van een filterkoek opgebouwd uit vezelig materiaal is het vochtgehalte na droogzuigen op het bandfilter 1,5 kg vocht per kg droge stof. In verband met de lay-out wordt de koek niet direct aan de schroefcentrifuge toegevoerd maar als slurry. Het vochtgehalte na de centrifuge is 0,7 kg vocht per kg droge stof, dus $\Delta X = 0,8 \text{ kg/kg}$. Besparingen in de drogersectie (investering, energie) rechtvaardigen het tussenschakelen van de centrifuge.

- Een ander voorbeeld betreft een korrelvormig product met een gemiddelde deeltjesdiameter van circa 100 µm. De natte koek die op het bandfilter is drooggezogen bevat nog circa 0,2 kg vocht per kg droge stof. Het product wordt als een natte koek de centrifuge ingeschroefd en komt er met 0,1 kg vocht per kg droge stof uit, dus $\Delta X = 0,1$ kg/kg. Met een massastroom van 0,5 kg/s, levert dit een energiebesparing van $3000 \cdot 0,1 \cdot 0,5 = 150$ kJ/s. Deze energiebesparing in de droger rechtvaardigt de investering in de centrifuge niet, maar omdat het een bestaande installatie betreft waarvan de capaciteit moet worden verhoogd en waarbij de droger de bottleneck vormt, is het tussenschakelen van de centrifuge toch een aantrekkelijke keuze. Bijkomend voordeel is dat minder of geen recycle van droge stof nodig is om de droger goed te laten functioneren.

5. Aandachtspunten bij aanpassing of vernieuwing van installaties

Eén van de aandachtspunten, die in de bovenstaande beschrijving niet of nauwelijks aan de orde gekomen is, is *kwaliteit*. Hoewel dit punt veruit de belangrijkste parameter is voor de totale procesvoering, wordt in veel gevallen bij het ontwerpen van een scheidingstrein de focus gelegd op het optimaliseren van de individuele processtappen.

Ook leveranciers van vloeistof - vaste stof scheidingsapparatuur dragen bij aan het "vertroebelen" van de discussie door het vertroebelen van de vloeistofstromen. Als voorbeeld van de voorgaande enigszins cryptische zin volgt hier een voorbeeld van mestverwerking. Hoewel dit voorbeeld niet direct aansluit bij industriële toepassingen van filtersystemen, komen bij dit voorbeeld wel alle aspecten van vloeistof - vaste stof scheiding bijeen. Bij mestverwerking gaat het om de verwerking van de gehele stroom, dus zowel de vaste stof als de vloeistof. Voor een scheidingstrein kunnen de volgende scheidingsstappen worden toegepast:

1. Vloeistof - vaste stof scheiding.

Het uitgangspunt van deze stap is dat de verwerking dusdanig verloopt dat een goede werking van de vervolgstappen kan plaatsvinden hetgeen betekent dat de kwaliteit van de uitgaande stromen geoptimaliseerd dient te zijn.

Veelgebruikt zijn een flocculatie-unit, waar een polymeer wordt gedoseerd voor een betere flocculatie van de vaste stof, gevolgd door een gravitaire scheiding met behulp van een ontwateringstafel. Na de ontwateringstafel is de vaste-stof stroom beperkt ingedikt (bij mest veelal van 5-6% naar 10-12% vaste stof). De vaste-stof stroom wordt verder behandeld met een filterbandpers of een decanteer-centrifuge voor een indikking boven 30% vaste-stof om het vaste-stof gehalte te maximaliseren. In de praktijk is echter gebleken dat bij het concentreren van de vaste-stof stroom tot ruim 25% het filtraat nog nauwelijks enige troebelheid vertoont; voert men het droge-stof gehalte op naar waarden boven 30%, dan neemt de troebelheid snel toe.

Als wordt volstaan met een waarde van 25% droge-stof (hetgeen uitstekend geschikt is voor verwerking in een vergister), dan kan de verdere verwerking van het filtraat eenvoudiger en goedkoper worden uitgevoerd.

2. Verdere verwerking van dunne fractie.

Deze verdere behandeling kan bestaan uit flotatie (bijv. DAF (Dissolved Air Flotation)), (ultra)filtratie of nanofiltratie. Deze stappen en ook de vervolgstap (omgekeerde osmose voor het indikken van de mineralenstroom) worden in dit document niet verder beschreven, maar enkel genoemd voor de volledigheid.

Kortom, belangrijke aandachtspunten bij aanpassing of vernieuwing van een installatie,zijn:

- Beschouw het totale scheidingsproces als één geheel.

- Als men zelf niet over voldoende detailkennis beschikt, dient men ervoor te zorgen dat er een goede samenwerking is tussen leveranciers van de verschillende scheidingsstappen (in bovenstaand geval tussen de leverancier van het membraansysteem en leverancier van de vast-vloeistof scheiding).
- Bij optimalisatie van processtappen dient gekeken te worden naar de meest kritische (en daardoor meestal ook duurste) scheidingsstap.

6. Aandachtspunten bij bestaande installaties

De aandachtspunten zoals genoemd in de voorgaande sectie en in de "vuistregels" gelden in feite ook voor bestaande installaties.

Het kan zinvol zijn om voor een bestaande installatie de scheidingsvraag opnieuw te formuleren. Hierbij moeten dan de volgende vragen worden beantwoord:

1. Wat is het doel van de vast-vloeistof scheiding (hoog droge-stof gehalte, schone vloeistofstromen, etc.) en welke vervolgstappen dienen er te worden genomen op de diverse processtromen?
2. Voldoet de installatie nog aan de huidige producteisen?
3. Zijn aanpassingen in de bedrijfsvoering mogelijk om een beter (overall) scheidingsrendement te verkrijgen? Denk bijvoorbeeld aan het mestvoorbeeld uit de vorige sectie, waarbij door het instellen van lagere ontwatering een schonere dunne fractie werd verkregen. Een aanpassing kan hier worden gerealiseerd door de persdruk van de bandfilterpers te verlagen.
4. Levert het gebruik van filterhulpstoffen zoals flocculanten en coagulanten een verbetering van het filtratieresultaat? Dit punt is specifiek voor een bepaalde toepassing. Laat u hierover adviseren door leveranciers.

7. Referenties

Dit is een publicatie van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO.nl).

In de periode 2000 - 2002 heeft de VNCI een reeks brochures uitgebracht onder de verzamelnaam 'Leidraad voor energie-efficiency'. Als onderdeel van de samenwerking met VNCI heeft RVO.nl een actualisatie van een deel van de documenten uitgevoerd. Deze Best Practice is een actualisering het document 'Leidraad voor energie efficiency, Vloeistof - vaste stof scheiding'.

De huidige actualisering van de Best Practice is tot stand gekomen in het kader van meerjarenaafspraken energie-efficiëntie MJA3 en MEE en met medewerking van Membraan Applicatie Centrum Twente (MACT). De meerjarenaafspraken energie-efficiëntie MJA3 en MEE zijn overeenkomsten tussen de overheid en bedrijven, instellingen en gemeenten. Het ministerie van Economische Zaken (EZ), het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koningsrijksrelaties (BZK) en het ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M) stimuleren met deze afspraken het effectiever en efficiënter inzetten van energie. De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO.nl) is verantwoordelijk voor de uitvoering van de meerjarenaafspraken.

Naast documentatie van leveranciers en fabrikanten is gebruik gemaakt van de volgende publicaties:

1. R.J. Wakeman & E.S. Tarleton; Filtration: Equipment Selection, Modelling and Process Simulation; Elsevier, Oxford, 1999; ISBN 1 85617 345 3.
2. R.J. Wakeman & E.S. Tarleton; Solid/Liquid Separation: Principles of Industrial Filtration; Elsevier, Oxford, 2005; ISBN 1 8561 74190.
3. R.J. Wakeman & E.S. Tarleton; Solid/Liquid Separation: Scale-up of Industrial Equipment; Elsevier, Oxford, 2005; ISBN 1 8561 74204.
4. R.J. Wakeman & E.S. Tarleton; Solid/Liquid Separation: Equipment Selection and Process Design; Elsevier, Oxford, 2007; ISBN 978-1-85-6174213.
5. Evodos; spiral plate centrifuges; <http://www.evodos.eu/index.php/spiral-plate-technology.html>.
6. Evodos; technisch bulletin; http://www.evodos.eu/images/PDF/141002_MPB_White_paper_-_Evodos_processing_drilling_muds_final.pdf.

7. Andritz Separation Systems; brochure Reference Description Alunorte; <http://www.andritz.com/se-references-alunorte.pdf>
8. Novem, Tender Industriële Energie Besparing, projectnummer 333104/U00: 'Afscheiden biomassa door decanters'.
9. Novem, Tender Industriële Energie Besparing, projectnummer 39240814127 : 'Ontwateren polymeer-slurry met bandpers in de kunststofvezelindustrie'.
10. Alan Records & Ken Sutherland; Decanter Centrifuge Handbook; Elsevier Advanced Technology, Oxford, 2001; ISBN 1-85617-369-0.

Enkele links naar leveranciers:

- Alfa Laval: <http://www.alfalaval.com/>
- Andritz Separation: <http://www.andritz.com/index/separation.htm>
- Broadbent Industrial Centrifuges: <http://www.broadbent.co.uk/>
- Flottweg: www.flottweg.com
- GEA Westfalia: http://www.gea.com/global/en/productgroups/centrifuges-separation_equipment/decanter-centrifuge/index.jsp
- Larox: <http://www.outotec.com/en/Products--services/Process-equipment/Filters/Pressure-filters/>
- Pieralisi: <http://www.pieralisi.com/NL>
- Siemens Sernagiotto Belt Filter Press: <http://www.adtechnologie.nl/>

Kennisnetwerk:

- NL- GUTS (Netherlands Group of Users of Technology for Separation): <http://www.rvo.nl/onderwerpen/tools/kennis/kennisnetwerken/nl-guts>

Colofon

Dit is een publicatie van:

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
Prinses Beatrixlaan 2 | 2595 AL Den Haag
Postbus 93144 | 2509 AC Den Haag
T +31 (0) 88 042 42 42
F +31 (0) 88 602 90 23
E info@rvo.nl
www.rvo.nl

Deze publicatie is tot stand gekomen in opdracht van het ministerie van Economische Zaken (EZ) het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koningsrijkrelaties (BZK) en het ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M)

© Rijksdienst voor Ondernemend Nederland | augustus 2015
Publicatienummer: RVO-201-1501/RP-DUZA

De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO.nl) stimuleert duurzaam, agrarisch, innovatief en internationaal ondernemen. Met subsidies, het vinden van zakenpartners, kennis en het voldoen aan wet- en regelgeving. RVO.nl werkt in opdracht van ministeries en de Europese Unie.

RVO.nl is een onderdeel van het ministerie van Economische Zaken.

Hoewel deze publicatie met de grootst mogelijke zorg is samengesteld kan RVO.nl geen enkele aansprakelijkheid aanvaarden voor eventuele fouten.