

Archimedes Dewatering System

Verwerking van baggerspecie op vernieuwende wijze

W. WERKTUIG- EN SCHEEPSBOUW 5.

sening van het nuttig effect van de vijzel, door ir. J. MUYSKEN. — Boekbespreking: E. FALZ. Grund-
iertechniek; Dr. Ing. WALTER NÜCKER, Ueber den Schmiervorgang im Gleitlager, door ir. F. MULLER.
ische berichten: Centrale St. Denis bij Parijs. Beitsen van ijzer en staal. Magnetisch materiaalonderzoek.
het weer op de belasting der centrales. Waterkrachtstation Vargön (Zweden). De invloed van koper op
heid van ijzer en staal. Electricisch lasschen van zware pijpen. Scheepsbouw: Motortankschip „Merula”.

Berekening van het nuttig effect van de vijzel

door
ir. J. MUYSKEN.

Voor de opbrengst, lekkage en het nuttig effect worden eenvoudige formules afgeleid, die van den vijzel-
vorm afhankelijk zijn. Deze coëfficiënten bevatten de resultaten van 26 verschillende vijzelvormen in
tabellen gegeven. De uitkomsten volgens de toepassing van verschillende vijzelvormen bij een be-
vergeleken. De invloed van de grootte van opbrengst en opvoerhoogte bij een bepaalden vijzelvorm wordt
paalde opbrengst en van de opbrengst. 3. Beneden- en bovenwaterstand. 4. Lekkage. 5. Werkelijke
nagegaan. 1. Inleiding. 2. Nominale opbrengst. 7. Nuttig effect. 8. Vergelijking met beproevingen. 9. Aantal omwentelingen
opbrengst. 6. Wrijvingsverlies. 10. Nuttig effect van verschillende vijzelvormen en van vijzels van verschillende afmetingen.

De vijzel, een typisch Nederlandsch wateropvoerwerk-
ontvangt in de techniek niet die belangstelling, die
werktuig wegens zijn uitmuntende eigenschappen
ient. Na de belangwekkende publicatie van ir. J. C.
cu in 1916¹⁾ is, voor zoover den schrijver bekend,
meer over de vijzel verschenen en men moet ettelijke
allen jaren voor het verschijnen van dit onderwerp
gaan, om verdere mededeelingen over dit onderwerp
literatuur aan te treffen. Toch schijnt het niet, dat
eringe toepassing, die het werktuig ondervindt, dit
vaardigt.

Noordholland zijn nog minstens 170 vijzels voor
erhemaling in gebruik, waarvan meer dan 30 door
anische beweegkracht worden bewogen, terwijl de
ge door den wind worden gedreven²⁾. Hierbij zijn
niet de talrijke vijzels gerekend, die voor onderbemaling
en gebruikt, wier aantal zeker op minstens 100 kan
len geschat.

hoofdzaak zal deze geringe belangstelling wel zijn
jten aan het uitblijven van eenige nieuwe ontwikkeling
het werktuig. Het is verstand in de vormen, die onze
ouders het gaven. Nu is het waar, dat aan de algemeene
en weinig te verbeteren valt, maar in details is,
bij dit werktuig, door de toepassing van goed gesmeede
anblokken, eventueel ook kogelringen en door de
aardiging uit geraschte plaat, terwijl de vijzelkuip
ewapend beton vervaardigd wordt, toch wel degelijk
rooruitgang in de techniek te constateren. Bovendien
le oudere lectuur het onderwerp lang niet geheel uit.
hoofdzaak werden zeer ingewikkelde berekeningen
de opbrengst beschouwd, terwijl vraagstukken als
kkage en het nuttig effect in het geheel niet werden
ndeld. Ook ir. Horch wijst, in zijn eer genoemd
el, op dit feit.

De schrijver meent, dat eenige nieuwe beschouwingen
de vijzel nog wel nut kunnen hebben en misschien
toepassing kunnen bevorderen.
t is helaas niet mogelijk geweest vrij uitvoerige
eningen in den tekst te vermijden, maar er is getracht,
ultaten ervan in eenvoudige formules en in tabel-
leggen, de berekeningen voor de praktijk
is daarvoor niet noodig, zich
verdiepen. Toch kon deze

afleiding moeilijk worden weggelaten, daar dan, terecht,
alle vertrouwen in de juistheid der berekeningen zou ver-
vallen.

2. Zooals gezegd, zijn er ter bepaling van de opbrengst
een aantal vrij ingewikkelde formules, om den inhoud
van de z.g. „waterkrul” te vinden. Dit is het volume water,
dat tusschen twee opeenvolgende vijzelbladen en den opleider
wordt vastgehouden. Voor deze berekening kan worden
verwezen naar DELPRAT, Werktuigkunde K. M. A., 3e
druk, blz. 242 e.v.

Elk vijzelblad brengt zoo een waterkrul omhoog, zoo-
aan het aantal nominale opbrengst van de vijzel gelijk is
maal den inhoud der waterkrul. Verder is het volume water,
dat voor gelijkvormige vijzels de inhoud van de waterkrul
evenredig zal zijn met de derde macht van een lengte af-
meting, bijv. den diameter.

Wij zullen in het volgende alleen vijzels beschouwen
met een recht schroefvlak (waarvan dus de beschrijvende
over de gehele lengte gelijk blijven en met drie gangen.
Deze hebben in de practijk de beste resultaten gegeven.
Aan deze vijzels kan men de volgende elementen variëren
om verschillende vijzelvormen te krijgen:

1. Verhouding van diameter van den balk tot buiten-
diameter = δ ;
2. Verhouding van diameter van den horizon = β .

3. Helling ten opzichte van den horizon = β .
Om de opbrengst te berekenen, is het dus de vraag,
hoe de inhoud van de waterkrul varieert met σ , δ en β .
Ongelukkigerwijze is er geen eenvoudige betrekking te
vinden, waardoor de inhoud in deze grootheden wordt
uitgedrukt. De schrijver heeft volgens een grafische methode
thode voor een aantal vijzelvormen den inhoud van de
waterkrul berekend en door de zoo gevonden waarden
in een tabel te vereenigen is het berekenen van de opbrengst
voor vrijwel iederen vijzelvorm, teruggebracht tot het
zoeken en interpoleren in de tabel.
Aangezien deze grafische methode ook voor de be-
ning van andere grootheden als lekverlies en nuttig
zal dienen, kan een korte omschrijving ervan
worden ontheerd.

Voor deze grafische berekening teekent men een
projectie van de waterkrul, op een vlak even-
de vijzelas en een projectie ervan op een vlak
op de vijzelas. In fig. 1 is A—B het water-
de vijzelas. E—F en G—H zijn de doorsnijdingen
1931”.

12 juni 2007
Michel de Vré
Jan Baars

Archimedes Dewatering System

Verwerking van baggerspecie op vernieuwende wijze



Studenten:	Michel de Vré	1216167
	Jan Baars	1228010
Klas:	Cit. 8	
Datum:	12 juni 2007	
Interne begeleider (1^e):	ir. F.A. van Heerden	
Interne begeleider (2^e):	dr. ir. J.A.M. Stuifbergen	
Externe begeleider:	ir. P. Knops	
Cursus:	TCIT-AFO8-05	
Onderwerp:	Afstudeeropdracht	

Goedkeuring Eindrapport

Naam:

Handtekening:

ir. F.A. van Heerden

.....

dr. ir. J.A.M. Stuifbergen

.....

ir. P. Knops

.....

ing. C.J. Boudestijn

.....

M. de Vré

.....

J. Baars

.....

Inhoudsopgave

OMSLAG	I
TITELBLAD.....	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
GOEDKEURING EINDRAPPORT	III
INHOUDSOPGAVE	1
VOORWOORD.....	3
SAMENVATTING.....	4
1 INLEIDING.....	5
2 ALGEMEEN BAGGERPROCES VAN HET KLEINSCHALIG BAGGEREN.....	6
3 HUIDIGE TECHNIKEN.....	8
3.1 TRADITIONELE OPSLAG.....	8
3.1.1 Inleiding.....	9
3.1.2 Procesbeschrijving	10
3.1.3 Dimensioneren van het depot	13
3.1.4 Verwerken baggerspecie.....	16
3.1.5 Vergunningstraject en milieueffect.....	18
3.1.6 Kosten van opslag en verwerking	21
3.1.7 Toepassingsgebied.....	23
3.2 GEOTUBE®.....	24
3.2.1 Inleiding.....	24
3.2.2 Procesbeschrijving m.b.t. de verwerking van baggerspecie.....	25
3.2.3 Dimensioneren Geotube®.....	29
3.2.4 Vergunningstraject	30
3.2.5 Milieueffecten	32
3.2.6 Kosten opslag en verwerking.....	34
3.2.7 Toepassingsgebied.....	34
3.3 MOBIELE SLIBONTWATERING	35
3.3.1 Inleiding.....	35
3.3.2 Procesbeschrijving m.b.t. de verwerking van baggerspecie.....	36
3.3.3 Dimensioneren mobiele slibontwatering	44
3.3.4 Vergunningstraject	45
3.3.5 Milieueffecten	46
3.3.6 Kosten opslag en verwerking.....	47
3.3.7 Toepassingsgebied.....	48

4	ARCHIMEDES DEWATERING SYSTEM.....	49
4.1	INLEIDING	49
4.2	HET ONTWATERINGSSYSTEEM	50
4.2.1	<i>Procesbeschrijving</i>	<i>50</i>
4.2.2	<i>Beschrijving schroefpomp</i>	<i>52</i>
4.2.3	<i>Vergunningen en milieueffecten</i>	<i>54</i>
4.2.4	<i>Kosten opslag en verwerking.....</i>	<i>54</i>
4.2.5	<i>Opstelling en toepassingsgebied</i>	<i>54</i>
4.3	ONTWERP ARCHIMEDES DEWATERING SYSTEM	55
4.3.1	<i>Container.....</i>	<i>56</i>
4.3.2	<i>Schroefvijzel.....</i>	<i>56</i>
4.3.3	<i>Schroeftrog</i>	<i>56</i>
4.3.4	<i>Theorie achter de werking van het systeem.....</i>	<i>57</i>
5	CONCLUSIE.....	59
6	BEGRIPPENLIJST	60
7	LITERATUURLIJST	62
	BIJLAGEN	64

Voorwoord

Dit eindrapport is geschreven in het kader van onze afstudeerperiode aan de HU civiele techniek. Het rapport beschrijft de huidige methoden van de verwerking van baggerspecie en een geheel nieuw ontwerp. Het beschreven onderwerp is door ons zelf gekozen, wel werd er vanuit de opleiding aangegeven dat het moest aansluiten bij een aantal vakgebieden. Dit zijn “dredging technology” en “innovaties in de civiele techniek” geworden.

Voor het schrijven van het rapport hadden wij ons ten doel gesteld om een innovatief systeem te ontwerpen met betrekking tot het ontwateren van baggerspecie, echter na een inspirerend gesprek met onze begeleiders, de heren Stuifbergen en Van Heerden, hebben wij het woord *innovatief* aangepast tot vernieuwend. In het beschikbare tijdsbestek bleek dat het opzetten en daadwerkelijk testen van een innovatief systeem niet haalbaar was, tevens doet de vraag zich voor wanneer een idee innovatief is en wanneer het daadwerkelijk genoemd mag worden. De aankondiging van een innovatief systeem schept hoge verwachtingen en die moet dan ook waar gemaakt worden.

Bij het beschrijven van de diverse technieken is getracht om een mogelijkheid te scheppen om deze onderling te kunnen vergelijken voor wat betreft kosten en baten. Gebleken is dat dit niet haalbaar is. Naast het feit dat de systemen onderling dusdanig verschillen zijn aannemers en fabrikanten niet genegen om informatie prijs te geven over technieken en kosten. Mede door de hiervoor genoemde feiten waren wij genoodzaakt een aantal paragrafen in te korten of volledig te schrappen uit onze oorspronkelijke opzet.

Ondanks herzieningen in de opzet is het rapport logisch ingedeeld. Allereerst treft u algemene informatie aan met betrekking tot de achtergrond van het ontwateren van baggerspecie, daarna volgen de huidige technieken. Wanneer de huidige technieken helder zijn kan het hoofdstuk Archimedes Dewatering System gelezen worden. Tal van eerder beschreven technieken komen hierin voor maar dan toegepast op een andere wijze: vernieuwend! Graag willen wij ook onze begeleiders bedanken voor de prettige samenwerking. Allereerst de heer Knops die ons bij Ingenieursbureau BCC begeleidt en ons voorziet van de nodige informatie op baggergebied. Ten tweede bedanken wij de begeleiders de heren van Heerden en Stuifbergen van de HU voor de prettige discussies die gevoerd zijn tijdens de voortgangsgesprekken over de kwaliteit, de inhoud en het doel van het rapport en natuurlijk het gebruik van het woord innovatie. De volgende bedrijven willen wij bedanken voor het hartelijke ontvangst en de verkregen informatie tijdens ons veldonderzoek: Bunnik BV, Klaar baggertechnieken BV en Kurstjens BV. Als laatste willen wij Ingenieursbureau BCC bedanken voor het mogen gebruik maken van kennis en faciliteiten.

Leerdam, 12 juni 2007

Michel de Vré
Jan Baars

Samenvatting

Aanleiding

Gezien een grote hoeveelheid te verwerken baggerspecie en daarbij een aanzienlijke achterstand die is opgelopen in de baggerprogramma's van de overheid, is een nieuwe methode om baggerspecie te verwerken gewenst. Deze methode moet met minimaal ruimtegebruik een maximale capaciteit hebben.

Doel

Onderzoeken of er aan de hand van de criteria beschikbare ruimte, vergunningstraject, uitvoeringskosten, hergebruik en verwerking van baggerspecie een verbetering te behalen is ten opzichte van enkele hedendaagse technieken: traditioneel depot, Geotube® en mobiele slibontwatering.

Aanpak

Door de huidige technieken per bovengenoemde criteria te behandelen is er kennis vergaard over deze technieken, tevens zijn zo de knelpunten van de verwerking van baggerspecie naar voren gekomen. Aan de hand van deze knelpunten en de achtergrond van het ontwateren van baggerspecie is er gezocht naar een nieuwe ontwateringstechniek.

Resultaat

Er is gebruik gemaakt van bestaande technieken uit verschillende toepassingen. Door deze te combineren is een nieuwe methode ontstaan voor de verwerking en ontwatering van baggerspecie: mechanische ontwatering door toepassing van een vijzel. Door plaatsing van de schroefvijzel in de ontvangstcontainer kan de baggerspecie opgevoerd en tevens ontwaterd worden. Dit ontwateren vindt plaats via een geperforeerde trog en interne drukopbouw. Het water wordt afgevoerd, de steekvaste specie zal in een afzetcontainer worden gestort.

Conclusies

Met betrekking tot de beschikbare ruimte lopen de verschillen sterk uiteen. Wel blijkt dat het nieuwe systeem, met de schroefvijzel, het minste ruimte in beslag neemt. Hieruit blijkt dat een voordeel is behaald ten opzichte van de gebruikelijke methodes.

Op de voorwaarde van een korter vergunningstraject is door toepassing van het nieuwe systeem geen voordeel te behalen. Dit traject duurt net zo lang als dat bij het gebruik van mobiele slibontwateringsinstallaties.

Door lage ontwerpkosten van de ontwateringsmethode met een schroefvijzel is het aannemelijk dat op het criterium uitvoeringskosten een voordeel kan worden behaald. Door gebruik te maken van bestaande materialen en technieken kunnen de productiekosten beperkt worden gehouden. Tevens kunnen wij aannemen dat het nieuwe systeem minder energie zal verbruiken dan de bestaande mobiele slibontwateringstechnieken.

Op het gebied van hergebruik en verwerking van baggerspecie is een voordeel met betrekking tot de capaciteit en de tijdsduur van het verwerkingsproces te behalen. Opgemerkt moet worden dat de capaciteit van een depot vele malen groter is dan die van het nieuwe systeem, echter qua tijdsduur wint de techniek met de schroefvijzel het.

Uiteindelijk kan theoretisch geconcludeerd worden dat het Archimedes Dewatering System een verbetering is ten opzichte van het merendeel van de gestelde criteria, echter het systeem zal zich in de praktijk moeten bewijzen. Daarnaast dient er mee rekening te worden gehouden dat de hierboven gestelde technieken niet zomaar onderling kunnen worden vergeleken, dit door de sterk uiteenlopende toepassingsgebieden.

1 Inleiding

Anno 2007, Nederland wordt steeds voller. Het ruimtebeslag met betrekking tot slibontwatering binnen stedelijk gebied wordt beperkt, wat met een techniek uit 212 v. Chr. prima kan worden opgelost.

Naar aanleiding van het hiervoor genoemde probleem is een probleemstelling opgesteld. Deze stelling is vervolgens opgedeeld in een aantal subvragen, waarvoor wij getracht hebben antwoorden te vinden en die zo helder mogelijk in het rapport te verwerken. De probleemstelling luidt als volgt:

“Is er aan de hand van de criteria beschikbare ruimte, vergunningstraject, uitvoeringskosten, hergebruik en verwerking van vrijgekomen baggerspecie een verbetering te behalen ten opzichte van de huidige technieken”?

Aangezien deze vraag te algemeen is, was het noodzakelijk om een aantal vragen op stellen met diverse criteria. De volgende vragen zijn beantwoord en hebben tot dit rapport geleid:

- Welke techniek van baggerverwerking en opslag is interessant bij beperkte ruimte?
- Bestaat er een mogelijkheid, door toepassing van vernieuwde technieken, het vergunningstraject in te korten?
- Is er een kostenbesparing met betrekking tot de uitvoering- en verwerkingskosten te behalen door het toepassen van een nieuwe techniek?
- In hoeverre is het hergebruik van vrijgekomen baggerspecie mogelijk?

Om te voorkomen dat er te veel uitgewijd wordt en de omvang van het rapport buiten proporties treedt hebben wij strikte projectgrenzen gesteld:

- Alleen de verwerking en opslag van baggerspecie wordt beschreven.
- De bagger is verkregen door middel van hydraulisch ontgraven.
- De milieukundige kant van het proces speelt een ondergeschikte rol.
- Het toepassingsgebied beperkt zich tot het “veen-weide gebied” (type grondslag).

Om de probleemstelling zo nauwkeurig mogelijk te kunnen beantwoorden is de opbouw als volgt. Het rapport gaat in op de beschikbare (huidige) technieken met betrekking tot het ontwateren van baggerspecie. Omdat er steeds moeilijker ruimte te vinden is voor depots en inzet van personeel bij de mobiele ontwateringsinstallaties en omdat het storten van slib steeds duurder wordt, is er gezocht naar een methode die onder andere voor de hiervoor genoemde factoren een oplossing biedt. Het rapport gaat in op deze onderdelen voordat er kennis wordt gemaakt met het nieuwe “Archimes Dewatering System”.

Om een helder inzicht te krijgen in de wereld van de baggerverwerking is in het tweede hoofdstuk een introductie opgenomen met betrekking tot dit onderwerp. Het hoofdstuk behandelt het baggerproces: geen baggerslib zonder eerst te baggeren. De beschikbare baggertechnieken van het kleinschalig baggeren worden behandeld.

Het derde hoofdstuk gaat in op de huidige slibontwateringstechnieken. De beschreven technieken zijn volop in gebruik al is de ene techniek ouder dan de ander. Het hoofdstuk opent met de meest gebruikelijke techniek, het slibdepot, daarna volgt het gebruik van Geotube®. Geotube® is een redelijk nieuwe ontwateringstechniek, maar is ondertussen al volop in gebruik. Met behulp van Geotube® kunnen na ontwatering zelfs kunstwerken worden gevormd in de vorm van bijvoorbeeld waterkeringen. Na het onderdeel over Geotube® volgt de meest recente techniek, de mobiele slibontwatering. De mobiele slibontwatering is nog niet zo heel lang in gebruik, bepaalde onderdelen uit het proces zijn zelfs nog experimenteel. Deze paragraaf gaat in op de ontwateringstechnieken die hierbij worden toegepast. Het rapport wordt afgesloten met het geheel nieuwe en dus nog niet bestaande “Archimedes Dewatering System”, vernoemd naar de beroemde wiskundige en uitvinder van de schroef van Archimedes (212 v. Chr.). Zijn uitvinding is onze inspiratie geweest: het systeem baseren op het principe van de schroefvijzel. In dit hoofdstuk wordt uiteengezet op welke wijze wij het systeem hebben vorm gegeven. Dit alles zo goed mogelijk onderbouwd aan de hand van informatie en berekeningen verkregen bij leveranciers van vijzels en beschikbare literatuur.

Een eindconclusie geeft de resultaten op een overzichtelijke wijze weer. De systemen zijn onderling vergeleken op de punten zoals vermeld in bovengenoemde probleemstelling.

2 Algemeen baggerproces van het kleinschalig baggeren

Inleiding

De beschreven opslag en verwerkingsmethoden in het rapport geven een idee wat er met de baggerspecie gebeurt nadat deze daadwerkelijk is gebaggerd en getransporteerd. Om het verhaal compleet te maken volgt hier een korte introductie van het bagger- en transportproces zelf.

Het baggerproces bestaat uit analyse en hoeveelheidsbepaling, plan van uitvoering, uitvoering en verwijderen van baggerspecie. Het transport en de verwerking kunnen opgedeeld worden in een mechanische en hydraulische techniek en heeft in dit geval betrekking op kleinschalig baggeren. Er zijn diverse soorten materieel beschikbaar voor baggerprojecten. Het volgende materieel is beschikbaar om de meest reguliere werken te kunnen uitvoeren:

- hydraulische rups- mobiele kraan op ponton of beunbak;
- hydraulische rups- mobiele kraan op kade / oever;
- cutterzuiger / pomp op kraan;
- schuifboot.

Naast het bovengenoemde materieel zijn er nog diverse technieken en varianten door aannemers zelf geconstrueerd, al dan niet in combinatie gebruikt. Het toe te passen materieel zal sterk afhangen van het soort werk, de eisen van de opdrachtgever of het beschikbare materieel.

Per baggermethode zal kort de werking en de middelen van transport worden beschreven. De onderstaande foto's geven een indruk van het mechanische en hydraulische baggerwerk.



Figuur 1 HGM op ponton



Figuur 2 HGM op oever



Figuur 3 Schuifboot



Figuur 4 Cutterzuiger

Hydraulische rups- mobiele kraan op ponton (mechanisch baggeren)

Bij deze toepassing zal een hydraulische kraan op een ponton worden geplaatst. Zolang de kraan niet te groot en de ponton stabiel genoeg is, is op deze manier het baggerwerk goed uit te voeren. De ponton kan naar de meest uiteenlopende hoeken van het project worden gesleept. Daarbij heeft de giek van de kraan natuurlijk ook nog een bepaald bereik. De bagger die de kraan omhoog haalt zal in een beunbak worden gestort. Deze wordt richting de oever of loswal gevaren. De beun zal worden geleegd door middel van kranen voorzien van knijpers, die de bagger overslaan in vloeistofdichte dumpers, waarna de baggerspecie wordt afgevoerd. De baggerspecie kan vervolgens worden verwerkt in bijvoorbeeld een ophoging (met ontwatering mogelijkheden) de bagger kan ook worden gestort in een (tijdelijk) depot. Eén en ander hangt af van de klasse specie die vrijkomt.

Hydraulische rups- mobiele kraan op kade / oever (mechanisch baggeren)

Het is ook mogelijk om te baggeren vanaf een kade, loswal of oever. Deze manier van het ontgraven van baggerspecie heeft zijn beperkingen. Omdat de te baggeren watergangen veelal slecht bereikbaar zijn voor het baggermateriaal en de transportmiddelen is het baggeren op de kant vaak nodig en dit kan/ mag niet overal. Het tweede nadeel is de beperkte afstand vanaf de kade die de kraan kan bereiken. Deze baggertechniek zal dan ook toegepast worden in die gevallen waar de baggerspecie zich voornamelijk langs de oever / kade bevindt. Als derde nadeel kan aangegeven worden dat de oever voldoende draagkracht moet hebben. Het draaien en schudden van de kraan draagt niet bij aan de stabiliteit van de oever. Tevens moeten er maatregelen worden genomen om verdichting van de ondergrond te voorkomen.

Het afvoeren van de baggerspecie kan zowel per as als per beun plaatsvinden al zal de laatste uitvoeringstechniek pas plaatsvinden wanneer de eerste niet toegepast kan worden. Het afvoeren uit de beun zal gebeuren volgens het principe van de kraan op een ponton.

Cutterzuiger (hydraulisch baggeren en transporteren)

Op deze baggertechniek is dit rapport gebaseerd. Bij deze techniek gaat het om hydraulisch ontgraven door middel van een cutterzuiger. Deze zuiger is voorzien van een cutterladder met daaraan een cutter of snijkop. Wanneer deze ladder naar beneden gericht is en de snijkop over de waterbodem draait zal er bagger worden losgesneden en opgezogen. In de cutterzuiger bevindt zich een pomp die de bagger via pers- of transportleidingen zal transporteren. Bij cutterzuigers voor kleinschalig baggerwerk gaat het voornamelijk om 6 à 10 duims pompen. De transportleidingen die de baggerspecie transporteren zijn uitgevoerd in diverse soorten materialen, het bekendst zijn leidingen van HDPE, staal en PVC. De leidingen hebben elk hun eigen koppelmecanismen en eigenschappen. Door middel van bochtstukken, drijvers en andere hulpstukken kan een aanzienlijke lengte worden bereikt voor het transport. Mocht de lengte van de transportleiding (toename wrijvingsweerstand) de kracht van de pomp overtreffen (verlies van productie) dan is het plaatsen van een booster in het perssysteem de oplossing. Het uiteinde van de transportleiding bevindt zich vaak bij een depot, de baggerspecie zal onder grote druk in het depot worden gespoten. De grote druk is nodig geweest om de eerder beschreven wrijving te overwinnen, de afstand te overbruggen en drukverliezen ontstaan door koppelingen en hulpstukken op te vangen. Vanaf het punt dat de specie de leiding verlaat beschrijft dit rapport het proces dat daarna volgt.

Schuifboot

Met de schuifboot wordt, door middel van een groot schuifblad bevestigd aan de boot, baggerspecie bij elkaar geschoven. De boot heeft geen eigen aandrijving maar wordt met diverse lieren naar voren en achter bewogen. Bij het verzamelpunt van de bagger staat een kraan om de bagger op te laden en af te voeren. Dit verzamelpunt kan zowel langs de oever als midden op een plas zijn waar een kraan op een ponton de bagger in een beunbak laadt. Het is natuurlijk zaak dat er niet te veel stroming in de watergang staat dat wegstromen en meevoeren van de baggerspecie tot gevolg heeft. Bij het gebruik van een schuifboot is een opgesloten verzamelpunt dan ook het effectiefst. Het ontgraven van de vaste bodem (op diepte baggeren) is met de schuifboot nauwelijks mogelijk, dit door veel vertroebeling van het water.

De beschreven technieken geven een idee wat er zoal mogelijk is. Elke techniek heeft voor- en nadelen. Het detailleren van de baggertechnieken en de baggerprocessen vallen buiten het kader van dit rapport.

3 Huidige technieken



Traditionele opslag



Geotube®



Mobiele slibontwatering

3.1 Traditionele opslag

3.1.1 Inleiding

In de “paragraaf traditionele opslag” wordt een beschrijving gemaakt van een “tijdelijk depot”. Wij spreken hier over traditionele opslag omdat opslag in de vorm van een rechthoekig depot bestaande uit opgezette perskaden van grond de meest gangbare en “oudste” vorm van opslag is. Geotube® en zeker ontwateringsinstallaties zijn technieken van de laatste jaren. Aan Geotube® en ontwateringsinstallaties wordt aandacht besteed in paragraaf 3.2 en 3.3. Het type depot dat beschreven wordt, is naast een tijdelijk depot tevens een projectgebonden depot. Omdat het een projectgebonden depot betreft behoeft er maar met één soort baggerspecie rekening gehouden te worden; in het ontwerp en de kosten.

Een tijdelijk depot mag maximaal drie jaar bestaan. Wanneer deze periode langer wordt zal een permanent doorgangsdepot doorgaans gunstiger uitpakken. Hierbij dient echter wel het bestemmingsplan te worden gewijzigd. Zolang het een depot van tijdelijke aard betreft hoeft er geen wijziging van het bestemmingsplan plaats te vinden. Tevens hoeft er geen rekening te worden gehouden met de Wet ruimtelijke ordening (Wro).

Het beschreven tijdelijke depot betreft een nat depot, waarbij baggerspecie door middel van hydraulisch transport in het depot wordt gespoten. Baggerspecie kan ook gestort worden door middel van vloeistofdichte wagens (transport per as); dit valt echter buiten het kader van dit rapport. Wanneer er specie wordt ingespoten is er automatisch sprake van proceswater, ten behoeve van transport, dat in combinatie met de specie geloosd zal worden. Het proceswater zal tijdens het rijpingsproces geloosd worden, waarbij een deel infiltreert en verdampt. De baggerspecie die in het depot zal rijpen bestaat veelal uit klasse 2 specie (bouwstof categorie 1). Wanneer hogere klassen zijn geconstateerd zal de baggerspecie afgevoerd moeten worden dan wel opgeslagen in Geotube® units en verwerkt in bijvoorbeeld een waterkering.

De paragraaf “traditioneel opslag” behandelt een aantal segmenten van het tijdelijk depot, onder andere een procesbeschrijving. Hierbij gaat het om de aanleg van een tijdelijk depot en de verschillende afwegingen die tot de keuze van een tijdelijk depot leiden. Vervolgens wordt een praktische kant behandeld, de dimensionering. Bij dimensionering wordt behandeld hoe tot de benodigde capaciteit gekomen kan worden. Naast de praktische kant worden ook de kosten en vergunningen beschreven, het theoretische gedeelte.

Als laatste onderdeel wordt de verwerking van baggerspecie en het toepassingsgebied van het tijdelijk depot beschreven.



Figuur 5 Opslag baggerspecie op traditionele manier

3.1.2 Procesbeschrijving

Aanleg

Bij de aanleg van een (traditioneel) depot komt grondverzet kijken, dit in tegenstelling tot het gebruik van Geotube® en ontwateringsinstallaties. Om het depot te kunnen realiseren zullen er perskaden opgezet moeten worden. De hoogte en daarmee de breedte van de kaden hangt af van de hoeveelheid te bergen baggerspecie en de ruimte waarop het depot kan worden gerealiseerd. De onderstaande afbeelding is een voorbeeld van een depot in aanleg. Als regel kan worden aangehouden dat een perskade niet hoger mag zijn dan 2 m in verband met praktische problemen, waaronder de veiligheid van het depot. Door hoge kaden op te werpen is de kans aanwezig op verdrinking in het met baggerspecie gevulde depot.

In de kaden zullen één of meer ontwateringskisten worden aangebracht om de ingespoten bagger te kunnen ontwateren. Het water dat via deze kisten het depot verlaat zal veelal op het oppervlaktewater worden geloosd.

Door goed beheer, binnen de grenzen van vergunningen van onder meer de ontwateringskisten (overstortkisten), zal de hoeveelheid geloosde vaste stoffen in het oppervlaktewater beperkt moeten blijven. Dit is noodzakelijk voor de Wet verontreiniging oppervlaktewateren (Wvo). Met goed beheer wordt bedoeld dat de planken die zich in de kist aan de binnenzijde van het depot bevinden op het juiste niveau worden ingesteld zodat het lozingswater er overheen stroomt maar slibdeeltjes bezinken. Het mag in geen geval zo zijn dat baggerspecie over de rand kan stromen zonder eerst te bezinken in het depot. Verder moeten het debiet van het inspuiten en de verhouding van bagger en proceswater gecontroleerd worden. Met deze gegevens kan het ontwateringsproces beheerst worden.

De afvoer van het lozingswater zal grotendeels via de ontwateringskisten plaatsvinden, desondanks zal ook een aanzienlijke hoeveelheid water onder en deels door de kaden zijn weg naar buiten vinden. Dit water kan via greppels afgevoerd worden richting het oppervlaktewater.

Water dat via de bodem infiltreert, levert geen problemen op zolang uitloging van verontreinigde baggerspecie uitblijft. Wanneer er sprake is van uitloging kan overwogen worden om de bodem en de perskaden te voorzien van vloeistofdicht folie. Er zijn situaties waarbij de bodem van zichzelf voldoende vloeistofdicht is of zelfs de verontreiniging bindt in de eerste 0,5 m. Bepaalde verontreinigingen binden zich aan bodemdeeltjes: Naftaleen zal zich bijvoorbeeld goed aan veen binden vanwege het hoge gehalte aan organische stof.

Wanneer de lozing van het lozingswater niet op het oppervlaktewater plaatsvindt maar op het maaiveld, zullen andere vergunningen gelden. Het gaat hier namelijk om een bodemlozing. De voorgaande situatie kan zich voordoen wanneer het lozingswater vanuit de kisten niet via een leiding naar het oppervlaktewater wordt afgevoerd maar over het maaiveld afstroomt (uitzonderlijk). Op de diverse benodigde vergunningen met betrekking tot het depot zal in de paragraaf “vergunningstraject en milieueffect” worden teruggekomen.



Figuur 6 Aanleg depot

Keuze van opslag

De volgende vragen en voorwaarden bepalen de keuze van opslag:

1. Is er voldoende ruimte beschikbaar?
2. Zijn er speciale eisen ten aanzien van opslag van baggerspecie gesteld?
3. De rijping van de bagger zal geruime tijd in beslag nemen (geen overige bestemminglocatie ?)
4. De hoeveelheid baggerspecie die vrijkomt is aanzienlijk ($>3000 \text{ m}^3$).
5. Het depot blijft minimaal zes maanden in stand met een maximum van drie jaar.

Om tot een keuze van opslag te komen zal echter ook de kostenpost voor het daadwerkelijk aanleggen van het depot meespelen. Wanneer deze kosten niet meer in verhouding staan tot het baggerproject zelf zal er naar een andere wijze van opslag gekeken moeten worden. Kosten van aanleg kunnen onder andere bepaald worden door de volgende vragen:

1. Is er voldoende grond aanwezig om de kaden te kunnen realiseren of moet er grond aangevoerd worden?
Wanneer er onvoldoende grond op de locatie aanwezig is om te ontgraven, door bijvoorbeeld een plaatselijk hoge waterstand, zal er grond aangevoerd moeten worden om toch de kaden te kunnen realiseren.
2. Heeft de grond die ter plaatse aanwezig is voldoende dichtheid om in de kaden te kunnen worden verwerkt?
Met andere woorden, heeft de grond die verwerkt is in de kaden voldoende massa om de druk te weerstaan die de baggerspecie uitoefent?
Bij veengronden kan het voorkomen dat de massa hiervan onvoldoende is om weerstand te bieden aan de baggerspecie in het depot. Aanvoer en verwerking van bijvoorbeeld klei in de kaden kan een oplossing zijn.
3. Is het oppervlak waarop het depot wordt gerealiseerd voldoende om de baggerspecie die vrijkomt te kunnen bergen?
Doordat bijvoorbeeld de beschikbare ruimte te klein is om de specie te bergen zullen de kaden hoger moeten worden opgezet en / of het depot dieper worden uitgegraven om toch aan het benodigde volume te kunnen voldoen. Er moet dan wel rekening worden gehouden met de werking van het depot betreffende de bezinking. Een ander punt waar rekening mee moet worden gehouden is het feit dat hogere kaden minder stabiel (veilig) zijn, duurder om op te zetten en een bredere basis hebben. Om hogere kaden te realiseren is veelal een zwaardere (en daarmee duurdere) kraan nodig. Bovendien zijn voor de aanleg van hogere kaden andere ontwerpisen nodig dan de tegenwoordig gebruikte standaard.
4. Hoe is de bereikbaarheid van het depot? Kunnen bij ontmanteling van het depot dumpers de locatie bereiken of moeten er maatregelen worden genomen om (grond)transport mogelijk te maken?
Als er vlak bij het depot woningen zijn gelegen wordt het afvoertransport een punt van overleg met de omwonenden, zeker wanneer grond afgevoerd moet worden over particulier terrein. Vindt het transport plaats over onverhard terrein dan zullen er maatregelen moeten worden genomen in de vorm van een platenbaan.

Het zou te ver gaan om de bovenstaande vragen te behandelen. Het mag duidelijk zijn dat er naast de deze vragen tijdens de werkvoorbereiding nog tal van vragen meespelen in het ontwerp, onder andere:

- toepasbaarheid eindproduct
- transportafstanden
- proceduretijd
- bestuurlijk draagvlak
- invloed omgeving
- geur- geluidsemissies

Zoals in de voorgaande tekst te lezen is, is een afweging in de diverse vormen van opslag niet eenvoudig. Wanneer uiteindelijk voor een tijdelijk depot wordt gekozen zal er een gedegen ontwerp gemaakt moeten worden. Naast het praktische ontwerp spelen kosten, vergunningstraject en de uiteindelijke verwerking van de baggerspecie een belangrijke rol.

Hierna gaan wij dieper in op het voorbereidingstraject met betrekking tot het traditionele depot.

Onderzoek

Voorafgaand aan de daadwerkelijke realisatie van het depot vinden de nodige (veld)onderzoeken plaats zoals onderzoeken naar bodemgesteldheid, grondwater en flora en fauna. Het onderzoek naar de bodemgesteldheid en het grondwater vindt plaats door middel van boringen en peilbuizen. Het zogenaamde nulsituatie-bodemonderzoek bestaat uit een vastgesteld aantal boringen en peilbuizen, per locatie. Het aantal hangt af van hoe de locatie omschreven wordt, onverdacht of verdacht. Bij een onverdachte locatie zal het aantal boringen visueel bepaald worden. Bij een verdachte locatie wordt het aantal boringen bepaald door de locaties en oppervlakte van de vervuiling.

De boringen bestaan uit een x-aantal diepe en ondiepe boringen, zodat een goed beeld verkregen wordt van de bodemopbouw en verontreiniging. Peilbuizen worden ook op diverse niveaus geplaatst, zodat een beeld ontstaat van de aanwezige grondwaterstroming en verontreinigingen.

Een nulsituatie-bodemonderzoek bevat naast de boringen en peilbuizen onder andere de volgende onderdelen:

- onderzoeksstrategie
- locatiegegevens huidige staat
- historische gegevens
- conclusies met aanbevelingen

Van de bovengenoemde onderdelen kan het volgende worden meegedeeld: “Het nulsituatie-bodemonderzoek dient als onderdeel van de Wm-vergunningaanvraag mee te worden gezonden naar het bevoegd gezag” of “Het onderzoek betreft een momentopname. Naar gelang de tijd tussen onderzoek en toepassing groter wordt dient voorzichtigheid te worden betracht bij het gebruik maken van de resultaten van dit rapport”

(Nulsituatie-bodemonderzoek baggerdepot ‘Laageind’ in Driebruggen, Ingenieurs bureau BCC).

Naast het bodemonderzoek vindt er ook een onderzoek plaats naar de aanwezige flora en fauna.

De verhalen over stilgelegd werk door de Rugstreeppad, Korenwolf en Vuurbuiksalamander zijn iedereen bekend. Deze streng beschermde diersoorten mogen onder geen beding bedreigd of verstoord worden in hun leefomgeving. Een natuurtoets is dan ook verplicht in het kader van de Flora- en faunawet. Tijdens het veldonderzoek blijkt welke plant- en diersoorten er in het gebied te verwachten zijn. Na de inventarisatie is duidelijk welke maatregelen er genomen moeten worden, wellicht kan zelfs geen doorgang vinden.

Een flora- en faunarapport bestaat uit een beschrijving van de huidige situatie, omschrijving van het werk en conclusies en aanbevelingen. Een conclusie kan bijvoorbeeld zijn: “Op het perceel van de depotlocatie leven zeer zeldzame kleine modderkruipers, het advies is om op het perceel geen grondverzet uit te voeren”.

Het is voor de aanleg van een depot verplicht om een flora- en faunatoets uit te voeren, aangezien een depot een aanpassing in het landschap is. Tevens dient er rekening te worden gehouden met het broedseizoen van de weidevogels, dit vooral bij toepassing van een depot in een landelijk gebied.

3.1.3 Dimensioneren van het depot

Inleiding

De dimensionering van het tijdelijke depot komt voor een gedeelte aan op inschatting en ervaring. De inschattingen ontstaan door de ruimte (het volume) die de baggerspecie in zal nemen *inclusief* het proceswater. Het volume dat de baggerspecie inneemt hangt tevens af van de aanwezige grondsoort. Dit volume is ongeveer 3 à 4 keer zoveel als wanneer de hoeveelheid grond vast gestort zou worden. Als vuistregel kan worden gesteld dat in situ bagger na rijping een 30 – 50 % steekvast volume vormt. De te storten materie in het depot is de in situ bagger + het proceswater. Bij de meeste projecten blijkt pas achteraf hoeveel bagger er daadwerkelijk uitgebaggerd is. Ondanks het uitpeilen van watergangen zit er een onzekerheidsfactor in de te verwachten hoeveelheid baggerspecie. Zo blijkt dat er al twee factoren zijn die de inhoud van het depot bepalen.

Door ervaring met het aanleggen van depots en het nauwkeurig bijhouden van parameters is het toch mogelijk, ondanks de onzekerheden, een gemiddelde op te stellen. In de volgende tabel zijn drie soorten depots opgenomen: standaard, minimum en maximum. Deze tabel wordt door waterschap Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR) gehanteerd voor het ontwerpen van depots.

Tabel 1 Baggerdepots, standaarddepot + bandbreedtes: realistische kentallen voor situaties bij HDSR.

Parameter	Standaard	Minimum	Maximum
Grootte	2 ha	1 ha	6 ha
Kade hoogte	1,5m	1.0m	2,0m
Diepte ontgraving mv.	0,3m	0,2m	0,5m
In situ baggervolume	25.000m ³ / jaar	10.000m ³ / jaar	1000.000m ³ / jaar
Volume na indroging	35%	15%	60%
Totaal aantal aanvoerbewegingen ¹	2000; 16 / dag	800; 10 / dag	8000; 24 / dag
Totaal aantal afvoerbewegingen ²	440; 16 / dag	75; 10 / dag	3000; 24 / dag
Aanleg m ¹ kade per dag,	35	25	50
Met behulp van aantal kranen	2	1	2
Aantal keren omzetten	2x / jaar	1x / jaar	4 x / jaar
Kleiige specie	25% lutum, 10% o.s.	15% lutum, 8% o.s.	40% lutum, 20% o.s.
Venige specie	10% lutum, 35% o.s.	5% lutum, 30% o.s.	20% lutum, 50% o.s.
Zandige specie	5% lutum, 4% o.s.	n.v.t.	n.v.t.
Werktijden	7.00 – 16.30 uur	7.00 – 16.30 uur	7.00 – 19.00 uur

Opmerking:

¹ aanvoer gebaseerd op een praktijk-kental van het depot 't Klaphek te Nieuwegein: 0,16 bewegingen / m³. Deze aanvoer gebeurt veelal met tractor + kipper, inhoud: 14m³; aantal bewegingen 16,10 en 24 / dag.

² afvoer veelal met vrachtwagens, inhoud 20m³; aantal bewegingen 16,10 en 24 / dag.

o.s. = organische stof (in gew. %)

(Basisdocument Wm-vergunning baggerdepots HDSR, 2004, p. 9)

Naast de schatting van het benodigde depotvolume zal ook de dikte van de specielaag in het depot worden geschat. Deze laag mag in geen geval boven de kade uitkomen en vervolgens het omliggende land overstroomt (en daarmee in veel gevallen het omliggende oppervlaktewater).

Ontwateren

Door het toepassen van ontwateringstechnieken voordat de baggerspecie in het depot gespoten wordt, kan een volumebeperking van het depot gerealiseerd worden en daarmee een beperking van het ruimtegebruik en dus kosten. Een bijkomend voordeel is dat wanneer er versneld ontwaterd wordt, de specielaag in het depot dikker kan worden (de laag lozingswater op de baggerspecie is gereduceerd).

Ook het seizoen van de baggerwerkzaamheden speelt een rol bij het ontwerp van het depot. Wanneer de baggerwerkzaamheden nog voor het zomerseizoen afgerond zijn (droge seizoen) zal de baggerspecie gedurende deze hele droge periode kunnen rijpen. Dit proces zal aanmerkelijk sneller verlopen dan het rijpingsproces in het natte seizoen.

Naast het ontwateringsproces voor het storten bestaat de mogelijkheid om polymeren toe te voegen aan de baggerspecie, figuur 7 en 8. Deze polymeren (flocculant) dikken de baggerspecie in waardoor de bezinking sneller zal verlopen. Het depot zal minder lang hoeven te zijn om de benodigde bezinking te behalen. Door de snellere bezinking zal zich in het lozingswater minder slib bevinden en zal dit lozingswater sneller aan de normen voldoen (mg onopgeloste bestanddelen / liter). Het nadeel van het toevoegen van polymeren is dat het rijpen van de baggerspecie op lange termijn wat langzamer zal verlopen. Tevens is het lozen van polymeerrijk lozingswater aan normen gebonden of zelfs verboden. Polymeren kunnen een negatieve invloed hebben op het oppervlaktewater en de waterbodem en het afvalwater dat naar rioolzuiveringsinstallaties gaat. Hierbij moet worden gekeken naar de milieutechnische kant van het oppervlaktewater en de bodem. De structuur kan veranderen door toepassing van polymeren.



Figuur 7 Binnenkant polymeerunit



Figuur 8 Voorraad poly-electrolieten

Scheiden

Een andere volumebeperking van het depot kan bereikt worden door er voor te zorgen dat de zandfractie grotendeels van de bagger gescheiden is voordat deze gestort wordt. Dit geldt ook voor puin en andere voorwerpen. Het scheiden van zand kan door middel van hydrocyclonage. Het zand dat vrijkomt kan afgevoerd worden als bouwstof. Het scheiden van zand heeft naast volumebeperking van het depot het voordeel dat er geen storkosten voor worden betaald bij ontmanteling van het depot. Vervuilende stoffen die zich in de baggerspecie bevinden hechten zich aan het baggerslib (bijvoorbeeld zware metalen). Het zand is meestal niet of nauwelijks vervuild. Vooral aan lutum en organische stoffen zal hechting van vervuilde stoffen plaatsvinden. Het scheiden van puin en andere voorwerpen heeft alleen zin als er grote hoeveelheden zijn te verwachten. Zijn de hoeveelheden gering, dan heeft scheiding nauwelijks invloed op volumebeperking van het depot. Het scheiden van puin en andere voorwerpen heeft wel weer invloed op de storkosten.

Aanpassen ontwerp

Het mag duidelijk zijn dat het aantal kubs baggerspecie samen met het proceswater voor het grootste deel de dimensionering van het depot bepalen. Wanneer tijdens het werk blijkt dat een depot niet voldoet aan het benodigde volume zal er actie ondernomen moeten worden. Eén van de tekenen dat een depot niet voldoet is een te korte verblijftijd van het proceswater. Wanneer het lozingswater onvoldoende lang verblijft heeft het slib te weinig tijd om te bezinken. Als uit bemonstering van het oppervlaktewater blijkt dat de hoeveelheid onopgeloste bestanddelen boven de gestelde norm uitkomt, moeten er maatregelen worden genomen met betrekking tot de verblijfsduur van het lozingswater.

Om de verblijfsduur te verlengen kan er iets in het ontwerp van het depot aangepast worden. Dit is niet eenvoudig wanneer het depot al in gebruik is. Wanneer het depot zich in de ontwerp- of aanlegfase bevindt, zijn er diverse methoden om de verblijfsduur te verlengen en de snelheid uit het lozingswater te halen. Eén van de maatregelen is het aanbrengen van dammen dwars in het depot, zodat het proceswater eerst om de dammen zal moeten stromen. Op deze manier gaat de snelheid uit het water wat het bezinken bevordert. Tevens wordt de verblijftijd verlengd. Doordat de verblijftijd wordt verlengd en de snelheid wordt verlaagd zal het lozingswater sneller aan de gestelde norm voldoen voor wat betreft onopgeloste stoffen.

Als blijkt dat tijdens de gebruikperiode van het depot de verblijftijd van het proceswater onvoldoende is, dan zullen er maatregelen buiten het depot genomen moeten worden.

Eén van deze maatregelen is het temporiseren van de aanvoer van de baggerspecie. Ook is het mogelijk minder transportwater in te spuiten en meer bagger, maar dit is aan een maximum gebonden. Bij 30% baggerspecie is dit maximum bereikt; het overige percentage zal transportwater blijven. Mocht er niets aan de percentages te doen zijn dan kan overwogen worden het werk stil te leggen voor onbepaalde tijd. In deze tijd kan het waterniveau in het depot zakken en kan de baggerspecie indrogen.

Om te voorkomen dat het werk stilgelegd wordt (niet wenselijk) is er nog een maatregel beschikbaar om toch binnen de norm van onopgeloste stoffen te blijven.

Eén van de maatregelen kan bestaan uit een zogenaamde bezinkgreppel waarop de ontwateringskisten lozen. Deze greppel kan eenvoudig langs de kaden op worden gegraven. Wanneer het lozingswater eerst in deze greppel terechtkomt, wordt een extra bezinkperiode ingebouwd. Vanuit de greppel zal er een overstortpunt aangebracht worden, van waaruit op het oppervlaktewater kan worden geloosd. Buiten de te nemen maatregelen is het altijd zaak om tijdens de werkzaamheden het inspuitspunt en ontwateringspunt zover mogelijk van elkaar af te leggen, zodat het lozingswater altijd de langste weg moet nemen.

3.1.4 Verwerken baggerspecie

Inleiding

Na een bepaalde tijdsduur is de baggerspecie ontwaterd en het rijpingsproces afgerond. Deze tijdsduur kan oplopen tot twee jaar. Wanneer dit punt is bereikt, is het tijd om het depot te ontmantelen. De kaden zullen afgegraven worden en de inhoud van het depot wordt verwerkt. Dit verwerken kan op diverse manieren, die voor- of nadelen kan hebben. Op dit moment is er nog geen vastgesteld beleid voor wat betreft het hergebruik van baggerspecie. Bij elk afzonderlijk project wordt bekeken wat er met de baggerspecie zal gebeuren. Dit hangt bijvoorbeeld af van terreingebruik en klasse specie. In deze paragraaf beschrijven wij diverse wijzen van hergebruik van baggerspecie.

Verwerking ter plaatse

Het verwerken van de baggerspecie ter plaatse van het depot (terreinophoging) is de meest gangbare en economische manier. Wanneer het rijpingsproces is afgerond kan het depot ontmanteld worden. Voor de aanleg van het depot is het perceel ter plaatse gefreesd en de onderliggende grasmantel omgewoeld. Wanneer wordt besloten de specie te verspreiden moet goed bekeken worden welke hoeveelheid na rijping overgebleven zal zijn. Er wordt naar gestreefd om de totale depotinhoud plus de kaden op het perceel uit te vlakken. Deze optie is aantrekkelijk als het perceel opgehoogd moet worden; een geval van werk met werk maken. Als uit berekeningen blijkt dat de hoeveelheid specie die vrij komt een acceptabele ophoging voor het perceel vormt, zal voor deze optie worden gekozen. Naast de hoeveelheid specie is ook de kwaliteit belangrijk. De bodemkwaliteit mag er immers niet op achteruit gaan, en daarom moet de specie gelijk of gemiddeld beter van kwaliteit zijn dan de bodem. Als laatste geldt nog dat de specie gebiedseigen moet zijn; dit is meestal wel het geval.

Ontmanteling

De ontmanteling van het depot begint met het verwijderen van de begroeiing. Gedurende de rijpingsperiode heeft plantengroei plaatsgevonden. Deze planten dienen verwijderd te worden voordat het depot afgegraven wordt. Tijdens de rijpingsperiode moet de vegetatie op het depot regelmatig gemaaid worden om te voorkomen dat de begroeiing zich verspreidt over omliggende percelen.

Wanneer de begroeiing verwijderd is kan begonnen worden met het uitvlakken door middel van een rupskraan. De ontwateringskisten worden vrij gegraven en afgevoerd. Wanneer er bij het opzetten van de kaden bijvoorbeeld een grote hoeveelheid klei gebruikt is kan deze afgevoerd worden. Wel dient erop gelet te worden dat de klasse van de klei (bouwstof categorie) veranderd kan zijn onder invloed van de specie die hier gedurende een lange periode tegenaan heeft gelegen. Wanneer gebiedsvreemde grond is afgevoerd kunnen de specie en de kaden gevlakt worden over het perceel. Als de grond geëgaliseerd is, is het raadzaam deze met de ondergrond te mengen.

Indien blijkt dat de kwaliteit toch slechter is dan de ondergrond, maar wel valt onder categorie 1, dan geldt het volgende: er dient een melding ingediend te worden in het kader van Bouwstoffenbesluit bij de gemeente waar het depot ligt. De te verspreiden gerijpte bagger is qua laagdikte aan een minimum gebonden, ook mag deze niet vermengd worden met de ondergrond en moet de grond in de toekomst als laag af te graven worden.

Afvoeren

Wanneer verwerking ter plaatse niet mogelijk is, omdat het terrein dan te hoog afgewerkt wordt of dat de klasse niet voldoet zal de specie afgevoerd moeten worden. Het afvoeren van de specie kost meer dan deze ter plaatse verwerken. Ook veroorzaakt het afvoeren meer geluids- en trillingsoverlast, uitstoot van uitlaatgassen en moeten er meer voorzieningen getroffen moeten worden wat het transport betreft.

Als blijkt dat de baggerspecie niet onder categorie 1 valt zal deze afgevoerd moeten worden. Het afvoeren vindt gewoonlijk plaats door middel van trekkers met kippers vanwege de toegankelijkheid van het terrein.

De regels met betrekking tot het verwerken van baggerspecie verschillen nogal per provincie. Formeel gezien valt baggerspecie onder de regelgeving voor afvalstoffen.

Energieverbruik

Het energieverbruik bij storten is laag. Er is brandstof nodig om het depot te realiseren en te ontmantelen. De grootste factor vormt echter de tijd: deze kost niets!

Er kan slechts wordengeschat om aan te geven hoeveel energie er verbruikt wordt tijdens de realisatie van het depot en de ontmanteling. Het energieverbruik van de kranen en trekkers hangt af van talloze omstandigheden. In de onderstaande tabel is een overzicht opgenomen van situaties die het energieverbruik beïnvloeden.

Tabel 2 Energieverbruik materieel per actie

Situatie / locatie	resultaat
Verhard vlak terrein	Energieverbruik 1 voor hgm en trekker
Onverhard vlak terrein	Energieverbruik 1 voor hgm, 2 voor trekker
Verhard hellend terrein	Energieverbruik 1 voor hgm, 2 voor trekker
Onverhard hellend terrein	Energieverbruik 1 voor hgm en trekker 3
Hoge toeren draaien	Energieverbruik 3 voor hgm
Kleigrond laden en vervoeren	Energieverbruik 3 voor hgm en trekker
Slechte terrein omstandigheden	Energieverbruik 3 voor hgm en trekker
Opruimwerkzaamheden	Energieverbruik voor hgm 1
Rioleringswerkzaamheden	Energieverbruik voor hgm 2
Grondverzet	Energieverbruik voor hgm 3

Opmerking: klasse 1 is laag, 3 is hoog.

Uit bovenstaande tabel blijkt dat het lastig is om het energieverbruik helder weer te geven. Er zijn nauwelijks richtlijnen en de richtlijnen die er zijn, zijn opgegeven door de dealers: JCB, Volvo en Hitachi. Uit navraag bij de diverse dealers over het brandstofverbruik komt als hoofdpunt naar voren dat hierover nauwelijks iets te zeggen is. Werkzaamheden, hoeveelheid handelingen, eigenschappen van de machinist, weersgesteldheid en onderhoud bepalen het brandstofverbruik. Om toch een idee te krijgen met wat voor verbruik er rekening gehouden moet worden, zijn de werkzaamheden ingedeeld in klassen:

- klasse 1 stationair draaien, verbruik: 10 á 12 liter/uur;
- klasse 2 lichte werkzaamheden, verbruik 15 á 18 liter/uur;
- klasse 3 zware werkzaamheden, verbruik 20 á 22 liter/uur.

Opmerking: het verbruik is gebaseerd op een 20tons kraan, bakinhoud 900 liter. Gegevens zijn indicatief en kunnen zowel in de plus als min afwijken. Gegevens zijn verstrekt door Volvo hydraulische rupskranen.

3.1.5 Vergunningstraject en milieueffect

Inleiding

Het vergunningstraject is een langdurig maar noodzakelijk traject. In Nederland hebben we met tal van vergunningen te maken. Dit kan als lastig worden ervaren, zeker gezien de hoeveelheid vergunningen en de tijdsduur van de aanvragen. Toch zijn vergunningen noodzakelijk, om helder te houden wie wat doet. Door het aanvragen van vergunningen wordt het voor bijvoorbeeld overheid, waterschappen en omwonenden duidelijk wat er gaat gebeuren en of dit binnen de wetten en gestelde normen valt.

In het kader van dit rapport hebben wij de meest voorkomende vergunningen op een rijtje gezet, inclusief die tijd die de aanvraag in beslag neemt. Het spreekt voor zich dat er per depotlocatie verschillende vergunningen noodzakelijk zijn, afhankelijk van onder meer de aanwezige bebouwing, flora en fauna en eventueel soort gebied, bijvoorbeeld een drinkwater wingebed.

Ontwerp

Voor het aanvragen van een Wm-vergunning (Wet Milieubeheer) is een voorlopig ontwerp nodig van het te realiseren depot. Hierop dienen wel minimaal de volgende punten te zijn aangegeven:

- oppervlak van het depot
- indeling van het depot (compartimenten zijn mogelijk)
- aan- en afvoerwegen
- locatie van persleidingen
- aanleg hoogten (depot / kaden)
- bodembescherming
- maatregelen ter beperking van lozing onopgeloste stoffen
- aansluiting op riool*
- wasinstallatie voor transport
- toe te passen bouwstoffen
- afscherming van het depot

* *Aansluiting op het riool en afvoeren van afvalwater dienen in overleg met het bevoegd gezag (Wvo) te worden uitgevoerd.*

Wanneer er veel afval of bijvoorbeeld asbest in de baggerspecie te verwachten is, kan het noodzakelijk zijn hiervoor ruimte te reserveren. Het kan ook voorkomen dat tijdens de werkzaamheden pas blijkt hoeveel afval er werkelijk is. Het is daarom verstandig om hiermee in de voorbereidingsfase alvast rekening te houden bij het aanvragen van de Wm-vergunning.

Bovenstaande punten worden op een Voor Ontwerp (VO)-tekening aangegeven. Na goedkeuring van het voorontwerp mag de tekening alleen nog op detail worden aangepast. Wanneer deze aanpassingen zijn aangebracht krijgt het ontwerp een Definitief Ontwerp (DO)-status. Indien het ontwerp afgekeurd wordt, en hierna gewijzigd wordt, dient de nieuwe tekening voor de vergunningsaanvraag te worden ingediend.

Locatie onafhankelijk

Zoals in de inleiding werd vermeld zijn er talloze vergunningen, waarvan een aantal locatie onafhankelijk zijn. Doordat ze een aantal algemene milieuaspecten vertegenwoordigen die voor elke locatie aangevraagd moeten worden zijn ze ondergebracht in onder meer de Wro, Wm en Wvo. De laatste twee vertegenwoordigen de meest algemene milieuaspecten:

- bodem beschermende maatregelen;
- geluid;
- geur en stof ;
- flora en fauna ;
- hergebruik van ontwaterde specie.

Voor elk nieuw depot dient een nieuwe Wm-vergunning aangevraagd te worden. De aanvaag van een Wm-vergunning hangt af van een aantal variabelen, onder andere de depotgrootte, het aantal transportbewegingen en de dichtstbijzijnde bebouwing.

Als er een werk is waarbij meerdere depots aangelegd moeten worden, is het raadzaam voor alle depots tegelijk een vergunningsaanvraag te doen. Dit heeft als voordeel dat het tijd- en kostenbesparend is.

Er wordt een basisdocument opgesteld dat de belangrijkste milieuaspecten omvat. Pas wanneer een depot buiten de grenzen van het basisdocument valt zal er een verwijzing gemaakt moeten worden met een beschrijving van de verschillen ten opzichte van het basisdocument.

Voor het basisdocument zijn hieronderde belangrijkste resultaten inclusief de werkzaamheden weergegeven.

Tabel 3 Benodigde werkwijze per milieuaspect

Milieuaspect	Werkwijze
Beïnvloeding onderliggende bodem en grondwater	Folie is niet nodig. Voorwaarden: - Bodemonderzoek bij aanleg (0-onderzoek) en ontmanteling - Zo nodig beïnvloede laag (10 –20cm) verwijderen - Letten op scheurvorming bij aanleg
Geluid	Voor de werkzaamheden in het depot en de verkeersbewegingen zijn geluidscontouren opgeteld. De meest relevante zijn de 40 en 50 dB(A)-contouren voor respectievelijk landelijk en stedelijke omgeving; de afstanden tot de depotrand bedragen 230 en 100 m. Binnen deze contouren dienen geen woningen aanwezig te zijn.
Stof en Geur	Stofemissie vanuit depots is geen relevant milieu-item. Voor geur geldt: in principe geen woningen binnen een straal van 75-110 m (verspreid liggende bebouwing) en 100-130 m (aaneengesloten bebouwing) gerekend vanuit het depotcentrum.
Beschermde flora en fauna	Ontheffingen, vrijstellingen en beleidsmatige toetsing in het kader van de Flora- en faunawet zijn niet nodig als een baggerdepot is gepland in de daarvoor aangegeven gebieden (mits de situatie zodanig wijzigt, dat er sprake is van beschermde flora en fauna).

(Basisdocument Wm-vergunning baggerdepots HDSR, 2004, p. 46)

Communicatie

Tijdens de vergunningsprocedure is onderlinge communicatie belangrijk. Goede communicatie tussen opdrachtgever, adviesbureau en diverse instanties bevordert de voortgang met betrekking tot de aanvraag van de diverse vergunningen, met name de Wm- en de Wvo-vergunning.

Het beschreven depot in dit rapport betreft een tijdelijk depot. Hierdoor valt het aantal vergunningen en bezwaarperioden nog mee vergeleken met een doorgangsdepot. Een vergelijking:

<u>Doorgangsdepot</u>	<u>Tijdelijk depot</u>
• Wro	niet nodig
• Artikel 17-procedure	niet nodig
• Artikel 19 procedure	niet nodig
• Aanlegvergunning	niet nodig
• Ruimtelijke onderbouwing	niet nodig
• Terinzagelegging	niet nodig
• Tervisielegging	niet nodig
• Mondelinge inspraak	niet nodig
• Bekendmaking beschikking	niet nodig
• MER*	niet nodig
• Wwh, keur	niet nodig
• Bouwvergunning	niet nodig
• Landinrichtingswet	niet nodig
• Ontgrondingswet	niet nodig
• Bsb	niet nodig

** MER geldt alleen onder bepaalde voorwaarden, bijvoorbeeld wanneer er klasse 3 of 4 slib gestort wordt met een capaciteit van 500.000m^3 of meer.*

De bovenstaande vermeldingen zijn slechts een greep. Het gaat te ver om alles te behandelen. Aangezien dit rapport betrekking heeft op een tijdelijk depot achten wij dit ook niet nodig. Zoals te lezen is zal de keuze, wanneer de omstandigheden dit toelaten, op een tijdelijk depot vallen.

Ten behoeve van de tijdsduur van de Wro staan in bijlagen I en II de procedures vermeld van artikel 17 en 19.

3.1.6 Kosten van opslag en verwerking

Inleiding

Om tot een helder verhaal te komen over de kosten met betrekking tot een traditioneel depot, is niet eenvoudig. De kosten die worden gemaakt zijn zeer divers. Voorkomende kosten zijn onder andere grond ontgraven, vervoeren en verwerken en pachten van het terrein. Een duidelijke eenheidsprijs is moeilijk af te leiden. De prijzen waarmee gerekend wordt door aannemers lopen behoorlijk uiteen. Reden hiervan is het feit dat elk werk anders is, met andere woorden: elk terrein is anders, de hoeveelheden verschillen evenals het ontwerp van het depot. Om toch een redelijke prijsvergelijking te kunnen maken zal er voor een fictief project een depot worden gerealiseerd.

GWW kosten

In de GWW kosten van Elzevier worden een aantal kosten- en normtabellen aangehouden, die de eenheidsprijzen bepalen die gehanteerd worden. Vanuit deze prijzen worden begrotingen opgesteld door bijvoorbeeld ingenieursbureaus. Aannemers maken aan de hand van het bestek een aanneemsom. Zij zullen andere prijzen hanteren dan de GWW kosten. Desondanks mogen deze prijzen niet al te ver van de GWW kosten afwijken. Aannemers hanteren andere eenheidsprijzen omdat deze prijzen door een werk bepaald worden. Hoe groter het aantal is grondverzet hoe lager de prijs per m³. Andere prijzen kunnen juist hoger uitvallen dan begroot. Als grond niet een aantal malen met de kraan kan worden omgezet zal er intern transport plaats moeten vinden en zal de prijs stijgen. De prijzen uit de GWW zijn dan ook gemiddelde eenheidsprijzen. Om een depot te kunnen realiseren met een inhoud van 3540 m³ (50x50x1,30 m) zullen de kosten- en normtabellen worden aangehouden uit GWW kosten 2006. De afmetingen zijn gebaseerd op een bestaand project.

De benodigde 910 m³ voor de kaden kan niet geheel ontgraven worden op het depotterrein. Hiervoor zal 270 m³ aangevoerd moeten worden.

Grondwerk

1. Grond ontgraven uit bekleding
2. Grond vervoeren
3. Grond verwerken in grondlichaam
4. Aanbrengen ontwateringskist (2 st.)
5. Grond ontgraven t.b.v. sleuf
6. Aanbrengen PVC-buis (12 m^l)
7. Aanvullen sleuf

Aangehouden kosten- en normtabellen (Elzevier, GWW kosten 2006)

Ontgraven d.m.v. hydraulische rupskraan, bakinhoud 900 liter.

Vervoer d.m.v. trekker met hydraulische grondkar inhoud 8 m³ in zowel terrein als verharde weg.

Bij een kade van 1,30 m hoog, een kruinbreedte van 0,50 m en een talud van 1:1 zal er per m¹ 2,35 m³ worden verwerkt. Totaal kan er met de ontgraven grond 404 m¹ kade worden gerealiseerd. Samen vormen deze een depot van 2500 m². Deze oppervlakte is kleiner dan de minimale eis van 10000 m² per depot. Door de beperkte ruimte deed deze situatie zich voor.

1. Grond ontgraven uit bekleding

Grondsoort	klei
Ontgravingbreedte in m ¹	3,00 - 6,00
Ontgravinghoogte m ¹	0.25 - 0.50
Oppervlakte in m ²	1000 - 5000
Totaal te ontgraven	640 m ³
Productienorm:	0.022 uur/m ³ of 45 m ³ /uur
Productietijd	8 uur
Kosten	€ 55,80/uur

$$640 / 45 = 14,22 \text{ uur}$$

$$14,22 * 55,80 = € 793,36$$

$$793,36 / 640 = € 1,24/\text{m}^3$$

2. Grond vervoeren

Grondsoort	klei
------------	------

Vervoersafstand	- terrein 0,50 - 1,00 km - verharde weg 5,00 - 10,00 km
Totaal te vervoeren	270 m ³
Productienorm	- terrein: 0,029 uur/m ³ of 35m ³ /uur - verharde weg: 0,050uur/m ³ of 20m ³ /uur
Productietijd	8 uur
Kosten	€ 48,30/uur

Terrein

$$270 / 35 = 7,71 \text{ uur}$$

$$7,71 * 48,30 = € 372,39$$

$$372,36 / 270 = € 1,40/m^3$$

Verharde weg

$$270 / 20 = 13,50 \text{ uur}$$

$$13,50 * 48,30 = € 652,05$$

$$652,05 / 270 = € 2,42/m^3$$

Het laden van de aan te voeren grond is buiten beschouwing gelaten.

3. Grond verwerken in grondlichaam

Grondsoort	klei
Profilieren taluds	
Kruinhoogte m ¹	1,00 - 2,00 m ¹
Kruinbreedte m ¹	tot 1,00 m ¹
Totaal te verwerken	910 m ³
Productienorm	0,016 uur/m ³ of 62,50 m ³ /uur
Productietijd	8 uur
Kosten	€ 55,80/uur

$$910 / 62,50 = 14,56 \text{ uur}$$

$$14,56 * 55,80 = € 812,45$$

$$812,45 / 910 = € 0,89/m^3$$

4. Aanbrengen ontwateringskist

Per stuk:	€ 310,00/st.
2 * 310 =	€ 620,00

5. Grond ontgraven t.b.v. sleuf

Grondsoort	klei
Niet gescheiden	
Breedte bodem	tot 1,50 m ¹
Ontgravingdiepte	tot 1,00 m ¹
Totaal te verwerken	3 m ³
Productienorm	0,015 uur/m ³ of 65,00 m ³ /uur
Productietijd	8 uur
Kosten	€ 55,80/uur

$$3 / 65 = 0,046 \text{ uur}$$

$$0,046 * 55,80 = € 2,57$$

$$2,57 / 3 = € 0,87/m^3$$

6. aanbrengen PVC-buis

Per meter PVC € 10,00/m¹
12 * 10 = € **120,00**

7. Aanvullen sleuf

Grondsoort	klei
Niet gescheiden	
Breedte bodem	tot 1,50 m ¹
Ontgravingdiepte	tot 1,00 m ¹
Totaal te verwerken	3 m ³
Productienorm	0,015uur/m ³ of 65,00 m ³ /uur
Productietijd	8 uur
Kosten	55,80/uur

3 / 65 = 0,046 uur
0,046 * 55,80 = € 2,57
2,57 / 3 = € **0,87/m³**

De kostprijs per m ³ voor het beschreven depot bedraagt:	€ 2,90/m³ (grondverzet)
(uitgegaan van 910 m ³ grondverzet)	€ 3,71/m³ (grondverzet inclusief materiaal)
De kostprijs per m ³ ingespoten baggerspecie bedraagt:	€ 0,95/m³
(uitgegaan van een depot inhoud van 3540 m ³)	

De bovenstaande prijzen zijn exclusief pacht- en of huurkosten. Deze kunnen de prijs nog flink opdrijven.

3.1.7 Toepassingsgebied

Het mag duidelijk zijn dat toepassing van het tijdelijk depot plaatsvindt wanneer er in ieder geval voldoende ruimte beschikbaar is. Door deze eis kom je al gauw tot toepassing in het buitengebied. Het Nederlandse veenlandschap is dan ook uitermate geschikt voor de aanleg van een traditioneel depot, zie figuur 9. In stedelijk of bebouwd gebied zullen bijvoorbeeld Geotube® units veelal aantrekkelijker zijn om toe te passen. Echter de mogelijkheid van een depot buiten de kern van een stedelijk gebied behoort tot de mogelijkheden met behulp van transportleidingen van aanzienlijke lengte. Wanneer er voldoende ruimte is, grond een andere gebruiksstatus kan krijgen (in plaats van landbouw) voor langere tijd of andere opslagmethoden geen optie zijn, is een tijdelijk depot aantrekkelijk. De voorgaande situaties doen zich voornamelijk voor in het buitengebied, waarmee het toepassingsgebied van het tijdelijk depot is bepaald.



Figuur 9 Nederlandse veenlandschap

3.2 Geotube®

3.2.1 Inleiding

Een moderne techniek voor het opslaan van baggerspecie is het gebruik van Geotube®. Geotube® is een product van het Nederlandse bedrijf Ten Cate Nicolon en het Amerikaanse U.S. Army Corp of Engineers. Onder de naam 'CPAR Program' is jarenlang onderzoek gedaan en zijn verschillende experimenten uitgevoerd, wat uiteindelijk heeft geleid tot de realisatie van Geotube®.

De Geotube® unit is een zak van waterdoorlatend geotextiel met een aantal vulopeningen voor het aansluiten van de pijpleiding. Doordat de tube waterdoorlatend is, is de zak uitermate geschikt voor het ontwateren van baggerspecie. Ook heeft de zak zijn diensten bewezen in andere toepassingen, zoals kunstmatige eilanden in Dubai.

Als ontwateringsproduct heeft het geotextiel van de zak een filterende functie, namelijk het scheiden van water en de baggerspecie. Hiernaast is het bijeenhouden van de slappe baggerspecie een andere functie van het doek.

Het ontwateren van de baggerspecie wordt versneld door het toepassen van een vlokmiddel, ook wel flocculant of polymeren genoemd. Door het vlokmiddel toe te dienen aan het mengsel voordat het de tube bereikt, wordt vermenging van de polymeren en de specie bereikt. Deze vermenging zorgt ervoor dat verschillende ingrediënten van de baggerspecie zich binden aan het vlokmiddel, waardoor een vaste massa wordt gevormd die water afscheidt.

Na het vullen van de Geotube® unit volgt een rijpingsfase, die weer wordt opgevolgd door het verwerken van het restant. In deze paragraaf gaan wij verder in op de werking en het gebruik van Geotube®.



Figuur 10 Gebruik van Geotube® units voor het opslaan van baggerspecie

3.2.2 Procesbeschrijving m.b.t. de verwerking van baggerspecie

Het verloop van het proces van een baggerwerk waarbij Geotube® wordt gebruikt kan beschreven worden aan de hand van enkele fases. De volgende fases zullen hieronder beurtelings behandeld worden; de vullingsfase, de rijpingsfase en de verwerkingsfase.

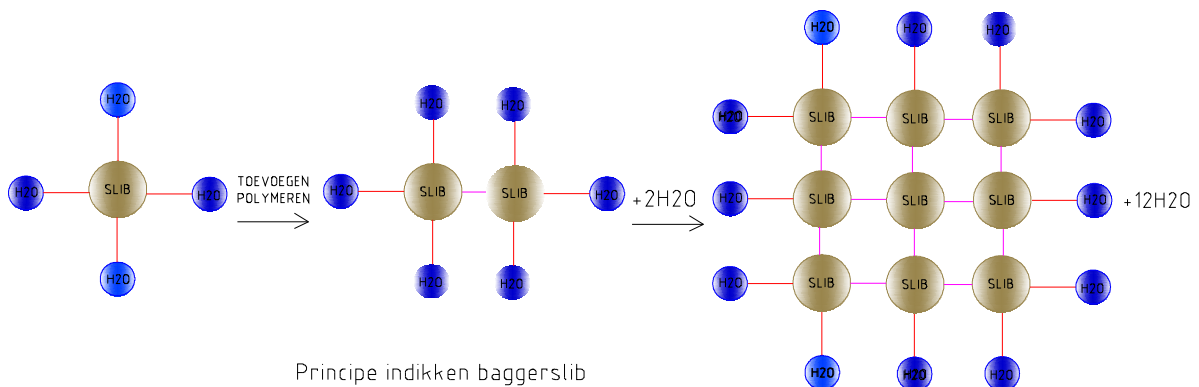
Vullingsfase

Onder deze fase wordt het verdikken van het mengsel met behulp van een vlokmiddel en het vullen van de Geotube® unit bedoeld. Het verdikken van het mengsel vindt veelal plaats in de nabije omgeving van de tubes.

Verdikken van de baggerspecie

Het verdikken van de baggerspecie gebeurt met behulp van een vlokmiddel, ook wel flocculant genoemd. Dit flocculant bestaat uit poly-electrolyten (PE). Deze positief geladen polymeren reageren met de negatief geladen deeltjes baggerspecie.

Een vlokmiddel laat vaste delen samenklonteren waardoor water niet meer aan deze vaste delen wordt gebonden. De vaste deeltjes worden onderling gebonden waardoor er geen “bindingplaatsen” meer beschikbaar zijn voor H₂O (water), zie Fig. 11.



Figuur 11 Schematisering werking polymeren

In een aparte ruimte, de polymeerunit, wordt een mengsel voorbereid van PE en water. De dosering van dit mengsel wordt bepaald door de samenstelling van de baggerspecie.

De volgende elementen en randvoorwaarden spelen een rol bij het bepalen van het soort polymeer:

- *Gehalte aan organische stof*
Een hoog gehalte aan organische stof betekent dat de specie slecht ontwaterbaar is; dit komt door de binding van water aan de organische stof. Naast het gehalte aan organische stof is ook de vorm van de organische bestanddelen van belang. Komt de organische stof bijvoorbeeld voor in vezelvorm (i.p.v. zeer kleine deeltjes) dan is dit gunstig voor de ontwateringseigenschappen van de specie.
- *Korrelgrootteverdeling van de specie*
Hierbij is vooral de verdeling van de korrels tussen 0 en 63 μm van belang. Deze verdeling kan variëren tussen twee uitersten:
 1. De deeltjes zijn evenwichtig verdeeld over het bereik 0 – 63 μm .
 2. Het overgrote deel van de speciedeeltjes is kleiner dan 16 μm .In dit laatste geval (meer dan 60 % < 16 μm ; hoog lutumgehalte) zijn de ontwateringseigenschappen aanzienlijk slechter omdat deze fractie moeilijk ontwaterd en een relatief grote hoeveelheid toeslagstoffen nodig heeft tijdens het proces. Dit vanwege een relatief groot reactieoppervlak
De fractie tussen 16 en 63 μm heeft geen tot nauwelijks toeslagstoffen nodig voor een efficiënt ontwateringsproces.
- *Zoutgehalte in de specie*
Waterbodems uit een zoute omgeving hebben slechtere ontwateringseigenschappen dan die uit een zoete omgeving. Dit komt door de slechte werking van de polymeren in een zoute omgeving. De polymeren binden in een zoute omgeving niet alleen met de vaste delen, maar ook met de aanwezige zouten.
- *Temperatuur*
De temperatuur beïnvloedt de viscositeit van de toegevoerde specie en daardoor ook de ontwateringseigenschappen
- *Verontreinigingen*
Een specie die verontreinigd is met grote hoeveelheden minerale olie zal slechter ontwateren dan een vergelijkbare specie, verontreinigd met zware metalen.

Nadat het mengsel van polymeren met water is bepaald en voorbereid, kan het worden toegediend aan de baggerspecie. Om het bindingsproces te verbeteren kan aan de baggerspecie wat water worden toegevoegd, vlak voor het toedienen van de flocculant, dit om een betere vermenging te krijgen.

Vullen van de tubes

Het vullen van de Geotube® units vindt plaats na het vermengen van de baggerspecie met het vlokmiddel. Dit vermengen gebeurt een x-aantal meters voor het inspuitspunt. Veelal worden meerdere zakken tegelijkertijd gevuld. Deze zijn dus aangesloten op de aanvoerpijp, zie fig. 12. Tijdens het verplaatsen van de cutterzuiger of omdat de zuiger om andere redenen geen productie levert, kan de aanvoerleiding verlegd worden naar een andere vulopening. Het verwisselen van de vulopening heeft als doel de tube gelijkmatig te vullen met de specie. Zo kan zo efficiënt mogelijk worden omgegaan met de capaciteit van de Geotube® unit.

Nadat de tube bijna volledig gevuld is, wordt door middel van het prikken van gaten in de uiteinden van de zak de waterdruk verlaagd. Dit voorkomt het kapot springen van de Geotube® unit. Tevens kan door over de zak te lopen de baggerspecie beter verdeeld worden, wat weer tot een capaciteitstoename leidt. Als de tube dan volledig gevuld is, wordt deze afgekoppeld van de aanvoerleiding en kan verder worden gegaan met de volgende zak.

Door ontwatering en inklinking van de baggerspecie wordt de onbenutte ruimte in de Geotube® unit groter. Na verloop van tijd kan de aanvoerleiding weer worden aangesloten op de reeds gedeeltelijk gevulde tube; dit om zo de resterende ruimte op te vullen met baggerspecie.



Figuur 12 Vulproces Geotube® unit



Figuur 13 De zak is onder hoge druk opengebarsten

Rijpingsfase

Na het vullen van de Geotube® unit begint de rijpingsfase. De tijdsperiode van deze fase totdat de baggerspecie verwerkt kan worden, is afhankelijk van een aantal factoren. Enkele factoren worden hieronder behandeld:

1. De chemische werking van het vlokmiddel met de baggerspecie is de sleutel tot een optimale ontwatering. Als er wordt gewerkt met polymeren als vlokmiddel is het van belang dat door middel van tests het best toepasbare polymeer wordt gekozen. Hierna is de dosering van groot belang. Een overdosis van polymeren zorgt namelijk voor een negatieve werking van de zak. Er wordt een kleverige massa gevormd wat weer kan leiden tot het dichtslibben van de tube. Dit dichtslibben kan grote gevolgen hebben voor de krachten die op de zak werken. Figuur 13 geeft een situatie weer waar deze krachten te groot werden door een overdosering. Ook is een goede menging van het vlokmiddel met de baggerspecie van groot belang. Dit kan worden behaald door, minimaal 30 minuten voor het tijdstip van inspuiten, het polymeermengsel voor te bereiden in een aparte doseerunit.

De samenstelling van de baggerspecie en de tijdsperiode dat het op de bodem van de watergang heeft gelegen, zijn van invloed op de duur van de rijpingsfase. Zo zal compacte baggerspecie sneller ontwateren dan losse specie.

2. Hoe langer de baggerspecie kan blijven liggen op de opslaglocatie en zo kan drogen na het vulproces, hoe droger het product wordt en hoe meer het volume zal afnemen.

Verwerkingsfase

Na de rijpingsfase volgt de verwerkingsfase. Tijdens deze fase wordt de ontwaterde baggerspecie uiteindelijk verwerkt. Dit verwerken kan in principe op drie verschillende manieren. De volgende verwerkingsmethodes zullen hieronder worden behandeld: verwerken van intacte Geotube®, verwerken van opengesneden Geotube® en verwerken van herbruikbare Geotube®.

Verwerken van intacte Geotube®

Een volledig gevulde zak kan gebruikt worden voor verschillende doeleinden, echter het toepassingsgebied is veelal een kernopbouw voor een kunstwerk met een waterkerende functie. Zo worden de tubes gebruikt voor dammen, dijken en bermen.

Tevens kunnen kunstmatige eilanden voor een oever worden aangelegd. Dit om afkalving van de natuurlijke oever te voorkomen en ter verbetering van de flora en fauna. Een voorbeeld hiervan is gegeven in figuur 14.

Verwerken van opengesneden Geotube®

De baggerspecie die vrijkomt van een opengesneden Geotube® unit kan overal worden hergebruikt, mits deze niet te vervuild is. Door de zak open te snijden, leeg te scheppen en indien nodig op te laden, kan het restant worden verwerkt. Wanneer dit restant ter plaatse benodigd is, kan dit natuurlijk ook. Wat overblijft van het geotextiel kan worden hergebruikt als doek achter bijvoorbeeld beschoeiingen. Onbruikbare stukken van dit doek zullen moeten worden afgevoerd.

Verwerken van herbruikbare Geotube®

Een innovatie binnen het werken met Geotube® is het hergebruiken van de zak. Door een speciale afsluiting te gebruiken in de tube is meervoudig gebruik van de zak mogelijk. Aangezien zeer zorgvuldig omgegaan moet worden met de herbruikbare zak en de afsluiting van deze zak niet altijd 100% dicht te krijgen is, is er op dit vlak nog verbetering gewenst.



Figuur 14 **Boven: “eiland” net na aanleg**
Onder: ongeveer negen maanden later

3.2.3 Dimensioneren Geotube®

Inleiding

Door de verschillende handelingen tijdens het baggerproces met Geotube® te beschrijven aan de hand van de benodigde ruimte, wordt de dimensionering van de werkplek gevormd. Door de totale ruimte die benodigd is voor het werken met Geotube® units te vergelijken met de benodigde ruimte voor het werken met een depot of een mobiele slibontwateringsinstallatie, kan een vergelijking opgesteld worden. Op de onderstaande foto is een werk weergegeven waarbij waterdoorlatende zakken worden gebruikt. Hierbij staat ook de polymeerunit voor het verdikken van de slibfractie. In deze paragraaf zullen de volgende handelingen naar voren komen: de benodigde ruimte voor de polymeerunit en Geotube®.

Polymeerunit

De afmetingen van de polymeerinstallatie zijn zodanig dat een behuizing als een zeecontainer ideaal is. Naast de meng- en doseerinstallaties is er nog voldoende werk- en loopruimte. Hiernaast is er nog ruimte beschikbaar voor opslag van diverse hulpmiddelen. Om optimaal gebruik te kunnen maken van de ruimte is een goede verdeling van belang. De afmetingen van een 20 ft zeecontainer zijn: 6,060 x 2,440 x 2,590 m^l (lxbxh).

Voor het leveren van energie aan de polymeerunit is een aggregaat nodig dat veelal buiten de container geplaatst zal worden in verband met het creëren van een verantwoorde werksituatie. De afmetingen van dit aggregaat zijn te verwaarlozen, ten opzichte van de gehele installatie.

Geotube®

De dimensionering van de Geotube® unit (lengte, diameter, sterkte, doorlatendheid) voor de ontwatering van baggerspecie is variabel en afhankelijk van onder meer de projectgrootte, het debiet van de pomp en de samenstelling van de baggerspecie. De geconfectioneerde tubes zijn gestandaardiseerd te verkrijgen met diameters van 1,5 tot 5,0 m en lengtes tot 100 m. De sterkte en doorlatendheid van het doek kan worden gevarieerd van geotextiel met een zeer doorlatend doek tot een doek dat resulteert in een hoge zanddichtheid.



Figuur 15 Opslaglocatie Geotube® units met bijbehorende polymeerunit

3.2.4 Vergunningstraject

Inleiding

Door het vergunningstraject van het baggeren met behulp van Geotube® in kaart te brengen, kan dit onderdeel vergeleken worden met de andere verwerkingstechnieken. Omdat voor het werken met Geotube® units geen vergunningen nodig zijn, is deze methode uiterst interessant voor het onderzoek. Hieronder zijn de twee belangrijkste vergunningsprocedures met betrekking tot baggerverwerking beschreven: Wvo-vergunning en Wm-vergunning. Van beide vergunningen is een samenvatting gegeven en de eventuele toepassing op Geotube®.

Wvo-vergunning

Algemeen

De Wet verontreiniging oppervlaktewater (Wvo) is de aangewezen wet bij verontreiniging van het oppervlaktewater of bij een vermoeden daarvan. Het doel van de Wvo is het oppervlaktewater te beschermen tegen verontreiniging. Daarom is het verboden om zonder vergunning afvalstoffen, verontreinigende of schadelijke stoffen (in welke vorm dan ook) in het oppervlaktewater te lozen.

De Wvo maakt onderscheid tussen:

- rechtstreekse lozingen (direct in het oppervlaktewater) en indirecte lozingen, zoals lozingen op de gemeentelijke riolering;
- lozingen via een 'werk' zoals via een pijp of buis of op andere wijze, zoals vanaf een vrachtwagen.

Rechtstreekse lozingen, al dan niet via een werk, vallen onder de Wvo.

Indirecte lozingen op het gemeentelijk riool vallen grotendeels onder de Wet milieubeheer. Een aantal met gevaarlijke stoffen werkende bedrijfscategorieën zijn hiervan uitgezonderd en vallen wel onder de Wvo.

In een lozingsvergunning op grond van de Wvo wordt beschreven wat er geloosd mag worden (aard en hoeveelheid van de stoffen) en onder welke voorwaarden (de vergunningsvoorschriften) dit mag.

Aan een Wvo-vergunning zijn voorschriften verbonden waar een bedrijf aan moet voldoen. Anders dan bij een vergunning volgens de Wet milieubeheer (Wm), waar de gemeente of de provincie het bevoegd gezag is, is het lokale waterkwaliteitsbeherende waterschap verantwoordelijk voor de vergunningverlening en handhaving in het kader van een Wvo-vergunning.

Toepassing bij Geotube®

Volgens artikel 1 Wvo is het niet toegestaan zonder vergunning afvalstoffen, verontreinigende of schadelijke stoffen, in welke vorm ook, te lozen in oppervlaktewateren. Hieronder valt het baggeren in haar algemeenheid, dit in verband met eventueel morsen van de specie tijdens het baggerproces.

Omdat een vergunningsaanvraag door de proceduretijd, de planning van een baggerproject onnodig verlengt, is vanuit de praktijk gesteld dat het baggeren zelf niet Wvo-vergunningsplichtig is. Het effluent van de Geotube® units wordt gezien als schoon en bevat geen schadelijke stoffen. Hierdoor komt ook de vergunningsplicht voor het gebruik van Geotube® te vervallen.

Wm-vergunningAlgemeen

De Wet milieubeheer is op 1 januari 1993 ontstaan uit de Wet algemene bepalingen milieuhygiëne (Wabm). De Wm is een raamwet; hierin staan algemene regels. In de Wm zijn de gemeenschappelijke elementen van een aantal milieuwetten samengevoegd. De Hinderwet is bij het van kracht worden van de Wm vervallen. Belangrijke hoofdstukken uit de Wm zijn de milieuplannen en -programma's, milieukwaliteitseisen, inrichtingen, afvalstoffen en procedures.

Een belangrijke basis voor de Wet milieubeheer is dat iedereen die weet of kan vermoeden dat zijn of haar gedrag nadelige gevolgen kan hebben voor het milieu, verplicht is dergelijk handelen achterwege te laten of maatregelen te nemen die de gevolgen zoveel mogelijk beperken of ongedaan maken.

Uitvoeringsbesluiten

Meer specifieke bepalingen staan in zogenaamde uitvoeringsbesluiten. Een dergelijk besluit, in officiële termen een Algemene Maatregel van Bestuur (AMvB), kan gericht zijn op:

- categorieën inrichtingen (zoals het Besluit woon- en verblijfsgebouwen Wm);
- milieukwaliteitseisen (zoals het Besluit emissie-eisen stookinstallaties Wm; BEES);
- processen (zoals het Besluit opslaan in ondergrondse tanks; BOOT).

Het belangrijkste uitvoeringsbesluit op basis van de Wm is het Inrichtingen- en vergunningenbesluit Wm (Ivb). In dit besluit staat aangegeven welke inrichtingen onder de Wm vallen en welke van deze inrichtingen een vergunning moeten hebben, de zogenaamde milieubeheervergunning, vaak kortweg (maar wel foutief!) een milieuvergunning genoemd.

Toepassing bij Geotube®

Voor een baggerwerk met behulp van Geotube® hoeft in principe geen melding te worden gedaan op grond van de Wet milieubeheer. Om deze vrijstelling te verkrijgen moet wel aan een aantal voorwaarden worden voldaan. De belangrijkste voorwaarde van deze vrijstelling is een maximale tijdsduur van zes maanden van de werkzaamheden. Tevens worden er enkele eisen gesteld aan een eventuele wal rondom de tubes:

- De wal moet worden opgeworpen met perceeleigen grond.
- De wal mag maximaal 30 cm hoog zijn, gerekend vanaf onderkant Geotube®.
- De wal moet evenwijdig aan de watergang worden aangelegd.
- De locatie moet na zes maanden weer beschikbaar zijn voor het oorspronkelijke bodemgebruik.

Een voorbeeld van een dergelijke wal is gegeven op de onderstaande foto. Hierin is het 'bed' van de zak goed zichtbaar. De wallen zorgen ervoor dat het vrijkomende water naar een vast lozingspunt wordt gevoerd. Op de voorgrond van de foto zijn enkele nog opgerolde Geotube® zakken zichtbaar.



Figuur 16 Toekomstige locatie voor waterdoorlatende zakken

3.2.5 Milieueffecten

In deze paragraaf worden de volgende onderwerpen behandeld: de milieuverdiensite van de verwerkingstechniek, het energieverbruik, emissies, hinder en restproducten.

Milieuverdiensite

De belangrijkste milieuverdiensite voor de behandeling van verontreinigde baggerspecie bij het gebruik van Geotube® is de reductie van het volume (verontreinigde) specie. Door deze reductie kan het ruimtebeslag bij de definitieve opslag beperkt worden.

Bij niet of nauwelijks verontreinigde baggerspecie zorgt het gebruik van Geotube® voor een steekvast product dat op korte termijn voor verschillende doeleinden gebruikt kan worden.

Energieverbruik

Voor het bepalen van het energieverbruik (MJ) wordt de som genomen van de volgende energiestromen: procesenergie (inclusief energie-inhoud toeslagstoffen), transportenergie baggerspecie, transportenergie afval en transportenergie producten.

Het energieverbruik bij ontwateren met Geotube® is vrij laag; er is wat energie nodig om het proces te voltooien en daarnaast wat energie om het product te verwerken. Door een flocculant toe te dienen wordt het energieverbruik, benodigd voor het proces, vergroot. Voor het aandrijven van de pompen en de polymeerunit is ook elektriciteit nodig. De energie die nodig is voor het verwerken van het product is toe te schrijven aan de hydraulische kranen die de ontwaterde specie zullen verwijderen.

Er zijn geen concrete gegevens beschikbaar over het precieze energieverbruik. Vermoedelijk ligt het verbruik tussen de 2 en 4 MJ/tds (ton droge stof). Het verbruik ligt in ieder geval veel lager dan bij de mechanische ontwateringstechnieken.

Hinder

De oorzaken van hinder zijn verdeeld in overlast door middel van geur en geluid. Stankoverlast bij het gebruik van Geotube® zal gering zijn. De geur is afhankelijk van de aard en concentratie van de aanwezige verontreinigingen.

Geluidsoverlast kan optreden bij het aan- en afvoeren van de baggerspecie, het geluid van de pompen bij de aanvoer en het geluid van hydraulische kranen bij de afvoer.

Restproducten

Na behandeling van de baggerspecie met Geotube® zijn er in principe twee mogelijke restproducten: verontreinigde ontwaterde baggerspecie en schone ontwaterde baggerspecie. Voor eerstgenoemde is hergebruik vanzelfsprekend moeilijker toe te passen dan voor de schone baggerspecie. Echter voor beide soorten baggerspecie is hergebruik mogelijk, dit dan wel tot een bepaalde verontreinigingsgraad.

Emissies

Met emissies wordt het uitstoten van vaste, vloeibare of gasvormige stoffen, die een verontreiniging bevatten, naar de omgeving bedoeld. De emissies zijn onderverdeeld in emissies naar bodem, naar oppervlaktewater en naar lucht.

Emissie naar bodem

De emissie van water is vrijwel de enige uitstoot die belangrijk genoeg is om te monitoren. De emissie naar bodem is dan vooral gericht op het vermengen van het vrijkomende water met het grondwater. Zonder een bodembescherming kan het uitgeperste water infiltreren in de bodem en in aanraking komen met het grondwater. Door een ondoorlatende kleibodem of een folie toe te passen kan dit probleem voorkomen worden. Zo wordt het vrijkomende water verzameld en kan het bemonsterd worden voordat het geloosd wordt.

Emissie naar oppervlaktewater

Doordat het effluent (vloeibare reststoffen) nog verontreinigde zwevende stofdeeltjes kan bevatten, kan vervuiling van het milieu ontstaan door rechtstreekse lozing op het oppervlaktewater. Het geotextiel van de tube zal deze zwevende deeltjes grotendeels tegenhouden, maar het restant moet bemonsterd worden om zekerheid te verkrijgen. Figuur 17 is een voorbeeld van een lozingspunt waar deze bemonstering plaats kan vinden.

Bij een te hoge concentratie stofdeeltjes in het effluent kunnen zandfilters en/of actieve koolfilters zorgen voor een verdere zuivering. Hiernaast kan biologische zuivering nodig zijn om aanwezige nutriënten te verwijderen.



Figuur 17 Emissie van effluent naar oppervlaktewater

Emissie naar lucht

Bij het gebruik van Geotube® is de emissie naar lucht zeer beperkt. Doordat de baggerspecie vloeibaar wordt aangevoerd is er namelijk geen verstuiwing mogelijk. De hoeveelheid die ontstaat door verdamping van het effluent mag verwaarloosd worden.

3.2.6 Kosten opslag en verwerking

Het is niet erg eenvoudig om kosten van opslag en verwerking bij het gebruik van Geotube® units te berekenen. De kosten zijn erg projectgevoelig en informatie is moeilijk te vinden. Hieronder zijn enkele waarden gegeven die zijn bepaald aan de hand van ervaringen en vuistregels.

Op basis van de ervaringen in Nederland kunnen de ontwateringskosten met behulp van Geotube® geraamd worden op 14 tot 17 €/tds (tds = ton droge stof), inclusief de kosten voor terreininrichting, handelings- en materiaalkosten en exclusief waterzuivering. Omgerekend in euro's per kubieke meter wordt gerekend met de volgende factoren: voor zandrijk specie geldt 1 tds = 1,18 m³ en voor specie met een hoog lutumgehalte geldt 1 tds = 1,89 m³. Met gebruik van deze factoren wordt een prijs per kuub gevormd: 7 tot 14 €/m³.

De hierboven genoemde prijs komt aardig overeen met de budgetprijs die Geotube® leverancier: TenCate Geosynthetics als vuistregel hanteert: 10 €/ m³ontwaterd slib. Deze prijs is exclusief een eventueel toe te passen flocculant (tussen de 0,50 en 2,50 €/ m³ ontwaterd slib, afhankelijk van type slib) en de kosten voor het baggeren en verwijderen van het slib.

3.2.7 Toepassingsgebied

De Geotube® unit is technisch toepasbaar voor de ontwatering van elk type specie. Slibrijke specie zal evenwel trager ontwateren dan zandrijke specie. De snelheid van dit ontwateren kan worden gestuurd door de doorlatendheid van het geotextiel te variëren.

Om een eindproduct te verkrijgen met een aanvaardbare verontreinigingsgraad, is het noodzakelijk dat de toegevoerde baggerspecie voldoet aan de minimale milieueisen. Dit is van belang aangezien de bewerking zich alleen richt op het watergehalte en de steekvastheid van de specie.

Zoals eerder al genoemd is, kan het restproduct gebruikt worden op verschillende manieren. Ook hier geldt echter dat de milieukarakteristieken van de toegevoerde baggerspecie aanvaardbaar moeten zijn.

De voordelen van Geotube®, volgens de leverancier, ten opzichte van de conventionele ontwateringstechnieken met betrekking tot toepasbaarheid zijn:

- De methode is goedkoop.
- Het is energie- en milieuvriendelijk.
- Er kan beschikt worden over een grote verwerkingscapaciteit (geen stagnatie van het baggerproces).
- Het is eenvoudig aan te voeren en op te bouwen.
- De tubes zijn robuust en bestand tegen mechanische schade, wat een hoge levensverwachting geeft.

Voor wat betreft de omgeving is de toepasbaarheid van Geotube® erg ruim. Landelijk en stedelijk gebied zijn beide geschikt om een project met Geotube® uit te voeren. Dit met de aantekening dat er wel een minimale oppervlakte beschikbaar moet zijn voor de tubes en werkruimte. De foto hieronder is gemaakt op een parkeerplaats in de plaats Hardenberg.



Figuur 18 Werk in het centrum van Hardenberg

3.3 Mobiele slibontwatering

3.3.1 Inleiding

Naast de eerder behandelde baggerverwerkingstechnieken, traditioneel depot en Geotube®, is mobiele slibontwatering een vrij nieuwe techniek om baggerspecie te verwerken. Bij een traditioneel depot en Geotube® units ligt de nadruk vooral op het ontwateren van de baggerspecie. Dit is bij mobiele slibontwatering ook het geval. Echter hierbij is ook scheiding van de specie mogelijk. Door de baggerspecie voordat deze ontwaterd wordt te ontdoen van de eventueel aanwezige zandfractie en puin, kunnen enkele voordelen worden behaald. Naast deze voordelen is het ontdoen van grove fracties uit de baggerspecie veelal een vereiste voor de levensduur van de machines.

Het scheiden van de zandfractie uit de specie kan via verschillende technieken, die verderop in deze paragraaf behandeld worden.

Verder zullen de volgende onderwerpen aan bod komen: procesbeschrijving en verwerking baggerspecie, dimensionering, vergunningstraject, milieueffecten, kosten van opslag en verwerking en toepassingsgebied.



Figuur 19 Opstelling van een mobiele slibontwateringsinstallatie met scheidingsmogelijkheden

3.3.2 Procesbeschrijving m.b.t. de verwerking van baggerspecie

Het proces bestaat uit de volgende fases: voorbehandeling van de baggerspecie, scheiden van de grove fracties uit het mengsel, ontwateren van het slibrestant en de nabehandeling van de producten en reststoffen.

Voorbehandeling

Tijdens de voorbehandeling wordt de aangevoerde baggerspecie voorbereid voor de scheidingsfase in het verwerkingsproces. De volgende eisen worden aan de baggerspecie gesteld, voordat deze ontdaan kan worden van de zandfractie door middel van hydrocyclonage.

- De baggerspecie moet hydraulisch worden aangevoerd met een percentage vaste delen van 15 tot 25 %.
- Er moet een constante toevoer zijn van de baggerspecie.
- Deeltjes groter dan 5000 μm moeten worden verwijderd uit het mengsel, zie fig 20.
- De samenhang tussen verschillende deeltjes moet worden verbroken (desaggregatie).

De volgende aspecten kunnen helpen om aan de bovenstaande eisen te voldoen:

- Om het vereiste percentage vaste delen te behalen kan slibverdunding noodzakelijk zijn.
- Een constante toevoer van baggerspecie kan worden gerealiseerd door verdunning en homogenisering van het mengsel in een buffer.
- Door een voorafgaande zeving van de aangevoerde baggerspecie wordt vermeden dat grove deeltjes in de hydrocycloon terechtkomen.
- Desaggregatie heeft veelal plaatsgevonden tijdens het verpompen en het zeven van de specie, echter toepassing van de volgende specifieke technieken kan noodzakelijk zijn: was- en schuurtrommels, mengvaten of hoge druk waterstralen.



Figuur 20 Doseerbak van een natte schudzeef voor het verwijderen grove fracties

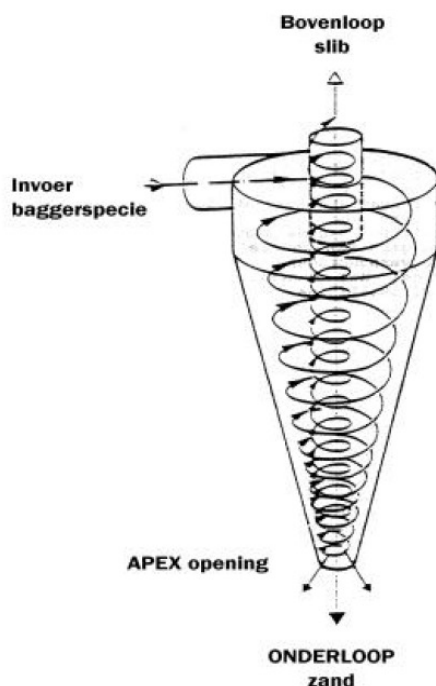
Scheidingsfase

Doordat verontreinigingen meestal aan slibdeeltjes gebonden zijn, is de zandfractie relatief schoon. Door het zand en het slib van elkaar te scheiden wordt een herbruikbare zandfractie en een eventueel verontreinigde slibfractie verkregen. Het scheiden van de baggerspecie in een grove en fijne fractie op basis van deeltjesgrootte en dichtheid gebeurt in een hydrocycloon.

Werking

Een hydrocycloon is een conische cilinder die naar onderen taps toe vernauwt. (Fig. 21) Boven aan de cycloon zit een opening waardoor de baggerspecie zodanig wordt ingespoten zodat een bepaalde stroming ontstaat. Verder zit er aan de boven- en onderkant van de cycloon een afvoeropening. De opening aan de bovenzijde is bedoeld voor de afvoer van de fijnere deeltjes en de opening aan de onderzijde is voor de grove fracties.

Wanneer de voorbehandelde baggerspecie in de hydrocycloon wordt gepompt ontstaat er een neerwaartse spiraalvormige stroming tegen de buitenwand. In de kern van de cycloon ontstaat door de neerwaartse spiraalvormige beweging een naar bovengerichte vortexbeweging. De grovere deeltjes worden door de centrifugale kracht tegen de buitenwand in de neerwaartse spiraalvormige beweging opgenomen en zo afgevoerd aan de onderzijde van de hydrocycloon (onderloop). De lichtere deeltjes en het grootste deel van het proceswater blijven zweven en worden via de vortexbeweging aan de bovenzijde afgevoerd (overloop). Op deze manier is de zandfractie grotendeels verwijderd uit de baggerspecie. Deze kan vervolgens worden hergebruikt als bouwstof (na eventuele reiniging).



Figuur 21 Schematisering van de werking van een hydrocycloon

Scheidingsresultaten

De minimale korrelgrootte van de zandfractie die via de onderloop uit de hydrocycloon komt, wordt bepaald door de scheidingsdiameter (D_{50}). Deze scheidingsdiameter wordt gedefinieerd als de diameter van een deeltje dat gelijke kansen heeft om via de onderloop of via de overloop de cycloon te verlaten. De scheidingsdiameter van de hydrocycloon kan variëren van 10 tot 250 μm en is theoretisch te bepalen aan de hand van de onderstaande formule.

$$d_{50} = \frac{0,003 D^{0,46} D_i^{0,6} D_o^{1,2} e^{6,3 C_v}}{D_u^{0,7} h^{0,38} Q_v^{0,45} (\rho_s - \rho)^{0,5}}$$

Formule 1 Vergelijking voor het bepalen van de scheidingsdiameter d_{50}

In deze formule is:	C_v	=	concentratie vaste deeltjes
	D	=	inwendige cycloondiameter
	D_i	=	diameter inlaat
	D_o	=	diameter overloop
	D_u	=	diameter onderloop
	h	=	hoogteverschil overloop – onderloop
	Q_v	=	capaciteit cycloon
	ρ	=	dichtheid van het medium
	ρ_s	=	dichtheid van de deeltjes

In de praktijk wordt voor het verwijderen van de zandfractie uit verontreinigde baggerspecie voor een scheidingsdiameter van 63 μm gekozen (korrelgrootte zand: 63 μm tot 2 mm).

Door het verschijnsel “misplacement” (percentage droge stof dat verkeerd gescheiden is) is het rendement van de scheiding niet volledig. Het scheidingsrendement van zand wordt als volgt gedefinieerd:

$$\text{scheidingsrendement}[\text{zand}](\%) = \frac{\text{massa}_{63-2000\mu\text{m}}(\text{output overloop})}{\text{massa}_{63-2000\mu\text{m}}(\text{input cycloon})}$$

Formule 2 Formule voor het bepalen van het scheidingsrendement

Ontwateringsfase

De ontwatering van het restant na de behandeling van de hydrocycloon, kan gebeuren met behulp van verschillende mechanische ontwateringstechnieken. De volgende technieken zullen beurtelings behandeld worden: kamerfilterpers, zeefbandfilterpers en decanteercentrifuge. Tevens zal de voorbehandeling worden beschreven die voor alle drie technieken hetzelfde resultaat zal hebben.

Voorbehandeling

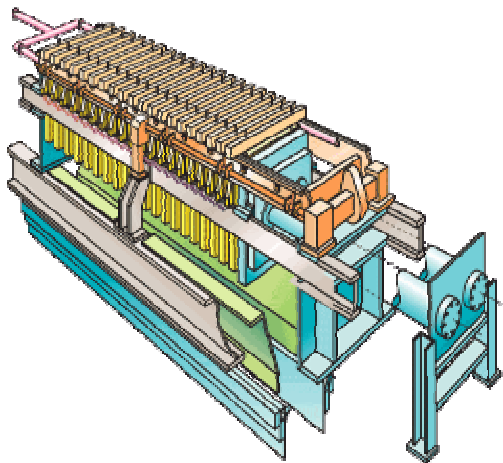
Voordat de baggerspecie mechanisch zal worden ontwaterd, wordt deze ingedikt met behulp van een vlokmiddel. Door poly-electrolieten (PE) toe te voegen aan het mengsel zullen door middel van sedimentatie de kleine slibdeeltjes samenklitten (flocculatie). Verdere informatie over het toevoegen van vlokmiddelen en de werking daarvan is te vinden in *paragraaf 3.2: Geotube®*.

Kamerfilterpers

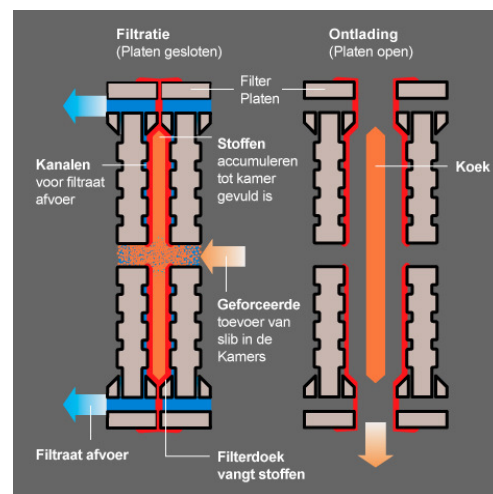
Een mechanische methode om baggerspecie te ontwateren is de methode waarbij een kamerfilterpers gebruikt wordt (Fig. 22 en 23). Deze pers bestaat uit een aantal gesloten kamers die gevormd worden door vierkante platen met een verdikte rand. De filterkamers zijn aan beide zijden voorzien van filterdoek. Dit doek heeft een filterende werking op de baggerspecie waarbij alleen het effluent (uittredende water) wordt doorgelaten.

Door de kamers onder hoge druk te vullen met baggerspecie wordt de ontwatering in gang gezet. Vervolgens worden de kamers met een druk van ongeveer 300 bar tegen elkaar gedrukt. De perstijd kan variëren van een kwartier tot drie uur, afhankelijk van het soort slib, het gewenste percentage vaste delen en het volume van de pers. Na het persen worden de kamers geopend en valt de gevormde slibkoek uit de filterkamer en is de kamer klaar voor een nieuwe cyclus.

Een variant op de kamerfilterpers is de membraanfilterpers. Het verschil met een kamerfilterpers zit in de aanwezigheid van een elastisch membraan. Dit membraan wordt na het sluiten van de kamer gevuld met water. Hierdoor zal het volume in de kamer afnemen. Doordat het met water gevulde membraan drukt op de in de kamer aanwezige baggerspecie, zal de ontwatering versneld plaatsvinden. Het gevolg is een reductie van de perstijd en een toename van het percentage vaste delen.



Figuur 22 Schets van kamerfilterpers



Figuur 23 Werking kamerfilterpers

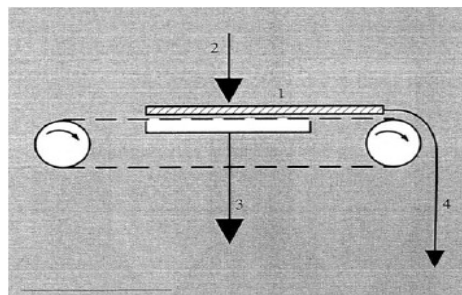
Zeebandfilterpers

De mechanische ontwatering met een zeebandpers wordt uitgevoerd met behulp van twee parallel geplaatste transportbanden, zie figuur 24 en 25. Een van de banden zal poreus zijn en bestaan uit filterdoek. Vaak is dit de ondergelegen transportband. Door het toepassen van drukrollen worden beide banden tegen elkaar geperst.

Voordat het mengsel ontwaterd kan worden door de zeebandpers moet de baggerspecie zodanig ontwaterd zijn dat het pasteus te noemen is. Dit voorkomt het zijdelings uitpersen van de specie tussen de beide transportbanden. Deze voorontwatering zal plaatsvinden door het toedienen van een vlokmiddel. Tijdens het uiteindelijke ontwateren van de baggerspecie in de zeebandfilterpers zijn er druk- en wrijvingskrachten aanwezig. De drukkrachten ontstaan door het reduceren van de afstand tussen de beide transportbanden. De wrijvingskracht is het gevolg van een slangvormige beweging van de transportbanden door het effectief plaatsen van de druk- en steunrollen. Nadat de baggerspecie door de gehele installatie is verwerkt, wordt het ontwaterde slib van de band geschraapt. Om verstoppingen in de zeeband te voorkomen wordt de band continu gewassen. (Fig 25: schematische weergave: 1.) filterkoek op poreus doek 2.) aanvoer baggerspecie 3.) afvoer water 4.) afvoer ontwaterd slib)



Figuur 24 Zeebandfilterpers



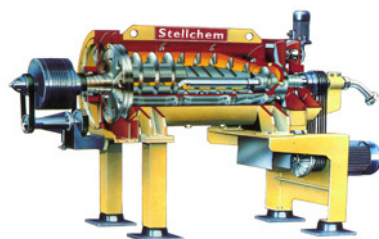
Figuur 25 Schematische weergave zeebandfilterpers

Decanteercentrifuge

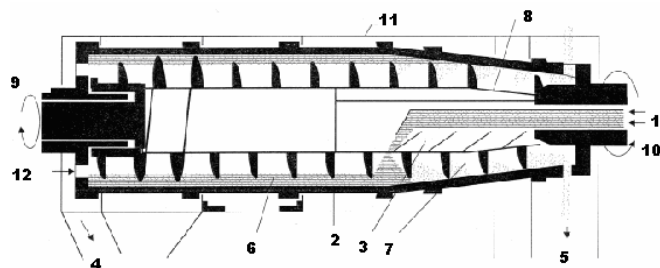
Door gebruik te maken van centrifugale krachten wordt in de decanteercentrifuge de baggerspecie ontwaterd. De centrifuge bestaat uit een roterende mantel met daarin een roterende transportschroef. De mantel bestaat uit een cilindrisch en een conisch gedeelte en draait in dezelfde richting als de transportschroef. Net als bij de hydrocycloon heeft de decanteercentrifuge twee uitgangen, één voor het slibwater en de ander voor de deeltjes.

Door het te ontwateren slib in de kern van de draaiende mantel in te brengen start het ontwateringsproces. Onder invloed van de centrifugale kracht treedt er een scheiding op tussen de vaste en vloeibare stof. Dit proces is goed te zien op de onderstaande afbeeldingen. De slibdeeltjes zullen zich naar de buitenkant van de mantel begeven en zo worden afgevoerd door de transportschroef. Het slibwater en de fijnere slibdeeltjes zullen via de kern van de mantel naar het andere uiteinde worden gezogen. Hier zal, afhankelijk van het vloeistofniveau, het slibwater via een overstort de centrifuge verlaten.

Het percentage vaste delen van het ontwaterde slib is te beïnvloeden aan de hand van het toerental van de centrifuge en de duur van de verblijftijd. De verblijftijd van het slibwater in de decanteercentrifuge is te regelen door het vloeistofniveau te laten fluctueren met behulp van een verstelbare overstort.



Figuur 26 Decanteercentrifuge



Figuur 27 Decanteercentrifuge (bron: Schalling, 1992)

1. voeding, 2. trommel, 3. voedingspijp, 4. uitlaat dunne fractie,
5. uitlaat dikke fractie, 6. vloeistof- en scheidingszone,
7. droogzone of drainagezone, 8. transportschroef,
9. aandrijving van transportschroef, 10. hoofdaandrijving,
11. omkapping, 12. instelbare vloeistof-overstortrand.

Nabehandeling reststoffen

Na behandeling van de baggerspecie in de scheiding- en ontwateringsfase zijn er drie materiaalstromen over; de zandfractie, de slibfractie en het vrijkomend water (effluent).

Afhankelijk van het slibgehalte in de zandfractie kan de fractie direct na het ontwateren worden hergebruikt als bouwstof. Dit ontwateren kan vrij eenvoudig gerealiseerd worden gezien de hoge doorlatendheid van zand. Bij een te hoog slibgehalte in de zandfractie om het te klasseren als bouwstof categorie 1 zal de fractie een nascheiding moeten ondergaan. Deze nascheiding is mogelijk met behulp van een tweede cyclus in de hydrocycloon. Na deze eventuele tweede hydrocyclonage is de vrijkomende zandfractie, na ontwatering, geschikt als bouwstof voor alle doeleinden, afhankelijk van de zandeigenschappen.

De vrijkomende slibfractie na hydrocyclonage moet nog worden ontwaterd om enerzijds de storkosten zo laag mogelijk te houden en anderzijds een steekvaste bouwstof te verkrijgen. Deze ontwatering kan plaatsvinden in een mechanische ontwateringsinstallatie die gebruik maakt van een kamerfilterpers, een zeeffandpers of een decanteercentrifuge. Het overgebleven eindmateriaal is slib dat ontwaterd is en een droge stofgehalte heeft van 15 tot 35 %. Dit percentage is afhankelijk van de methode van mechanisch ontwateren, het organisch gehalte van de slibfractie, de dosering van het flocculant etc.

Afhankelijk van de verontreiniging van de slibfractie kan het eindmateriaal worden hergebruikt. Bij geen verontreiniging is toepassing als bouwstof categorie 1 mogelijk, wanneer er wel sprake is van verontreiniging zijn de opties storten en thermisch immobiliseren. De optie thermische immobilisatie zal worden verduidelijkt in de paragraaf Thermische immobilisatie.

Het effluent dat vrijkomt na behandeling van de slibfractie wordt veelal geloosd, al dan niet na een zuiveringsproces. Een deel van het effluent zal worden hergebruikt bij het scheiding- en ontwateringsproces. Hiervoor en voor lozing op het oppervlaktewater is een zuivering van het effluent gewenst. Deze zuivering houdt in: een reductie van het zwevende stofgehalte, het terugbrengen van de aanwezigheid van een deel van de toeslagstoffen (PE) en een reductie op de concentratie zware metalen in het effluent. Het onderstaande figuur geeft een voorbeeld van een grote hoeveelheid zwevende deeltjes in het effluent.



Figuur 28 Watergang waarin onbehandeld effluent is geloosd

Thermische immobilisatie

Slib dat de ontwateringsinstallatie verlaat kan zoals in het boomdiagram (zie bijlage VI) te zien is op diverse manieren worden hergebruikt of verwerkt; één daarvan is thermische immobilisatie (TI).

TI wordt toegepast wanneer het restproduct niet vrij kan worden verwerkt (bouwstof categorie 2). Om er voor te zorgen dat vervuild slib alsnog toepasbaar is en niet permanent gestort hoeft te worden, zijn er een aantal methoden ontwikkeld die dit mogelijk maken. Immobilisatie van slib heeft dus als uitgangspunt dat het na behandeling vrij toepasbaar is (bouwstof categorie 1) in bouwkundige projecten. Een eis voor stoffen in deze categorie is dat uitloging niet meer plaatsvindt wanneer de stoffen in contact komen met grond- of oppervlaktewater.

Het Bouwstoffenbesluit (Bsb) stelt regels voor het gebruik van steenachtige bouwstoffen, zoals asfalt, bitumineuze dakbedekkingen, baggerspecie, dakpannen, tegels, nieuwe bakstenen en beton- en menggranulaat, - die in contact kunnen komen met regen-, grond- of oppervlaktewater.

Ministerie van VROM

Vervloeiing van baggerslib

Bij de techniek thermische immobilisatie gaat het er om dat de slibdeeltjes zo verhit worden dat ze smelten. Het smelten van de deeltjes vindt plaats bij temperaturen boven de 1400 °C. Temperatuurcontrole is van belang omdat bij lagere waarden alleen die deeltjes smelten die een laag smeltpunt hebben. Wanneer de temperatuur niet hoog genoeg is zal een glazig oppervlak ontstaan. Hierdoor neemt het wateropnemend vermogen af maar zal toch nog uitloging plaats kunnen vinden van de aanwezige verontreiniging.

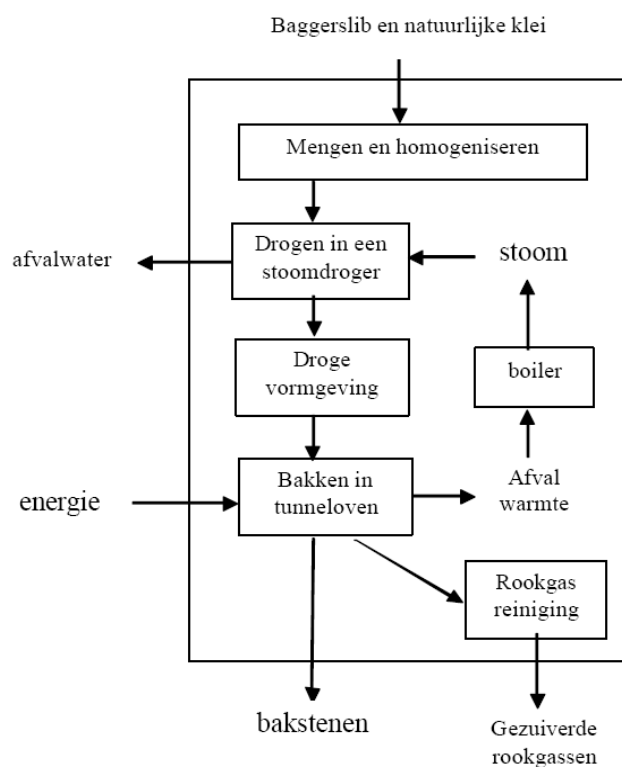
De hoge temperaturen die bij TI plaatsvinden zorgen voor een vervloeiing van alle aanwezige deeltjes; er ontstaat zogenaamd "lava", dat uit de oven afgetapt kan worden.

Wanneer het vloeibare slib stolt wordt de verontreiniging ingesloten in een kristalstructuur en ontstaat een situatie waarbij uitloging uitgesloten is. Door dit feit dat uitloging uitgesloten is kan het product (bouwstof) vrij toegepast worden in onder andere de wegenbouw (fundering) en de betonindustrie (toeslagstof).

Productieproces

Het immobilisatieproces vindt op de volgende wijze plaats. Het aangevoerde slib wordt gemengd: organisch rijk slib wordt gemengd met organisch arm slib. Een goede menging is noodzakelijk om het productieproces draaiende te houden. Het organische materiaal is de brandstof tijdens het gehele proces. Na menging wordt het slib gedroogd op een zeefbandpers (zie kopje Ontwateringsfase). Wanneer het slib een drogestof percentage heeft van 70 à 80%, ontstaat een korrelstructuur. De korrels worden in een oven binnen korte tijd verhit tot meer dan 1400 °C. De organische bestanddelen verbranden snel en volledig en de warmte die bij dit proces vrijkomt houdt het gehele proces in stand. De minerale bestanddelen smelten en verzamelen zich in de onderzijde van de oven. De gesmolten mineralen worden afgetapt en vormen na afkoeling een soort basalt voorzien van een onuitloegbare kristalstructuur.

De gassen die vrijkomen bij het proces bestaan onder andere uit zware metaaldampen. De dampen worden gereinigd voordat ze in de atmosfeer verdwijnen. De gassen bevatten grote hoeveelheden waterdamp die door middel van een luchtwasser wordt verwijderd. De zware metalen die zich in de gassen bevonden, bevinden zich nu in water. De verontreinigingen worden hieruit gefilterd en toegevoegd aan het te verwerken slib. De resterende verontreinigingen worden via een elektrostatische behandeling verwijderd. Ook deze delen worden in het slib verwerkt. In het onderstaande schema is het proces van thermische immobilisatie naar de productie van bakstenen weergegeven. In dit figuur is het gebruik van de vrijkomende warmte goed zichtbaar.



Figuur 29 Procesbeschrijving thermische immobilisatie (bron: Hamar en Karius, (2002))

3.3.3 Dimensioneren mobiele slibontwatering

Door de dimensionering van een mobiel slibontwateringssysteem met scheidingsmogelijkheden te beschrijven, kan een vergelijking worden gemaakt met de eerder beschreven ontwateringstechnieken. De dimensionering van de mobiele slibontwatering wordt beschreven aan de hand van de scheidingsfase en de ontwateringsfase.

Scheidingsysteem

Afhankelijk van de hoeveelheid hydrocyclonen, is ongeveer 500 m² werkruimte nodig voor het scheiden en ontwateren van baggerspecie. Hierbij is uitgegaan van één hydrocyclonage systeem met de daarbij horende transport en verwerkingsbenodigdheden. Hiernaast is er ook nog ruimte voor een klein depot voor de gefiltreerde zandfractie.

Voor de afvoer van deze zandfractie is voldoende ruimte nodig voor de transportmiddelen om op de werkplek te komen en te laden. Ook zal een eventuele laadschop voldoende ruimte moeten hebben om de zandfractie te verwerken en eventueel te laden.

Ontwateringssysteem

De afmetingen van het ontwateringssysteem zijn afhankelijk van de methode van ontwateren van de baggerspecie. Echter bij alle drie manieren van mechanische ontwatering; kamerfilterpers, zeefbandpers en decanteercentrifuge, is de benodigde ruimte veel kleiner dan bij ontwatering door middel van traditioneel depot of Geotube®. Figuur 30 geeft een indruk van een opstelling voor het scheiden van de zandfractie uit het slib en vervolgens de ontwatering hiervan. Net als bij de scheidingsfase is de benodigde oppervlakte afhankelijk van een eventueel depot. De oppervlakte hiervan kan variëren van geen depot tot 10.000 m². Bij verwerking van de baggerspecie zonder depot wordt de ontwaterde specie direct geladen en vervoerd per as of beunbak. Er kan ook gebruik worden gemaakt van een tijdelijk depot van enkele dagen. Dit zorgt voor een hoger percentage vaste delen in de specie. Het mag duidelijk zijn dat zo'n depot niet overal toepasbaar is, vooral bij toepassing van het systeem in stedelijk gebied.



Figuur 30 Opstelling ontwateringsinstallatie in combinatie met hydrocyclonage

3.3.4 Vergunningstraject

Inleiding

De vergunningsprocedure voor een mobiele slibontwatering wijkt in eerste instantie niet af van de eerder beschreven methoden “tijdelijk depot en Geotube®”. Er zijn echter een aantal aandachtspunten die van belang kunnen zijn.

Bij het installeren van een mobiele slibontwatering gaan wij ervan uit dat dit veelal in stedelijk gebied plaatsvindt. Omdat wij ervan uit gaan dat er bebouwing rondom de installatie aanwezig is, gelden nog een aantal vergunningen met betrekking tot geluids- en geuremissie.

Als voorbeeld behandelen wij een project dat plaatsvindt in de gemeente Ravenstein, en wordt uitgevoerd door de Combinatie Stadsgrachten Ravenstein V.O.F. Dit is een combinatie van firma Kurstjens BV en GMB Milieuwerken BV (Wij hebben dit project bezocht voor het onderzoek).

Korte beschrijving project

Het project omvat de volgende werkzaamheden. Het werk bestaat uit baggerwerkzaamheden in de stadsgracht, dat wordt uitgevoerd door een cutterzuiger. Het gebaggerde materiaal wordt door middel van transportleidingen door de stad gevoerd richting een mobiele slibontwatering die op een kade langs de Maas is gesitueerd.

Gemeente

De gemeente speelt (ook in andere gevallen) een geringe rol. Vergunningsaanvragen gaan meestal via provincie of waterschap, zo ook in dit geval. De gemeente is wel een belangrijke schakel bij het informeren en betrekken van bewoners bij het project. Naast vergunningen is begrip en medewerking van omwonenden zeer belangrijk. Zij kunnen ervoor zorgen dat een project soepel of juist traag verloopt.

Waterschap

Zoals aangegeven in paragraaf 3.1: “Traditionele opslag”, dient een tekening te worden ingestuurd met de opzet van de installatie en het ruimtebeslag. Tevens dienen de in- en uitstroompunten te zijn weer gegeven. Het waterschap controleert tijdens de werkzaamheden of er volgens het Definitief Ontwerp wordt gewerkt.

In het beschreven project is een overkluizing opgenomen. Deze passage wordt gebruikt voor het transporteren van de baggerspecie richting de installatie en eventueel voor het retourwater richting de stadsgracht. Voor het leggen, gebruiken, onderhouden en oprichten van een transportleiding en overkluizing binnen een kern en beschermingszone van de primaire waterkering, is een ontheffing op grond van de Keur Waterkering Waterschap benodigd. De overkluizing en de leidingen mogen in geval calamiteiten geen gevaar opleveren voor het gebied binnendijks. Wegen en obstakels moeten veilig worden gekruist door de pijpleidingen, zie figuur 31, zodat er geen gevaar voor de samenleving kan ontstaan. Er bestaat altijd gevaar bij een leidingbreuk of ernstige lekkage dat er grond uitspoelt uit de primaire waterkering. Wanneer dit gebeurt in combinatie met hoogwater ontstaat een onacceptabel gevaar.

Vanuit de mobiele slibontwatering zal een retourstroom plaatsvinden. Dit lozingswater valt onder de Wvo. Aan het retourwater zijn eisen gesteld, onder andere met betrekking tot het aantal mg onopgeloste stoffen en het zuurstofgehalte. Om deze waarden zichtbaar te maken voor het waterschap vinden er regelmatig bemonsteringen plaats. Deze worden zowel door het waterschap als de aannemer uitgevoerd.



Figuur 31 Voorbeelden van kruisingen van wegen en obstakels

Rijkswaterstaat

De daadwerkelijke slibontwatering vindt in de uiterwaarden plaats. Mede daarom is er in dit specifieke geval sprake van wetgeving die betrekking heeft op werkzaamheden buitendijks.

Grondwerkzaamheden die in de uiterwaarden plaatsvinden vallen onder de Wet Bodembescherming (WBB). De wet bodembescherming heeft tot doel verontreiniging van de bodem te voorkomen en te bestrijden. De uiterwaarden vallen onder Rijkswaterstaat, zij zijn dus ook de vergunningverlener. Om de vloeistofdichte vloer aan te brengen onder de installatie, is er een puingranulaat fundering aangebracht met daarop een asfalt verharding. Het puingranulaat en asfalt vallen onder het Bouwstoffenbesluit (Bsb). Het bouwstoffenbesluit regelt dat vervuiling van de bodem en het grond- en oppervlaktewater wordt voorkomen als er bouwmaterialen worden toegepast die hiermee in contact staan.

Op de vloeistofdichte werkvloer is de installatie geplaatst. Het mogelijke lekwater vanuit de installatie valt onder de Wet verontreiniging oppervlaktewater (Wvo).

De Wet beheer Rijkswaterstaatwerken (WbR) heeft betrekking op de vloeistofdichte vloer en de installatie. Binnen de grenzen van Rijkswaterstaatwerken mag niets worden gebouwd, gestort, neergelegd of achtergelaten. De vloer heeft een bepaalde afmeting, zowel lengte en breedte als ook dikte. De dikte van de vloer verkleint het rivierbed. Ook de installaties beïnvloeden het stroomprofiel. Bij hoogwaterdreiging zal de hele installatie en al het materieel binnen 24 uur verwijderd moeten worden.

Flora en fauna

Voorafgaand aan de werkzaamheden dient er een inventarisatie plaats te vinden met betrekking op de aanwezige flora en fauna. Wanneer zeldzame soorten worden aangetroffen dienen wellicht maatregelen te worden genomen. Ook het later starten met de werkzaamheden of het eerder stoppen behoren tot de mogelijkheden.

Mocht tijdens het werk blijken dat de visstand hinder ondervindt (vertroebeling door baggerwerk / lozing retourwater) dan zal er actie ondernomen moeten worden in de vorm van het verwijderen van de vissen of het toepassen van een andere baggermethode.

3.3.5 Milieueffecten

In deze paragraaf worden de volgende onderwerpen behandeld: de milieuverdienste van de verwerkingstechniek, het energieverbruik, emissies en de hinder.

Milieuverdienste

Bij het gebruik van een mobiele slibontwateringsinstallatie met scheidingsmogelijkheden is de belangrijkste milieuverdienste, net zoals bij gebruik van Geotube®, het verminderen van de hoeveelheid af te voeren afvalstoffen. Hiernaast is het filteren van de zandfractie uit de baggerspecie één van de hoofdpunten. Hierdoor wordt ook een besparing op depotvolume gecreëerd en tevens een reductie van het gebruik van primaire grondstoffen zoals zand.

Energieverbruik

De energie die nodig is om baggerspecie te ontwateren met behulp van mobiele slibontwateringsinstallaties is niet eenvoudig te bepalen. Het energieverbruik is afhankelijk van verschillende factoren die weer verschillen per ontwateringsinstallatie. Zo is bijvoorbeeld het energieverbruik van hydrocyclonage afhankelijk van de scheidingsdiameter d_{50} en de korrelgrootteverdeling.

Van alle ontwateringsinstallaties kan wel worden gezegd dat het grootste gedeelte van de energie benodigd is voor de elektrische aandrijving van de pompen, rollen en banden. Dit verbruik is dan ook weer verschillend per type apparaat en afhankelijk van de capaciteit en de aanvoer. Het gemiddelde gebruik van de behandelde ontwateringsinstallaties kan worden geraamd op 45 MJ/tds, exclusief de toeslagstoffen en de afvoer. Toeslagstoffen kunnen in de vorm van poly-electrolieten worden toegediend aan de baggerspecie, waarbij moet worden gedacht aan 1,0 tot 10,0 kg/tds. De benodigde energie voor de afvoer is evenredig met de afstand naar de eindbestemming. Lokaal hergebruik of berging zal een oplossing zijn om dit verbruik terug te dringen.

Emissies

Met emissies wordt het uitstoten van vaste, vloeibare of gasvormige stoffen, die een verontreiniging bevatten, naar de omgeving bedoeld. De emissies zijn onderverdeeld in emissies naar bodem, naar oppervlaktewater en naar lucht.

Emissies naar bodem

Emissies naar de bodem kunnen plaatsvinden door contact van verontreinigde baggerspecie of vrijkomend water met de bodem. Door de installatie op een vloeistofdichte verharding te plaatsen kan het vrijkomende water en de gemorste baggerspecie worden opgevangen. Zo kunnen emissies naar de bodem worden voorkomen.

Emissies naar oppervlaktewater

Bij lozing van het effluent op het oppervlaktewater kan verontreiniging optreden. De te nemen maatregelen voor de beheersing van dit proces is terug te vinden in paragraaf 3.3.2: "Procesbeschrijving m.b.t. de verwerking van baggerspecie" (mobiele slibontwatering).

Emissies naar lucht

Bij het gebruik van mobiele slibontwatering is de emissie naar lucht zeer beperkt. Doordat de baggerspecie vloeibaar wordt aangevoerd is namelijk geen verstuiving mogelijk. De hoeveelheid die ontstaat door verdamping van het effluent mag verwaarloosd worden.

Hinder

De oorzaken van hinder zijn verdeeld in overlast door geurhinder en geluidshinder.

Bij het toepassen van mobiele slibontwatering zal in principe geen stankoverlast optreden; dit is echter afhankelijk van de verontreinigingen in de te verwerken baggerspecie.

Tijdens het scheidings- en ontwateringsproces kan er overlast van geluid ontstaan door de inzet allerlei machines. Hiernaast is er bij de aan- en afvoer van de baggerspecie overlast in de vorm van transport. Goede isolatie van de installatie zal de overlast van geluid beperkt houden.

3.3.6 Kosten opslag en verwerking

Door onvoldoende informatie en te grote verschillen in de beschikbare prijzen is geen betrouwbare indicatie te geven van de kosten voor ontwatering met behulp van mobiele slibontwatering.

Verder zijn de kosten erg projectafhankelijk en zijn er geen echte eenheidsprijzen te noemen. De kosten die een aannemer rekent voor haar diensten vallen onder het bedrijfsgeheim. Hier loopt de aannemer dan ook niet mee te koop. Kortom, de kosten voor opslag en verwerking van een mobiele ontwateringsinstallatie zijn erg moeilijk in kaart te brengen.

3.3.7 Toepassingsgebied

Het toepassingsgebied voor mobiele slibontwatering bestaat veelal uit stedelijk gebied. De installatie is goed toe te passen in een bebouwde omgeving. Anders dan een traditioneel depot is de ruimte die de installatie inneemt minimaal. Voor het opstellen van de installatie moet met een ruimtebeslag rekening worden gehouden ter grootte van een parkeerplaats van 50 x 50 m, zie onderstaande foto. Binnen bebouwde gebieden is deze ruimte meestal wel voorhanden, maar groter ook niet. De installatie kan bij wijze van spreken met wat aanpassingen aan de omgeving op een parkeerplaats worden opgesteld van de plaatselijke supermarkt. Met de aanpassing wordt onder andere bescherming van de onderliggende bodem bedoeld. De bescherming kan bestaan uit vloeistofdicht folie, een ondoorlatende verharding (vloeistofdicht asfalt) of systemen met lekbakken. Om vervuiling van de bodem te voorkomen zijn de voorgaande maatregelen zeer belangrijk, zeker wanneer er gewerkt wordt met baggerspecie klasse 2 of hoger. Om spatten van specie op eventueel omliggende gebouwen te voorkomen zijn zogenaamde spatschermen aan te raden. Ondanks de maatregelen die genomen moeten worden blijft het een compacte installatie. Het groot het daadwerkelijke ruimtebeslag zal zijn hangt uiteindelijk af van de gekozen installatie, eventuele cyclonage en verdere noodzakelijke scheiding. Wanneer scheiding niet van toepassing is, zal ruimtegebruik tot een minimum beperkt worden. Zonder scheidingsinstallaties bestaat de mobiele slibontwatering uit een beperkt aantal units. Er kan volstaan worden met een polymeerunit, ontwateringsinstallatie en ontvangstcontainers. Naast de genoemde installaties en containers zullen een aantal keten en ruimte voor opslag en transport noodzakelijk zijn. Wanneer de mobiele slibontwatering qua ruimtebeslag en maatregelen wordt vergeleken met het traditioneel depot of Geotube®, blijkt dat dit systeem weinig eisen stelt aan de locatie van opstelling en de benodigde ruimte. Desondanks blijft dit systeem het meest aantrekkelijk in bebouwd gebied.



Figuur 32 Mobiele slibontwateringsinstallatie op een parkeerplaats

4 Archimedes Dewatering System

4.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft, evenals de laatste paragraaf in het vorige hoofdstuk, het onderdeel “mobiele slibontwatering”, maar dan een systeem dat door ons zelf ontworpen en uitgedacht is. Het systeem berust op het eeuwenoude idee “de schroef van Archimedes”, maar dan in een nieuw jasje.

Voordat het systeem uitgelegd wordt, volgt eerst een stukje geschiedenis over de uitvinder, Archimedes zelf.

Archimedes

Archimedes, zie fig 33, werd geboren in Syracuse, 287 v. Chr. als zoon van een sterrenkundige. Zoals vele andere wiskundigen en wetenschappers in die tijd ging hij studeren in Alexandrië, de wetenschappelijke hoofdstad van de wereld, gelegen in Egypte. Archimedes ging wiskunde studeren en heeft hier tevens zijn ontdekking gedaan voor wat betreft de schroef. De schroef die destijds bedacht is, wordt tot op de dag van vandaag in Egypte veel gebruikt om akkers te bevoeien.

Naast de ontdekking van de schroef staan er talloze uitvindingen op zijn naam, waarvan wij zonder het te weten regelmatig gebruik maken! De volgende uitvindingen hebben wij aan Archimedes te danken:

- Relatief eenvoudige berekeningen van oppervlakte en inhoud van meetkundige figuren.
- De hefboom en de werking hiervan.
- Verbetering van de katapult (oorlogsvoering).
- Wet van Archimedes: “Een geheel of gedeeltelijk in een vloeistof gedompeld lichaam ondervindt een opwaartse kracht die gelijk is aan het gewicht van de verplaatste vloeistof.”

Het verhaal gaat dat de bovenstaande wet in een ongebruikelijke situatie ontstond, en wel deze:

De ontdekking van de wet stelde hem in staat te bewijzen dat een gouden kroon gesmeed door de plaatselijke edelsmid was vervalst door toevoeging van zilver. Het bewijs hierachter heeft hij gevonden toen hij in bad zat. Op het moment dat hij zich de theorie realiseerde die hierachter zat sprong hij enthousiast uit bad en rende naakt de straat op en schreeuwde: "Eureka Eureka! (Ik heb het gevonden, ik heb het gevonden!)"



Figuur 33 Illustratie van Archimedes

4.2 Het ontwateringssysteem

Het systeem is vernieuwend ten opzichte van de reeds bestaande systemen qua eenvoud, ruimtebeslag, energieverbruik als techniek. Dit hoofdstuk beschrijft een (nog) niet bestaand systeem. De werking in de praktijk is dan ook niet met zekerheid te voorspellen ondanks dat het systeem doorberekend en ontworpen is aan de hand van adviezen van de 's werelds grootste producent en leverancier van vijzelpompen: Spaans Babcock, met gebruik van formules van ir. J. Muysken.

Het Archimedes Dewatering System is een nieuw systeem dat gebruik maakt van een combinatie van de huidige technieken. Zo wordt het sedimentatieproces versneld door het toepassen van een flocculant. Het filtratieproces wordt ingekort door de baggerspecie te persen en te ontwateren via perforaties in de trog.

De keuze voor een vijzel als verwerkings/ ontwateringswerktuig is niet zo gek gezien de eerdere toepassingen van een vijzel:

- opvoerwerktuig voor water (gemalen);
- transportmiddel voor vaste stoffen (veevoederindustrie);
- scheidingsmachine voor scheiden van vast en vloeibaar (uitpersen van vruchtsappen, mestverwerkingsindustrie).

Door de bovenstaande toepassingen van een schroefvijzel, met name de laatste toepassing in onder meer de mestverwerkingsindustrie, kan men zich afvragen waarom de schroefvijzel niet wordt gebruikt voor scheiden van een halfvloeibare stof zoals baggerspecie.

Met deze vraag in het achterhoofd werd verder gebrainstormd over een nieuwe ontwateringstechniek. De aanleiding voor het ontwerpen van een nieuw ontwateringssysteem was de gedachte dat de huidige systemen voldoen maar technisch ingewikkeld en daarmee storingsgevoelig zijn. Het beschreven systeem in de paragraaf “mobiele slibontwatering” bestaat uit een aantal werkgangen. Een deel van deze werkgangen of processen is niet te vervangen of te verwijderen. Wanneer dit wel gebeurt zal een gedeelte van het proces niet meer naar behoren werken en daarmee zal het eindresultaat (ontwaterd slib) onvoldoende zijn. Een voorbeeld uit het proces van mobiele slibontwatering is het scheiden en zeven van grove delen en zand uit de specie. In het voorgaande ontwateringssysteem is dit noodzakelijk aangezien de ontwateringstechnieken die na deze processen volgen kwetsbaar zijn en gevoelig voor storingen. Puin kan voor een waaierpomp funest zijn; dit geldt ook voor de zeefbandpers. Bij een schroefvijzel is dit anders. Deze heeft geen last van puin, grof organisch materiaal of een grote zandfractie. Bij het gebruik van een schroefvijzel blijft er dus een keus om wel of juist niet te scheiden. Bij het gebruik van een ontwateringsinstallatie met al zijn processen en pompen zal personeel met goede kennis van zaken fulltime aanwezig moeten zijn om de voortgang te bewaken. Een vijzel is daarentegen in zijn geheel niet storings- of onderhoudsgevoelig. Tevens kan het systeem af met minder toezicht. In de komende paragrafen zal blijken wat verder de achterliggende gedachte is van het ontwerp “Archimedes Dewatering System”.

4.2.1 Procesbeschrijving

Werking systeem

Voordat de baggerspecie in de ontvangstcontainers gespoten wordt zullen er polymeren worden toegevoegd om de bezinktijd van het slib aanzienlijk in te korten en de baggerspecie in te dikken (zie paragraaf 3.2.2). Wanneer de baggerspecie in de container wordt gespoten zal een stalen schot, dat dwars in de container is geplaatst, de specie afremmen en naar beneden richten. Dit schot dient naast het richten van de invoer tevens om de baggerspecie in de container tot rust te brengen zodat het bezinkproces en het aanhechten van de polymeren in de container voortgezet kan worden.

Als de specie voldoende tot rust is gekomen en is ingedikt, heeft het de container doorlopen en komt het uit bij de schroefpomp. Om het proces van de aanvoer van de baggerspecie soepel te laten verlopen is het zaak dat de bodem onder een helling ligt en wel richting de vijzel. De specie die op de bodem terechtkomt zal, geholpen door de zwaartekracht, richting de vijzel glijden. Tevens drukt de specie door constante aanvoer vanaf de bovenzijde van de helling zichzelf richting de vijzel (principe van een gletsjer). Op het moment dat de specie onder aan de helling ligt zullen de schoepen van de pomp de specie oppakken en opvijzelen.

De pomp (vijzel) zal de specie omhoog leiden en vervolgens storten in een afzetcontainer. Tijdens deze gang zal de specie ontwaterd worden zodat er een steekvaste materie overblijft. Onder aan de pomp zal de specie opgepakt worden door één van de schoepen. Door een precieze berekening voor de volgende parameters, het aantal gangen, hellingshoek van de vijzel, spoed, hellingshoek van de schoepen en toerental, zal een optimale opbrengst worden bereikt. Voor uitkomsten en berekeningen, zie paragraaf 4.3 en bijlage III en IV.

De gehele vijzel zal onder en boven bevestigd worden door middel van lagers en vanaf de bovenzijde door een motor worden aangedreven. De motor zal door een aggregaat van stroom worden voorzien. De balkdiameter van de vijzel hangt af van de lengte van vijzel. Hoe langer de vijzel, hoe groter deze diameter zal zijn. Deze toename van massa voorkomt ontoelaatbare doorbuigingen in de lengterichting. Doorbuigingen van de vijzel moeten voorkomen worden omdat deze anders schade oploopt en in het slechtste geval vastloopt op de trog. Wanneer de genoemde parameters optimaal op elkaar zijn afgestemd is de opbrengst ook maximaal; wijkt er één af dan zal de opbrengst dalen.

De volgende parameters beïnvloeden de opbrengst.

- De ruimte tussen schoep en trog ($> 4 < 8\text{mm}$).
- Het aantal gangen.
- Het toerental. Bij een te hoog toerental zal er water (baggerspecie) verloren gaan over de trog; bij een te laag toerental zal de vloeistof onderhevig zijn aan de zwaartekracht en weer terugstromen.
- De hoek van de pomp. Hoe steiler de hoek des te lager de opbrengst. Beneden de 30° neemt de opbrengst ook af. Lange pompen moeten steil worden opgesteld om te veel doorbuiging te voorkomen..
- Spoed. Indien deze te ruim is, resulteert dit in een afname van de capaciteit.

Wanneer de bovenstaande punten onderling goed zijn afgestemd, is de werking van de schroefpomp gegarandeerd goed.

Op het eerste gezicht lijkt de pomp technisch moeilijk in elkaar te zitten. Dit is echter niet het geval. Door de eenvoudige constructie en het ontbreken van kleine storingsgevoelige delen is de pomp betrouwbaar en robuust. Wanneer de aanvoer van baggerspecie minder is dan waarop de pomp is uitgevoerd, zal deze droog draaien. Dit is geen probleem in tegenstelling tot bijvoorbeeld centrifugaalpompen. Puin en ander vuil in de specie geeft ook geen problemen; alles wat tussen de schoepen meegevoerd kan worden zal aan de bovenzijde weer geloosd worden.

Ontwateringsproces

Het ontwateringsproces zal plaatsvinden door interne drukopbouw. Naast drukopbouw zal de baggerspecie over een deels geperforeerde trog worden geleid, waar de eerste ontwatering zal plaatsvinden. Tussen de vijzelbladen zitten weerstandsnokken die voor een hogere druk zorgen, waardoor de ontwatering sneller en beter verloopt. De schoepen die zich boven het geperforeerde deel bevinden zullen voorzien zijn van sleuven. Wanneer de specie verder wordt opgeleid zal de druk toenemen door het taps toelopen van de mantel. De druk die opgebouwd wordt, zorgt voor het uitpersen van het water dat door de sleuven in de schoepen wordt afgevoerd. Naast het taps toelopen van de trog bestaat tevens de mogelijkheid om een persrooster aan te brengen dwars voor het punt waar de specie de trog verlaat. Door het toepassen van een persrooster zal de specie weerstand ondervinden bij het storten. Deze weerstand zal verdere ontwatering tot gevolg hebben. Mede doordat de schroef constant doordraait en de aanvoer van specie ook constant is, loopt de druk op wanneer de trog taps toe loopt en er een rooster geplaatst wordt. De druk die verkregen wordt zal voldoende moeten zijn om een steekvaste materie te kunnen storten en af te voeren. De hoeveelheid afgescheiden water kan door middel van een eenvoudige constructie (kleine kaden met een folieconstructie) worden opgevangen en zo worden afgevoerd. Door een bemonsteringspunt in deze afvoer in te bouwen kan de kwaliteit van het effluent worden gecontroleerd.

Om een duidelijk beeld te krijgen van dit ontwateringsproces en alles wat daarbij komt kijken, verwijzen wij u naar bijlage VII en tekening 4 – 004.

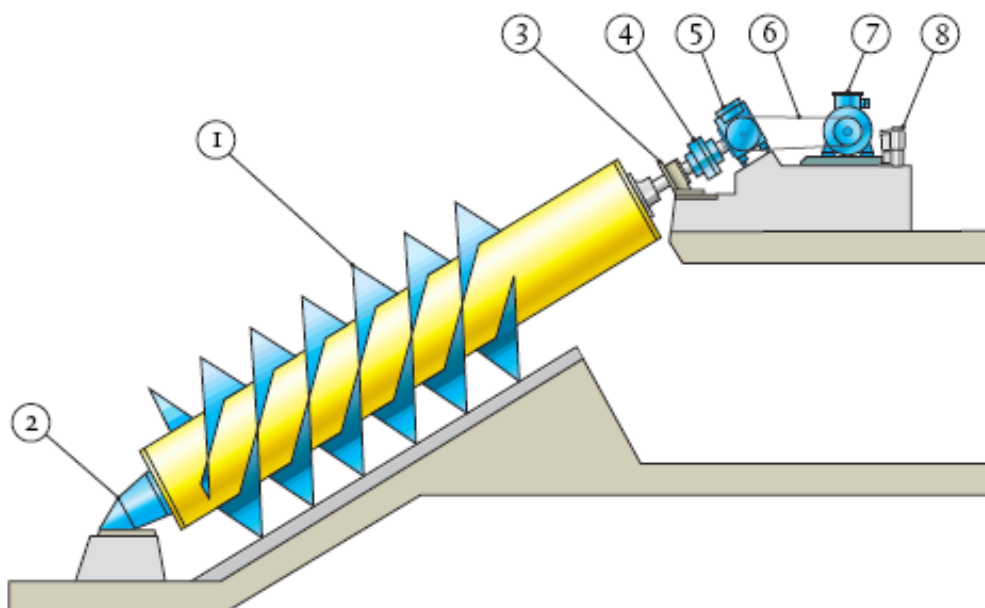
4.2.2 Beschrijving schroefpomp

Onderdelen

Het concept van de schroefpomp is eenvoudig. Een kern met daaraan schoepen onder een bepaalde hoek en verdeling werken een vloeistof omhoog. De kern bestaat uit een stalen cilinder. Deze heeft een bepaalde diameter. Naarmate de lengte van de schroef toeneemt neemt ook de diameter van de kern toe om ontoelaatbare doorbuiging te voorkomen. Aan de kern zijn stalen schoepen gelast. Deze schoepen lopen door van de onderzijde tot aan de bovenzijde. Het aantal gangen bepaalt het aantal schoepen. Een vijzel bestaande uit drie gangen is te herkennen aan drie schoepen die aan de onderzijde beginnen. De schoepen worden onder een bepaalde hoek gelast. Een en ander hangt af van de hoek waaronder de pomp wordt geplaatst. Naast de hoek is ook de spoed belangrijk. De spoed bepaalt op wat voor afstand de schoepen van elkaar staan. Wanneer de afstelling onderling niet overeenkomt met het af te voeren debiet en opstellingshoek zal het rendement van de pomp sterk afnemen.

De vijzel hangt in zijn geheel tussen lagers; dit zijn de onder- en bovenlagers. De onderlager steunt de vijzel. Deze lager bevindt zich gedurende de gebruikstijd van de pomp in de te verpompen materie. Het is zaak dat deze lager sterk en onderhoudsvrij is. De bovenkant van de schroef hangt ook in een lager. Tevens vindt hier de aandrijving van de schroef plaats door middel van een motor. In de onderstaande afbeelding is het een en ander gevisualiseerd.

Zijaanzicht schroefvijzel



Figuur 34 Schroefvijzel opstelling (Spaans Babcock)

1. schoepen en kern (as) vijzel;
2. onderlager;
3. bovenlager;
4. koppeling motor en vijzel;
5. versnellingsbak en overbrengen aandrijving;
6. v-snaar en pulley;
7. motor;
8. smering.

De bovenstaande afbeelding toont een schroefvijzel in een andere situatie dan wij toepassen. De onderdelen en de basis van de opstelling wijken echter niet af.

Toepassing schroefvijzel

Er is voor de schroefvijzel gekozen vanwege de positieve eigenschappen die deze pomp bezit in vergelijking met een centrifugaalpomp, ervan uitgaande dat de te verpompen materie min of meer vloeibaar is. Hieronder zijn de belangrijkste voordelen zijn op een rijtje gezet.

Laag toerental, eenvoudig ontwerp en robuuste uitvoering

De schroefvijzel draait met een zeer laag toerental wat de levensduur ten goede komt. Van slijtage is nauwelijks sprake mede door het ontwerp. De as en schoepen zijn zwaar uitgevoerd en kleine onderdelen komen bijna niet voor in het ontwerp. Door het robuuste ontwerp verpompt de vijzel alle voorkomende vervuiling in de baggerspecie. Zand, puin, takken en frisdrankblikjes vormen geen probleem.

Pompen zonder water

Wanneer de situatie zich voordoet dat het vloeistofniveau (baggerspecie) in de containers onder de minimumdiepte komt om te kunnen pompen treden er geen problemen op. Ondanks het ontbreken van water, of in ons geval baggerspecie, kan de pomp zonder schade doordraaien. Wanneer het niveau weer stijgt wordt de vloeistof moeiteloos opgepakt en gaat het proces weer verder. Warmdraaien van de pomp komt niet voor, ook niet bij de onderlager. De betreffende lager is voorzien van een voorraad smering voor een lange periode.

Geen verzamelput nodig

Anders dan bij een centrifugaalpomp is er geen verzamelput voor water nodig. De vijzelpomp kan direct in de container worden gehangen waar de baggerspecie zich bevindt. Door het uitblijven van een verzamelput hoeven er geen specifieke maatregelen te worden genomen op de projectlocatie.

Juiste behandeling polymeren

De vijzelpomp behandelt het slib waar polymeren aan toegevoegd zijn goed. Door het rustige toerental en daarmee zeer geringe centrifugaalkrachten zullen de polymeren te allen tijde aan het slib gebonden blijven. Van persen en wringen is geen sprake zolang water en slib nog gemengd zijn. Deze rustige benadering komt indikken van de baggerspecie ten goede.

Minimaal onderhoud, lange levensduur en kostenbesparing

Zoals eerder aangegeven, is de opzet van de vijzelpomp eenvoudig. Hierdoor is het onderhoud minimaal. Het onderhoud dat nodig is kan ter plaatse worden uitgevoerd door aanwezig personeel. Door het ontbreken van technische ingewikkelde onderdelen en een “onverwoestbare” uitvoering plus een zeer lange levensduur, zijn de kosten minimaal. Lage kosten zijn interessant voor elke aannemer.

Uitvoering in...

De vijzel kan uitgevoerd worden in bijvoorbeeld kunststof of een composiet materiaal. Een kunststof vijzel komt het gewicht ten goede en daarmee de hanteerbaarheid. Er kan voor een ander materiaal worden gekozen dan staal omdat grote krachten en temperatuurverschillen niet of nauwelijks voorkomen. De eerste vijzels die geconstrueerd werden bestonden uit een houten stam met daarin volgens een vast patroon plankjes, de schoepen. Uit deze informatie blijkt weer dat het basisontwerp zeer eenvoudig is !

Naast voordelen kent de vijzel natuurlijk ook zijn nadelen, onder andere:

Variatie in peilen

Het is zaak dat de baggerspecie in de container boven het zogenaamde vulpunt blijft. Wanneer het peil onder dit punt zakt neemt de capaciteit af. Het is ook mogelijk dat het peil boven het vulpunt uitkomt. In dit geval neemt het rendement af. Per situatie verschilt het vulpunt. Op dit moment is moeilijk aan te geven waar dit punt zich in ons ontwerp bevindt.

In ons ontwerp hebben wij maar met één peil te maken. Het tegenmaulpunt en stortpunt hebben geen invloed op onze capaciteit of rendement.

Opstarten

Het opstarten van de vijzel vergt kracht en energie. Deze energie zal door een aggregaat geleverd worden. Het moment van opstarten zorgt voor een piekbelasting aangezien er een aanzienlijke massa in beweging gezet moet worden. Draait de vijzel eenmaal, dan is een constante stroomleverantie van eventueel belang. Op dit moment is nog moeilijk te zeggen wat er verwacht moet worden bij baggerspecie die (half)gesedimenteerd is. Deze situatie kan zich voordoen nadat er een aantal dagen geen uitvoering heeft plaatsgevonden. Een eerste oplossing zou kunnen zijn dat de container aan het eind van elke werkdag leeg wordt gepompt, waarmee ook het volgende probleem wordt ondervangen.

Vastvriezen

Het is mogelijk dat in een vorstperiode de vijzel in een vloeistof vastvriest aangezien er altijd contact is. Net als in het hiervoor genoemde minpunt heeft dit in eerste instantie geen consequenties aangezien baggerspecie op zich niet snel bevroert. Daarnaast zal de vijzel elke dag in gebruik zijn tijdens een project, wat de kans op vastvriezen minimaliseert.

Druk

Een vijzel kan niet of nauwelijks druk opbouwen. Het aanbrengen van een persleiding is dan ook niet mogelijk. In ons geval is dit ook niet nodig aangezien de specie los gestort wordt.

4.2.3 Vergunningen en milieueffecten

Het vergunningstraject voor wat betreft het Archimedes Dewatering System zal in de praktijk niet veel afwijken van de bestaande mobiele slibontwateringsinstallaties. De opzet blijft, met uitzondering van de toegepaste techniek, hetzelfde. In het geval van ons ontwerp zal er sprake zijn van een bepaald ruimtebeslag, emissie van geluid en geur en lozing van retourwater. Uit de hiervoor genoemde vergunningsaspecten blijkt dat deze niet afwijken van eerdere systemen. Het doel om het aantal vergunningen terug te dringen is niet direct verwezenlijkt. Voor wat betreft de benodigde vergunningen verwijzen wij dan ook naar de paragraaf “mobiele slibontwatering”.

4.2.4 Kosten opslag en verwerking

Door het samenvoegen van bestaande systemen en apparaten (container en vijzel) zijn de ontwerpkosten laag te noemen. Door middel van wat aanpassingen aan de container en de vijzel is het mogelijk het ontwateringssysteem op te bouwen. Aan de container zijn enkel wat aanpassingen aan het kopschot nodig. Hierin moet een sparing worden gemaakt voor de trog van de vijzel. Hiernaast moet een schot, voor het tot rust brengen van de ingespoten baggerspecie, worden aangebracht in de container. Zo’n schot is standaard leverbaar.

Omdat in verschillende takken van de industrie vijzels worden gebruikt voor het scheiden van vaste en vloeibare delen, is het aanpassen van zo’n systeem niet erg kostbaar. Zo wordt de vijzel gebruikt voor ontwatering van mest, het persen van verschillende vruchten etc.

Hiernaast zijn ook de gebruikskosten laag in verband met het lage energieverbruik van de vijzel. Vooral wanneer dit wordt vergeleken met het hoge energieverbruik van de mobiele slibontwateringssystemen. Daarentegen zullen er waarschijnlijk wel toeslagstoffen moeten worden toegevoegd, wat zorgt voor hogere verbruikkosten.

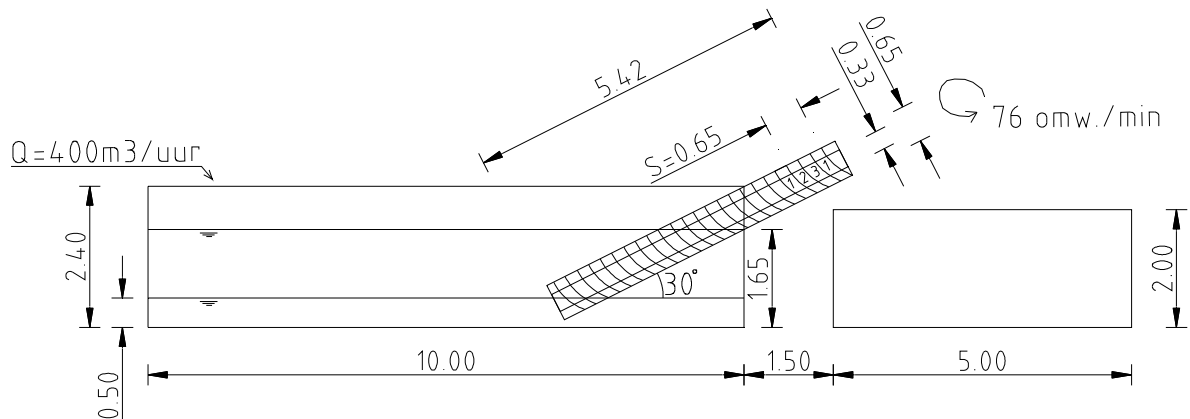
4.2.5 Opstelling en toepassingsgebied

De opstelling van het “Archimedes Dewatering System” is verrassend eenvoudig. De opstelling van de gehele werkgang zal als volgt worden voorgesteld.

Er wordt vanuit gegaan dat het betreffende systeem wordt toegepast binnen stedelijk gebied en op een bestaand verhard terrein. Het terrein kan een parkeerplaats, loswal of ander soort verharding zijn, mits het een minimale oppervlakte van 1000 m² betreft (zijden van minimaal 30 m). Dit oppervlak is gebaseerd op de opstelling bestaande uit een aantal afzetcontainers, een polymeerunit, aggregaat en divers materiaal en materieel benodigd voor de uitvoering. Per project zal het ruimtebeslag bepaald moeten worden. Dit hangt onder andere af van de toegankelijkheid van het gebied, de omvang van het project en natuurlijk de beschikbare ruimte. Qua opstelling zijn er diverse varianten denkbaar. Een mogelijkheid bij weinig beschikbare ruimte is het eventueel stapelen van containers en materiaal.

4.3 Ontwerp Archimedes Dewatering System

Het ontwateringssysteem zal hieronder worden beschreven aan de hand van de container waarin de vijzel hangt en de schroefvijzel zelf. Deze twee onderdelen zullen worden behandeld en daarmee zullen de waarden in het onderstaande figuur duidelijk worden. Hiernaast zal ook aandacht worden besteed aan de ontwateringssleuven in de trog en de daarbij horende ontwateringssnelheid. Diepgaande berekeningen met de bijbehorende formules staan in bijlage III en IV vermeld.



Figuur 35 Opstelling met de vijzel en de waarden waarmee gerekend is

Voor het bepalen en berekenen van de afmetingen en afstellingen van het Archimedes Dewatering System zijn er enkele gegevens nodig. De volgende gegevens zijn bepaald aan de hand van beredenering of verkregen door derden die kennis van zaken hebben:

Q_w	=	400 m ³ /uur => 6,67 m ³ /min. (werkelijke debiet dat de vijzel moet kunnen verwerken, bepaald aan de hand van de productie van een cutterzuiger)
S	=	D (spoedafstand van de vijzel is gelijk aan de buitendiameter van de vijzel)
d	=	0,5 D (balkdiameter is de helft van de buitendiameter van de vijzel)
β	=	30° (opstellingshoek is mogelijk van 22 tot 40°, 30°, is niet te stijl en toepasbaar in een container)
a	=	3 (aantal gangen is standaard vaak twee of drie)

4.3.1 Container

De afmetingen van de container zijn gebaseerd op een zo'n groot mogelijke vervoerbare containerbak. Doordat de opstelling in staat moet zijn om 400 m³/uur te verwerken, is een grote ontvangtbak gewenst in verband met een buffer en een zo lang mogelijke periode waarin de ingespoten baggerspecie tot rust kan komen. De afmetingen zijn dan ook gebaseerd op een 60 m³ container (lxbxh : 10,00 x 2,50 x 2,40).

Omdat de vijzel onder een hoek van 30° opgesteld zal worden, is er een uitsparing in het kopschot van de container gemaakt. Deze uitsparing is nodig om een onnodig lange vijzel te voorkomen, daardoor ook een korte afstand in de container, waar de ingespoten baggerspecie tot rust kan komen. De onderkant van de uitsparing zal op 1,65 m. vanaf de onderkant van de container zitten. De uitsparing zelf zal een diameter hebben van ongeveer 0,70 m. (de buitendiameter van de vijzelschroef is 0,65 m).

Het minimale niveau in de container is afhankelijk van het type vijzel en het bijbehorende vulpunt. Doordat een niveau onder het vulpunt geen nut heeft is dit punt bepalend. De afstand van het laagste punt van de vijzel, het tastpunt, tot aan een niveau gelijk aan het vulpunt is 0,42 m. Hierbij moet een paar cm. speling gehouden worden voor de bevestiging van de vijzel aan de bodem van de container en voor ruimte tussen de vijzelbladen. In dit geval is een minimaal niveau van 0,50 m. boven de bodem voldoende.

Het maximale niveau in de container is afhankelijk van het laagste overstroompunt in de container, de onderkant van de trog van de vijzel. De verbinding van de trog met het kopschot kan waarschijnlijk wel waterdicht worden gemaakt, echter dit niveau wordt aangehouden ten behoeve van het maximale niveau.

4.3.2 Schroefvijzel

Zoals hierboven al vermeld, zijn er enkele gegevens van de vijzel aangenomen of verkregen door derden. Hierdoor is de spoedafstand, de verhouding balkdiameter-buitendiameter, de opstellingshoek en het aantal gangen bekend.

Door berekening is de buitendiameter van de vijzel bepaald op 0,65 m. Hierdoor is de balkdiameter automatisch 0,33 m. Deze waarden zijn gevonden via verschillende berekeningen, die in bijlage IV zijn uitgewerkt. Het toerental van de vijzel is 76 omwentelingen per minuut. Dit toerental is gerelateerd aan de buitendiameter van de vijzel, hoe groter de vijzel, des te kleiner is het toerental.

Volgens de vooraf bepaalde en verkregen gegevens is de spoedafstand gelijk aan de buitendiameter van de vijzel. Dit houdt een spoedafstand van 0,65 m in.

De lengte van de vijzel is volgens de ontwerpformules voor vijzels afhankelijk van de diameter, de opvoerhoogte en de opstelhoek. Op deze manier is dan ook de lengte van de vijzel in het Archimedes Dewatering System berekend: 5,42 m.

De vijzellengte in een systeem waarbij de vijzel niet alleen wordt gebruikt voor het ophevelen van een suspensie, maar ook voor het ontwateren van deze suspensie, is ook afhankelijk van de benodigde lengte voor het ontwateren. Deze ontwateringslengte van de vijzel is echter alleen proefondervindelijk te bepalen en kan niet echt berekend worden. In dit systeem is de afstand tussen de containers bepaald op 1,50 m. Dit kan echter ook langer worden in verband met een te korte ontwateringslengte.

4.3.3 Schroeftrog

Om een input van 400 m³ baggerspecie te kunnen verwerken moet er ongeveer 267 m³ water ($\frac{1}{3}$ vaste delen, $\frac{2}{3}$ water) worden afgescheiden via de perforaties in de trog. Bij deze verhouding wordt ervan uitgegaan dat het restant een steekvaste massa is. Met perforaties van 500 μ m x 0,10 m met een filtersnelheid van -0,735 m/s (zie bijlage III) zijn er ongeveer 2000 van deze sleuven nodig om aan de hoeveelheid te verwerken water te komen. Met alleen sleuven in de onderzijde van de trog houdt dit een openingspercentage in van ongeveer 6,1 %.

4.3.4. Theorie achter de werking van het systeem

In bijlage III is het onderwerp “*Sedimentatie en Filtratie*” opgenomen. Hierin wordt diep ingegaan op de theorie achter de verschijnselen sedimentatie en filtratie. Tevens zullen de toepassingsgebieden worden beschreven. Na deze informatie gaan wij verder in op de toepassing van deze theorie op de vijzelschroef.

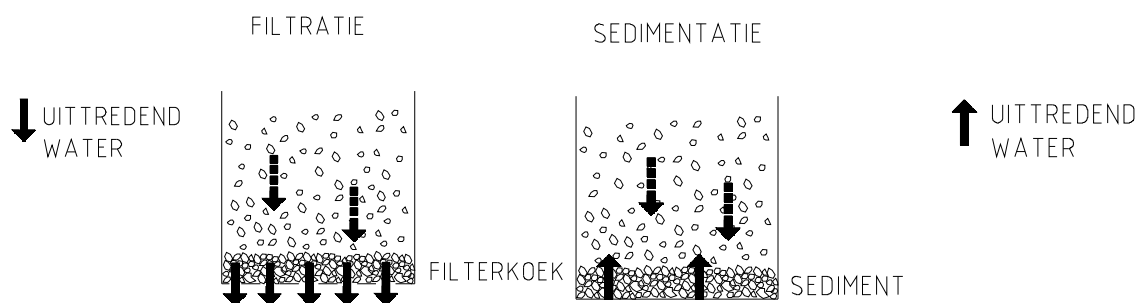
In deze paragraaf zal globaal worden ingegaan op de werking van sedimentatie en filtratie. Tevens komen enkele maatregelen aan bod komen om de filter- en bezinkingsnelheid te verhogen.

Algemeen

De ontwatering van baggerspecie is in principe niet anders dan elke andere vloeistof, vaste stofscheiding. Deze scheiding vindt plaats door middel van filteren en/of sedimenteren.

In de traditionele depots, en natuurlijk ook in de watergangen, vindt indikken van de baggerspecie plaats door middel van sedimentatie. Sedimentatie is het gevolg van dichtheidsverschillen tussen de vaste stof en de vloeistof. De drijvende kracht is de werking van de zwaartekracht op de deeltjes. De werking van sedimentatie zal hieronder verder worden uitgewerkt om zo een duidelijker beeld te schetsen van de krachten die aanwezig zijn. Tevens kan door middel van een afleiding van de Wet van Stokes de bezinkingsnelheid worden bepaald.

Bij filtratie vindt een scheiding plaats door het gebruiken van een poreus filtermedium. De vaste stofdeeltjes worden door het filter tegengehouden en vormen een filterkoek. Het filtraat wordt via het filterkoek en het filtermedium afgevoerd. De filterende werking is het gevolg van een drukverschil aan weerskanten van het filter. Filtratie wordt toegepast om baggerspecie te ontwateren. Hierbij moet worden gedacht aan Geotube® en mobiele slibontwatering. De werking van filtratie zal in bijlage III behandeld worden. Tevens zal een filtersnelheid berekening worden gemaakt.



Figuur 36 Filtratie en Sedimentatie

Maatregelen om de filtersnelheid te verhogen

Een van de manieren om het ontwateringsproces van baggerspecie te versnellen is het verhogen van de filtersnelheid. Bij een grotere filtersnelheid zal de baggerspecie sneller zijn omgevormd in een steekvaste massa.

Door de druk boven het filter te laten toenemen wordt het drukverschil groter en dit levert een hogere filtersnelheid op. Dit vergroten van het drukverschil is mogelijk door de baggerspecie in een afgesloten ruimte onder druk te laten ontwateren (Geotube®). Een andere oplossing is het toepassen van mechanische krachten, waardoor de druk toeneemt en het ontwateringsproces wordt versneld (zeefbandpers, kamerfilterpers etc). Naast drukveranderingen kan ook de dikte van het filterkoek worden aangepakt. Door deze koek zo dun mogelijk te houden, wordt een hogere filtersnelheid behaald.

Kortom:

- Door het drukverschil Δp te vergroten wordt de filtersnelheid hoger.
- Door het plaatshoogteverschil Δz te verkleinen wordt de filtersnelheid hoger.

Maatregelen om de bezinkingsnelheid te verhogen

Een van de manieren om het ontwateringsproces van baggerspecie te versnellen is het verhogen van de bezinkingsnelheid. Bij een grotere bezinkingsnelheid zal de baggerspecie in een eerder stadium gereed zijn voor rijping en vervolgens bewerking.

Door het toepassen van polymeren; kationische polyelectrolieten om precies te zijn, is het mogelijk deze bezinkingsnelheid te vergroten. Deze polyelectrolieten zijn positief geladen en reageren met het negatief geladen baggerslib. De polymeren bestaan uit lange moleculen, macromoleculen, die zich binden aan de deeltjes baggerslib. Na deze bindingen worden de deeltjes ontwaterd door ultrafiltratie, een scheidingsmethode om een zuivere vloeistof af te scheiden van een mengsel. Verder zullen de zwevende (organische) deeltjes worden samengevoegd, waardoor ook deze deeltjes zullen afzinken.

Kortom:

- De materialen met een dichtheid (ρ_b) < 1000 kg/m³ zullen door de polymeren worden samengevoegd om vervolgens af te zinken.
- De materialen met een kleine korrelstraal (r) zullen door toedoen van de polymeren samenklonteren om vervolgens sneller af te zinken.

5 Conclusie

In dit rapport zijn verschillende methodes beschreven met betrekking tot ontwatering van baggerspecie. Tevens hebben wij een nieuw systeem ontwikkeld. Bestaande methodes, zoals het traditionele depot, Geotube® en mobiele slibontwatering zijn onderling vergeleken. Het nieuwe systeem betreft een ontwateringstechniek door middel van een schroefvijzel.

Conclusie en aanbeveling

Aan de hand van de criteria beschikbare ruimte, vergunningstraject, uitvoeringskosten, hergebruik en verwerking van vrijgekomen baggerspecie, hebben wij onderzoek gedaan naar verschillende methodes van ontwatering van baggerspecie. Naar aanleiding van dit onderzoek is gekeken of er een verbetering ten opzichte van de huidige technieken haalbaar is. Het volgende kan geconcludeerd worden.

Voor wat betreft het criterium beschikbare ruimte lopen de verschillen sterk uiteen. Wel blijkt dat het nieuwe systeem, met de schroefvijzel, het minste ruimte in beslag neemt. Hieruit blijkt dat een voordeel is behaald ten opzichte van de gebruikelijke methodes.

Op de voorwaarde van een korter vergunningstraject is door toepassing van het nieuwe systeem geen voordeel te behalen. Dit traject zal van dezelfde duur blijven als bij het gebruik van mobiele slibontwateringsinstallaties.

Door lage productiekosten van de ontwateringsmethode met een schroefvijzel is het aannemelijk dat op het criterium uitvoeringskosten een voordeel kan worden behaald. Door gebruik te maken van bestaande materialen en technieken kunnen de productiekosten beperkt worden gehouden. Tevens kunnen wij aannemen dat het nieuwe systeem minder energie zal verbruiken dan de bestaande mobiele slibontwateringstechnieken.

Op het gebied van hergebruik en verwerking van baggerspecie is een voordeel met betrekking tot de capaciteit en de tijdsduur van het verwerkingsproces te behalen. Opgemerkt moet worden dat de capaciteit van een depot vele malen groter is dan wat het nieuwe systeem ooit zal behalen, echter qua tijdsduur wint de techniek met de schroefvijzel het.

Een depot zal in het buitengebied veelal de voorkeur hebben boven de mechanische ontwateringssystemen. Er wordt echter niet alleen baggerspecie ontgraven in het buitengebied. Binnen stedelijk gebied zal de voorkeur uitgaan naar mobiele slibontwateringsinstallaties, vooral met betrekking tot de beschikbare ruimte. Geotube® units kunnen daarentegen in beide gebieden toegepast worden, al moet de kanttekening worden geplaatst dat het materiaal als verloren beschouwd moet worden, wat voor een hoge kostenpost zorgt.

Uit de voorgaande punten kan uiteindelijk geconcludeerd worden dat een verbetering te behalen is ten opzichte van de huidige technieken. Er dient echter rekening te worden gehouden met de praktijksituatie. Door beperkingen met betrekking tot financiële middelen en materialen, is het niet mogelijk geweest een proefopstelling te bouwen. Desondanks gaan wij ervan uit dat de bovengenoemde conclusie gehandhaafd blijft. Er dient echter rekening te worden gehouden met het feit dat de hierboven gestelde technieken niet zomaar onderling kunnen worden vergeleken, vanwege de sterk uiteenlopende toepassingsgebieden.

De conclusie kan zonder gebruik te maken van een proefopstelling, niet voor de volle honderd procent worden vastgesteld. Het verdient de aanbeveling om de beschreven theorie in dit rapport verder uit te diepen en in de praktijk op te stellen en te testen. Het systeem zal zich nog moeten bewijzen.

6 Begrippenlijst

Baggerspecie

Baggerspecie bestaat uit aanwas van de waterbodem door organische resten, sedimentatie, afspoeling en alles wat daar tijdens een bepaalde tijdsduur aan “toegevoegd” is. Bij toevoegingen kan gedacht worden aan puin maar ook vervuiling. Met vervuiling wordt vervuiling bedoeld die zich aan het slib heeft gebonden, zoals zware metalen. Baggerspecie kan vrijkomen bij milieubaggeren (onderhoud) of bij de aanleg van bijvoorbeeld nieuwe plassen of havens. Bij dit laatste voorbeeld gaat het niet zozeer om baggeren en baggerspecie als wel om hydraulisch transporteren van grond.

Consolidatiewater

Uittredend water ten gevolge van inklinking van baggerspecie door ontwatering.

Droge stofgehalte

In een veldvochtig monster wordt het vochtgehalte bepaald door verhoging van de temperatuur, waardoor het water en ander vluchtige stoffen, met uitzondering van kristalwater, uit het monster verdwijnen. Het massaverschil tussen voor en na het drogen is een maat voor het vochtgehalte. Dit kan omgerekend worden naar het droge stofgehalte.

Flocculant

Het positief geladen flocculant (ook wel polymeren of vlokmiddel genoemd) hecht zich aan de enigszins negatief geladen deeltjes baggerslib, waardoor de binding met het slib plaatsvindt.

Geotube®

De naam Geotube® is een geregistreerde merknaam van Ten Cate Geosynthetics. De tubes zijn grote worstvormige zakken van waterdoorlatend textiel, waarin het ontwateringsproces van baggerspecie plaatsvindt, mede door het toedienen van een flocculant.

Hydraulisch baggeren

Bij hydraulisch baggeren snijdt de baggerkop (snijkop) van een cutterzuiger de waterbodem mechanisch los. Vervolgens zuigt een pomp het grond- watermengsel op.

Het mengsel wordt hydraulisch getransporteerd van de werklocatie naar de opslaglocatie. Dit transport gebeurt met behulp van pijpleidingen die in verschillende afmetingen en koppelingsmechanismen toepasbaar zijn.

Afhankelijk van de te overbruggen afstand kunnen er opjaagstations (boosters) worden toegepast, die ervoor zorgen dat de baggerspecie ook over lange persafstanden getransporteerd kan worden.

Hydrocycloon

Een conusvormig apparaat voor de scheiding van baggerspecie in een zand en een slibfractie. De baggerspecie wordt vermengd met het water en tangentieel ingespoten. Hierdoor worden centrifugaalkrachten opgewekt die de zwaardere (zand)fractie tegen de wand slingeren en als onderstroom afgescheiden. Terwijl de fijne (slib)fractie aan de bovenzijde, als bovenstroom, de cycloon verlaat.

Immobilisatie

Binding van verontreinigde stoffen aan bijvoorbeeld slibdeeltjes, waardoor uitloging uitgesloten is.

Innovatief

Volgens het onlinewoordenboek Van Dale Hedendaags Nederlands is de definitie vernieuwend. Innovatie is echter meer dan alleen een technische verbetering. Het kan ook in bijvoorbeeld management of marketing plaatsvinden. Pas als een ontdekking in productie genomen wordt en meerwaarde heeft voor de onderneming, zelfs als dat in de vorm van kostenbesparingen is, kan het een innovatie genoemd worden.

Lozingswater (retourwater)

Alle waterstromen die een baggerdepot aan de bovenzijde verlaten (proceswater, consolidatiewater en hemelwater).

(Handreiking Doorgangsdepots Provincies Groningen en Drenthe 2006, p. 60)

Mobiele slibontwatering

Een mobiel ontwateringssysteem bestaat uit een mobiele opstelling van een pompunit en een eventuele zeefconstructie. Door de vrijgekomen baggerspecie te scheiden op de zeefconstructie en daarna te verdikken met polymeren in de pompunit, is het mogelijk de baggerspecie snel te hergebruiken. Door de zandfractie te verwijderen uit de baggerspecie door middel van cyclonage is hergebruik van zand mogelijk.

Onopgeloste bestanddelen

Deeltjes die na filtratie achterblijven op een poriegrootte van 45µm.

Ontwateringskist

Een verticale kist opgesteld in een baggerdepot, waarvan een zijde bestaat uit stapelbare liggende schotbalkjes die van bovenaf uitgenomen kunnen worden al naar gelang het waterniveau buiten de kist. Zo kan het bovenwater laagsgewijs naar buiten het compartiment worden afgevoerd.

Proceswater

Water dat wordt toegevoegd aan de baggerspecie om verschillende acties makkelijker te laten verlopen. Hierbij moet worden gedacht aan het transport per pijpleiding en het vermengen van de toegevoegde polymeren.

Retourwater

Alle waterstromen die het depot aan de bovenzijde verlaten; perswater, consolidatiewater en hemelwater.

Rijping

Nadat een zekere mate van ontwatering heeft plaatsgevonden wordt slib grond. Dit gebeurt onder de volgende omstandigheden: mineralisatie van organische stof, scheurvorming voor open grondstructuur en biologische processen.

Slib

Onder slib verstaan wij de deeltjes in baggerspecie die kleiner zijn dan de zandfractie (lutum e.d.)

Tijdelijk depot

Een depot dat wordt gebruikt om één partij baggerspecie te ontwateren en te rijpen. Nadat de partij ontwaterd en gerijpt is, wordt het depot ontmanteld. Een tijdelijk depot is veelal twee à drie jaar in gebruik. (Basisdocument Wm-vergunning baggerdepots HDSR, 2004, p. 6).

7 Literatuurlijst

Berg, B. van de, Vermeij, M.A. (2006) *Grondstromenbeleid Midden-Holland: Bodembeheerplan voor het omgaan met de bodemkwaliteitskaart en de Ministeriële Vrijstellingsregeling Grondverzet in de regio Midden-Holland*. Milieudienst Midden-Holland 2006

De 12 provinciale Milieufederaties & Stichting Natuur en Milieu (2002). *Wet verontreiniging oppervlaktewater*. Geraadpleegd op 14 maart 2007, www.milieuhulp.nl/water/page.php?antwoord=1&id=131&page=algemeen

Dreven, F. van, Gugten, R. van der, Jong, F. de, et al (2000) *Cultuurtechnisch Vademecum: handboek voor inrichting en beheer van het landelijk gebied*. Doetinchem: Elsevier bedrijfsinformatie bv

EMIS, *Bijlage 3: Technische fiches deel A: Voorbehandelingstechnieken*. Geraadpleegd op 10 april 2007, www.emis.vito.be/EMIS/Media/bbt_rapport_slibverwerking_bijlage3.pdf

Eugelink, P. (2006). *BALLEEN rapid dewatering system*. Geraadpleegd op 19 februari 2007, www.klaarbaggertechnieken.nl/index.php?lang=nl&page=shownews&id=113

Feyaerts, T., Huybrechts, D. en Dijkmans, R. (2002). *BBT voor mestverwerking tweede editie*. Geraadpleegd op 8 mei 2007, www.emis.vito.be/EMIS/Media/BBT_rapport_mest_volledig_rapport.pdf

Fowler, J. *Dewatering sewage sludge and hazardous sludge with geotextile tubes*. Geraadpleegd op 21 februari 2007, www.geotubes.com/geotubes_in_use/inuse_index.html

Herbich, John B. (1992). *Handbook of dredging engineering: second edition*. United States of America: McGraw-Hill Companies.

Herik, Y.R.J. van den, Vries, R.G.S. de, (2007) *Richtlijn werkvoorbereiding: Ingenieursbureau BCC bv*.

Isselt, P. van, Gerritsen, J., Hoorn, A. van den e.a. (1996). *Zo gezegd zo geschreven*. Groningen: Wolters-Noordhoff bv, The Netherlands.

Jak, S., Jaspers, C.J., Opmeer, M.G., et al (2004). *Basisdocument Wm-vergunningen baggerdepots HDSR*. Houten: Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden en Grontmij Nederland bv

Klaar baggertechnieken BV. *Cleaning and dewatering ponds in urban area's*. Geraadpleegd op 23 april 2007, www.klaarbaggertechnieken.nl/index.php?lang=nl&page=shownews&id=125

Kurstjens BV *Mobiele slibontwatering*. Geraadpleegd op 19 februari 2007, www.kurstjens.nl/?lng=5&mid=50&cid=651

Kurstjens BV (2005). *Nieuwsbrief*. Geraadpleegd op 19 februari 2007, www.kurstjens.nl/?lng=5&nid=3&cid=1022&uid=2048

Muysken, J. (1932). *Berekening van het nuttig effect van de vijzel*. De Ingenieur, 21, p. 77-91.

Nedfilter. *afbeelding kamerfilterpers*. Geraadpleegd op 23 april 2007, www.nedfilter.nl/Default.aspx?tabid=243

Nederhoed, P (2004). *Helder rapporteren: Een handleiding voor het opzetten en schrijven van rapporten, scripties, nota's en artikelen*. Houten (België): Bohn Stafleu Van Loghum.

Nijland, A. (2001). *Ontwatering baggerspecie m.b.v. geotubes*. Geraadpleegd op 20 februari 2007, www.reused.nl/files/presentatie2001/nijland.html

Nortier, I.W. & Koning, P. de (1991). *Toegepaste vloeistofmechanica: hydraulica voor waterbouwkundigen*. Houten: Educatieve Partners Nederland BV.

OVAM (2003). Overzicht en evaluatie van de verwerkingstechnieken baggerspecie.
Geraadpleegd op 13 maart 2007, www.ovam.be/jahia/Jahia/cache/off/pid/176?actionReq=actionPubDetail&fileItem=312

Riele, J.L.M. te, Hendriks, G.J.J., Schwartz, A.B.E.M. e.a. (2002). *Oever- en baggerwerk: GWW-boekje 2002*. Doetinchem: Klein Gunnewiek, H.J.M.
Het deel baggerwerk is samengesteld in samenwerking met Klip Bagger- en aannemingsmij. en Vis Baggergroep.

Rienks, J. (1998). *Karakterisatieproeven voor baggerspecie*.
Geraadpleegd op 25 april 2007, www.rijkswaterstaat.nl/rws/riza/waterremissies/Bibliotheek/Documenten/Waterbodems/POSW_deel_39.pdf

Rijkswaterstaat, Delft (2004). *Bouwen met BAGGERSPECIE dagelijkse praktijk!*
Geraadpleegd op 12 maart 2007, www.verkeerenwaterstaat.nl/kennisplein/uploaded/DWW/2005-01/256258/bouwen%20met%20baggerspecie_dagelijkse%20praktijk_scherm.pdf

Schuh, T. (2000). *afbeelding Archimedes*.
Geraadpleegd op 26 april 2007, www.lgl.lu/Departements/Physique/histoire-des-sciences-lgl/exposes-2000-2001/archimedes.htm

Spaans Babcock BV. *Vijzelpompen*.
Geraadpleegd op 20 april 2007, www.spaansbabcock.com/alg/downloads/brochures/nl_broc_vijzel.pdf

Stuurgroep Waterbodem (2004). *Handleiding en verspreiding en toepassing van bagger: Project Bagger en Bodem*. Geraadpleegd op 8 februari 2007, <http://virtmed.fnt.hvu.nl/pdf/handreikingbagger.pdf>

Vincent Corporation (2007). *afbeeldingen vijzelschroefpersen*.
Geraadpleegd op 8 mei 2007, www.vincentcorp.com/

VROM. *dossier: Wet milieubeheer*.
Geraadpleegd op 14 maart 2007, <http://www.vrom.nl/pagina.html?id=24184>

Wergroep Water 2000+, Provincie Groningen, Provincie Drenthe (2006). *Handreiking Doorgangsdepots Provincies Groningen en Drenthe*.

Westelijk Veenlandschap. *afbeelding veenlandschap*.
Geraadpleegd op 21 april 2007, <http://staff.science.uva.nl/~dcslob/lesbrieven/geo/veen.html>

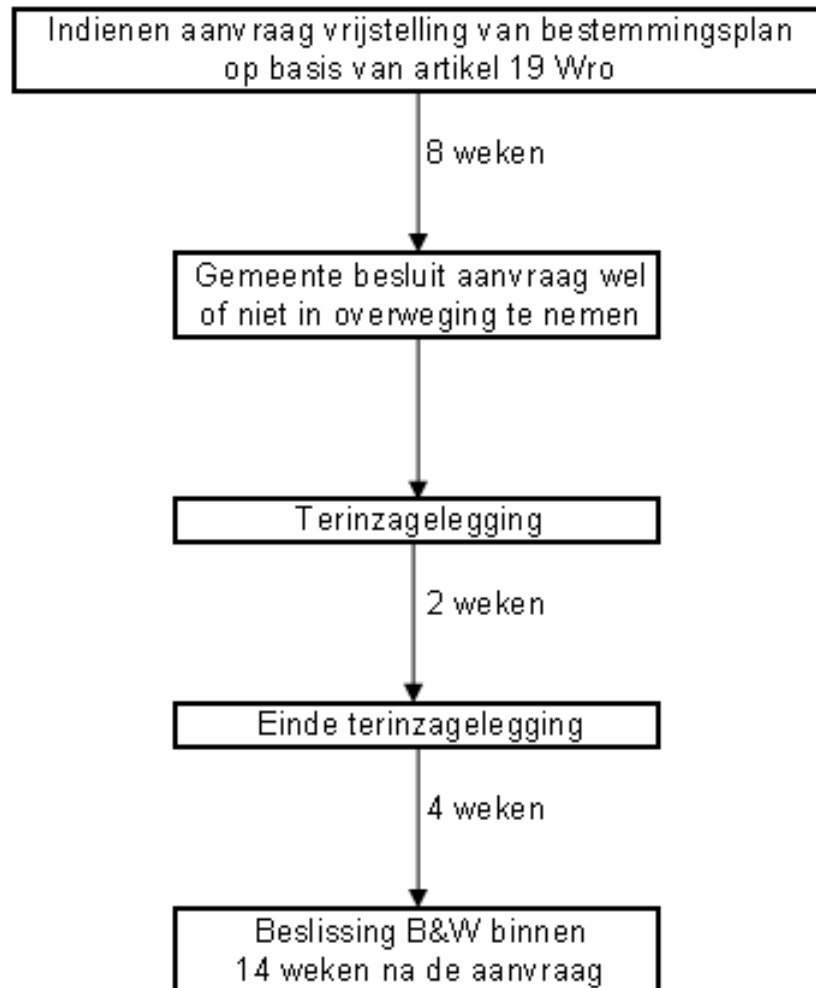
Bijlagen

- I Artikel 17-procedure (Wro)
- II Artikel 19-procedure (Wro)
- III Sedimentatie en filtratie
- IV Vijzelschroef ontwerp
- V Afbeelding inhoud waterkrul
- VI Boomdiagram verwerkingsmethodes baggerspecie
- VII Verwerkingsschema Archimedes Dewatering System

Tekeningnummer	Onderwerp	Onderdeel	Formaat
4 - 001	Archimedes Dewatering System	Overzicht met foto's	A1
4 - 002	Archimedes Dewatering System	Langsdoorsnede trog	A3
4 - 003	Archimedes Dewatering System	Langsdoorsnede containers	A3
4 - 004	Archimedes Dewatering System	Proces: Input, ontwateren, Output + detail	A3

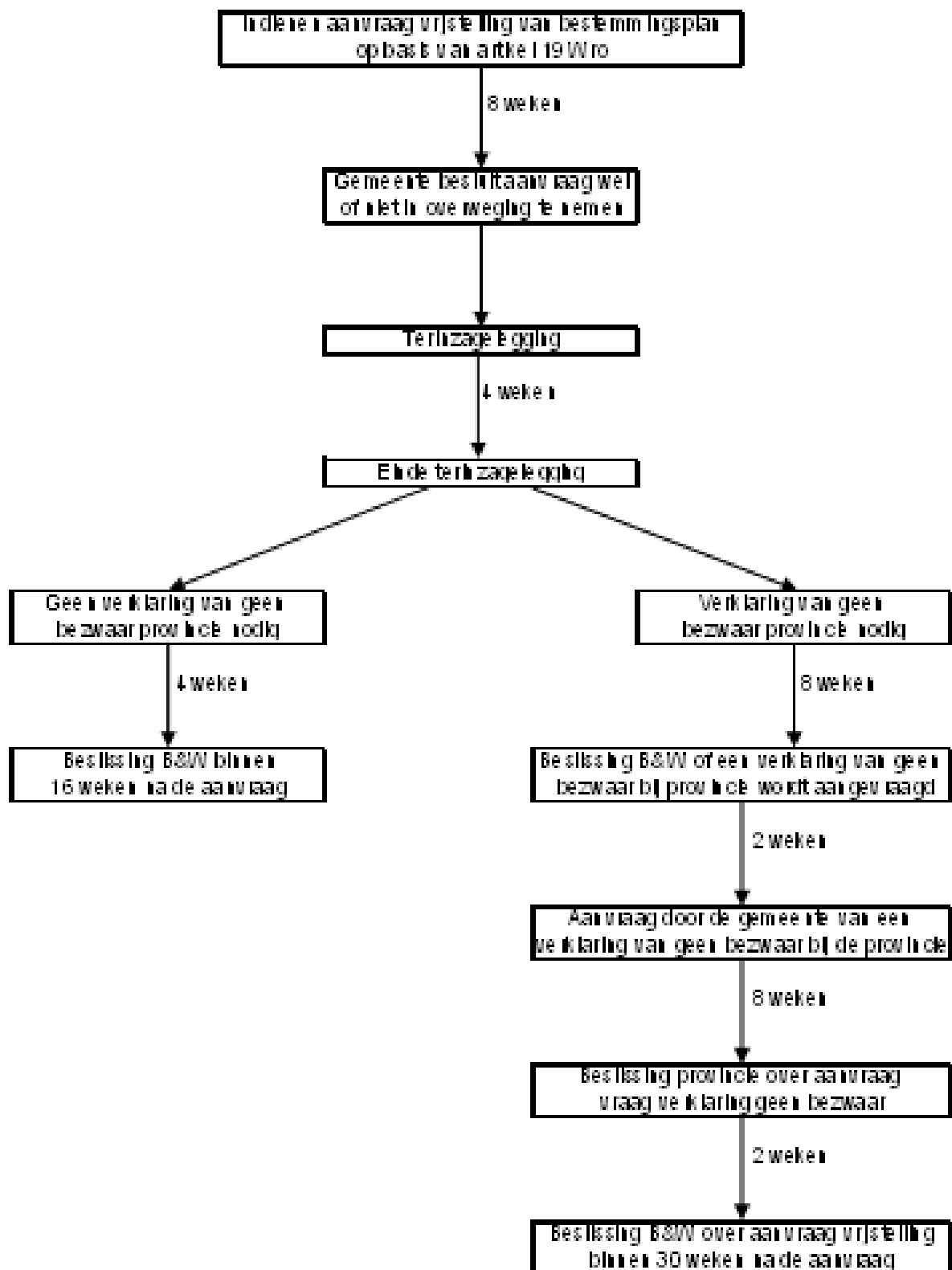
BIJLAGE I
ARTIKEL 17- PROCEDURE
(WRO)

Bijlage I : Artikel 17-procedure (Wro)



BIJLAGE II
ARTIKEL 19- PROCEDURE
(WRO)

Bijlage II : Artikel 19-procedure (Vvro)

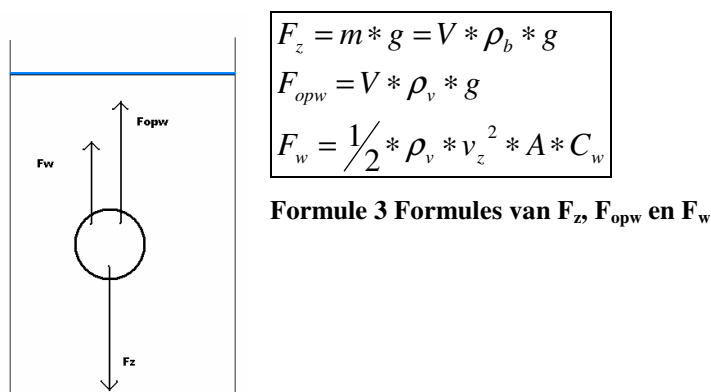


BIJLAGE III
SEDIMENTATIE EN FILTRATIE

Sedimentatie berekening

Om tot een berekening van de bezinkingssnelheid van deeltjes baggerspecie te komen, is er van uit gegaan dat de deeltjes rond zijn en zich in een vrijwel stilstaande vloeistof bevinden. Tevens is ervan uit gegaan dat de waarde van het Reynoldsgetal kleiner is dan 1,0. Dit is om de Wet van Stokes toe te passen in de berekeningen.

De deeltjes baggerspecie in het water verschillen van afmetingen en ook in massa. Hoe groter de massa van het deeltje, hoe groter de zwaartekracht F_z op het deeltje. Het ligt dan voor de hand om te veronderstellen dat de bezinkingssnelheid v_z ook hoger zal zijn. De zwaartekracht is echter niet de enige kracht die werkt op de deeltjes. Een deeltje baggerspecie bevindt zich in een vloeistof, waardoor er een opwaartse kracht F_{opw} werkt op het deeltje. Naast de genoemde krachten werkt er ook een wrijvingskracht F_w op het deeltje, dit is het gevolg van de neerwaartse beweging in de vloeistof. In figuur 2 zijn de aanwezige krachten weergegeven in een schets, in formule 1 staan de bijbehorende formules.



Figuur 37 Krachten werkzaam op deeltje

Lijst van gebruikte constanten en variabelen:

F_z	(N)	Zwaartekracht
F_{opw}	(N)	Opwaartse kracht
F_w	(N)	Wrijvingskracht
m	(kg)	Massa
g	(m/s ²)	Valversnelling
V	(m ³)	Volume
ρ_b	(kg/m ³)	Dichtheid bolletje
ρ_v	(kg/m ³)	Dichtheid vloeistof
v_z	(m/s)	Bezinkingssnelheid
A	(m ²)	Oppervlakte
C_w	(-)	Weerstandscoefficiënt
r	(m)	Straal bolletje
Re	(-)	Reynoldsgetal; aanduiding van stromingen (turbulent, laminair)
η	(kg/m.s)	Dynamische viscositeit vloeistof
ν	(m ² /s)	Kinematische viscositeit vloeistof

Door de zwaartekracht te verminderen met de opwaartse kracht wordt een naar ondergerichte resulterende kracht gevormd:

$$F_r = F_z - F_{opw}$$

$$F_r = V * (\rho_b - \rho_v) * g$$

Formule 4 Resulterende kracht als resultaat van F_z en F_{opw}

Door de onderstaande evenwichtsvergelijking op te stellen, kan uiteindelijk de bezinkingssnelheid van een deeltje worden bepaald.

$$F_r = F_w$$

$$V * (\rho_b - \rho_v) * g = \frac{1}{2} * \rho_v * v_z^2 * A * C_w$$

Formule 5 Evenwichtsvergelijking van de naar boven en onder gerichte krachten

Om de bovenstaande evenwichtsvergelijking te kunnen oplossen zijn een aantal gegevens nodig. Zo is het volume van een deeltje, de oppervlakte van een cirkel met de diameter van het deeltje, de weerstandscoefficiënt en dynamische viscositeit vereist.

$$V_{bol} = \frac{4}{3} * \pi * r^3$$

$$A_{cirkel} = \pi * r^2$$

$$Re = \frac{v_z * d}{\nu}$$

$$C_w = \frac{24}{Re} = \frac{24 * \nu}{v_z * d} = \frac{24 * \nu}{v_z * 2r}$$

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

Formule 6 Verschillende formules benodigd voor de berekening

Het invullen van de evenwichtsvergelijking met de bovenstaande gegevens levert de volgende oplossingen op.

$$\begin{aligned} \frac{4}{3} * \pi * r^3 * (\rho_b - \rho_v) * g &= \frac{1}{2} * \rho_v * v_z^2 * \pi * r^2 * C_w \\ \frac{4}{3} * \pi * r^3 * (\rho_b - \rho_v) * g &= \frac{12 * \nu * \rho_v * v_z^2 * \pi * r^2}{v_z * 2r} \\ \frac{4}{3} * \pi * r^3 * (\rho_b - \rho_v) * g &= 6 * \eta * v_z * \pi * r \end{aligned}$$

Formule 7 Ingevlude evenwichtsvergelijking

Uit formule 5 is de Wet van Stokes te halen, zie de onderstaande formule. De wet van George Gabriel Stokes is een wiskundige beschrijving van de kracht die benodigd is om een bolletje door een bewegingloze, viskeuze vloeistof te bewegen. De wrijvingskracht F_w die volgens Stokes werkt op het bolletje is hieronder beschreven.

$$F_w = 6 * \eta * v_z * \pi * r$$

Formule 8 Wet van Stokes

De Wet van Stokes is niet geschikt voor elk type deeltje en vloeistof, daarom is de formule uitgebreid met een correctiefactor K. Deze correctiefactor K is van toepassing op de vorm en ruwheid van de deeltjes, de turbulentie rondom de deeltjes en de invloed van de andere deeltjes.

$$F_w = K * (6 * \eta * v_z * \pi * r)$$

Formule 9 Aangepaste Wet van Stokes

Door de eerder genoemde evenwichtsvergelijking verder uit te werken kan de bezinkingssnelheid worden bepaald. Kennis van deze snelheid is van groot belang wanneer getracht wordt om onder meer de ontwateringstijd te verkorten. Door de bezinkingssnelheid te verhogen vindt de ontwatering van de baggerspecie sneller plaats.

$$\begin{aligned} v_z &= \frac{\frac{4}{3} * \pi * r^3 * (\rho_b - \rho_v) * g}{6 * \eta * \pi * r} \\ v_z &= \frac{4 * r^2 * (\rho_b - \rho_v) * g}{18 * \eta} \end{aligned}$$

Formule 10 Wiskundige weergave van de bezinkingssnelheid

Toepassing bezinkingssnelheden

Door enkele waarden van verschillende materialen in te vullen in formule 8 willen we meer duidelijk verkrijgen in de bezinkingssnelheid. De vloeistof waarin de bezinking plaatsvindt is water, hierdoor zijn de dichtheid vloeistof (ρ_v) en de viscositeit (η) vastgesteld.

De zinkende deeltjes zijn flugsand, veen en zand, de gegevens staat vermeldt in tabel 1.

Tabel 4 Verschillende variabelen met bijbehorende waarden.

Variabele / Soort	Water			
Dichtheid vloeistof ρ_v (kg/m ³)	1000			
Viscositeit η (kg/m.s)	$1,0 * 10^{-3}$			
Variabele / Soort	Flugsand	Ketelzand	Fijn zand	Grof zand
Straal r (m)	$10 * 10^{-6}$	$10 * 10^{-6}$	$50 * 10^{-6}$	$300 * 10^{-6}$
Dichtheid bolletje ρ_b (kg/m ³)	950	1150	1600	1750

In tabel 2 staan de gevonden bezinkingssnelheden per materiaal genoemd. Het is duidelijk dat de straal en de dichtheid van de deeltjes de snelheid sterk beïnvloeden.

Uit de berekeningen kan worden gehaald dat hoe grover de fractie en hoe groter de dichtheid. De bezinkingssnelheid zal toenemen. Een bijzonder geval is het materiaal flugsand; deze zandfractie kan een kleinere dichtheid hebben dan water, dit zorgt er voor dat de deeltjes van deze fractie niet bezinken.

Tabel 5 Bezinkingssnelheden per materiaal

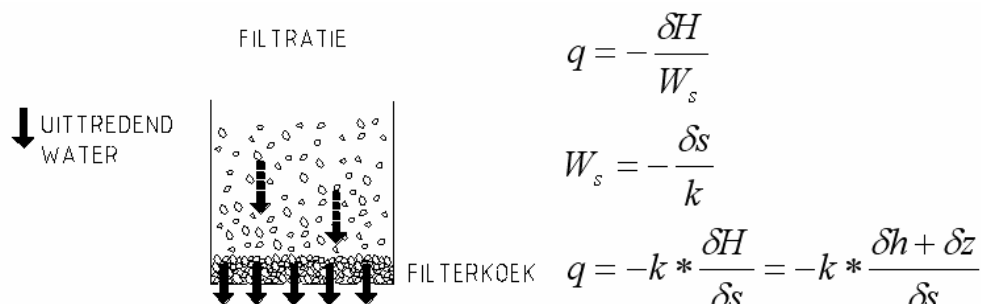
Materiaal	Bezinkingssnelheid	
Flugsand	0 m/s	(zwevende deeltjes)
Ketelzand	$3,27 * 10^{-5}$ m/s	(117,72 mm/h)
Fijn zand	0,00327 m/s	(3,27 mm/s)
Grof zand	0,14715 m/s	(147,15 mm/s)

Filtratie berekening

Om een filtratie berekening te maken wordt gebruik gemaakt van het grondwaterproces, met de daarbij horende stromingen. Deze stromingen zijn op te delen in stromingen door verzadigde (horizontale) en onverzadigde (verticale) zones. Om tot een berekening van de verticale stroming te komen zal eerst de horizontale stroming behandeld worden.

Hieronder in figuur 2 staat het basisprincipe van filtratie met de bijbehorende formules.

De drijvende kracht van een waterstroming tussen twee punten in de bodem is het verschil in hydraulische hoogte. Echter een stromingsweerstand uitgedrukt in tijd, zorgt voor een remmende werking. Deze weerstand tegen de waterstroming is evenredig met de afstand waarover de stroming plaatsvindt en omgekeerd evenredig met de waterdoorlatendheid van het de grondsoort. Het minteken in de vergelijking geeft aan dat het water stroomt in de richting waarin de hydraulische hoogte afneemt.



Figuur 38 Basisprincipe van filtratie

Lijst van gebruikte constanten en variabelen:

q	(m/s)	Filtersnelheid/ Specifiek debiet
H	(m)	Hydraulische hoogte/Energiehoogte
W_s	(s)	Stromingsweerstand in tijd uitgedrukt
δs	(m)	Stromingsafstand
k	(m/s)	Doorlaatbaarheidscoëfficiënt per grondsoort
i	(-)	Verhang van de energielijn
Q	(m ³ /s)	Debiet
A	(m ²)	Oppervlakte van de doorsnede van het grondmonster
h	(m)	Drukhoogte
z	(m)	Plaathoogte
p	(N/m ²)	Druk
g	(m/s ²)	Valversnelling
ρ_v	(kg/m ³)	Dichtheid vloeistof

Uit de formules bij figuur 2 kan een algemene en veel gebruikte stromingsvergelijking voor water en bodems worden gehaald: de Wet van Darcy. Door het debiet (Q) te delen door de oppervlakte (A) waardoor de stroming plaatsvindt, wordt de filtersnelheid gevonden.

$$\begin{aligned} q &= -k * i \\ i &= \frac{\delta H}{\delta s} \\ q &= \frac{Q}{A} \end{aligned}$$

Formule 11 Wet van Darcy met bijbehorende vergelijkingen

Hierboven is de Wet van Darcy beschreven voor stromingen door verzadigde zones, door een kleine aanpassing van deze formule kan ook de snelheid van de stroming door de onverzadigde zone bepaald worden. Door de stromingsafstand (δs) gelijk te stellen aan het verschil in plaatshoogte (δz), wordt de Wet van Darcy geschikt voor het berekenen van de verticale stromingssnelheid.

$$q = -k * \left(\frac{\delta h + \delta z}{\delta z} \right) = -k * \left(\frac{\delta h}{\delta z} + 1 \right)$$

Formule 12 Vergelijking van de filtersnelheid door de onverzadigde zone

Door het piëzometrisch niveau, ook wel drukniveau genoemd, ten opzichte van een vergelijkingsvlak te ontbinden uit de Wet van Bernoulli, kan de stijghoogte worden bepaald aan de hand van het drukverschil.

$$\begin{aligned} H &= \frac{p}{\rho_v + g} + z \\ \delta H &= \frac{\delta p}{\rho_v + g} + \delta z \end{aligned}$$

Formule 13 Vergelijking van de stijghoogte uit de Wet van Bernoulli

Door het verschil in stijghoogte uit formule 11 te verwerken in formule 10, wordt de onderstaande vergelijking gevonden.

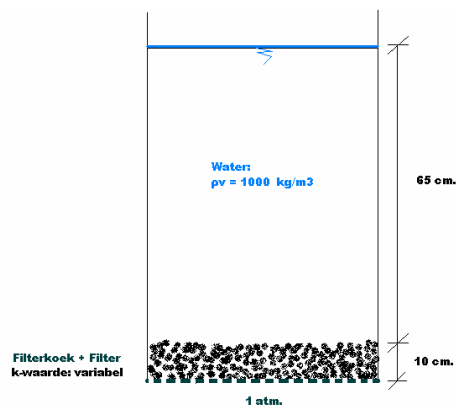
$$q = -\frac{k}{\rho_v * g} * \frac{\delta p}{\delta z}$$

Formule 14 Vergelijking van de filtersnelheid aan de hand van het drukverschil

Om de ontwatering van baggerspecie te versnellen, moet de filtersnelheid verhoogd worden. Hierin speelt het drukverschil een belangrijke rol, door het drukverschil te vergroten zal de filtersnelheid toenemen en het ontwateringsproces versneld worden.

Toepassing filtersnelheden

Voor het vinden van enkele filtersnelheden zal een fictieve proefopstelling worden gemaakt. Hierbij gaat het om een bakmodel met daarin een filterkoek van 10 cm van verschillende grondsoorten, het filter medium zal zo geperforeerd zijn dat het overeenkomt met de doorlaatbaarheid van de betreffende grondsoort. In de bak zal 75 cm water staan. In figuur 3 staat een schematisering van het bakmodel weergegeven. Tevens zullen in tabel 3 verschillende waarden worden gegeven die worden gebruikt tijdens de berekening van de filtersnelheid.



Figuur 39 Weergave van het bovengenoemde bakmodel

Tabel 6 Verschillende variabelen met bijbehorende waarden

Variabele / Soort	Water	(p = ρ*g*h)		
Dichtheid vloeistof pv (kg/m3)	1000			
Drukverschil δp (Pa)	7357,5			
Plaatshoogteverschil δz (m)	0,1			
Variabele / Soort	Klei	Veen	Fijn zand	Grof zand
Doorlatendheidsfactor k (m/s)	1,0 * 10 -10	1,0 * 10 -8	1,0 * 10 -5	1,0 * 10 -3

De uitkomsten in tabel 4 geven aan dat ertussen de filtersnelheden per grondsoort grote verschillen zitten. Zo filtert klei bijna helemaal niet, vrijwel een waterafsluitend pakket, en is grof zand een uitstekende filter.

Tabel 7 Gevonden filtersnelheden per materiaal

Materiaal	Filtersnelheid
Klei	$7,5 \cdot 10^{-10}$ m/s $2,7 \cdot 10^{-3}$ mm/uur
Veen	$7,5 \cdot 10^{-8}$ m/s $0,27$ mm/uur
Fijn zand	$7,5 \cdot 10^{-5}$ m/s 270 mm/uur
Grof zand	$7,5 \cdot 10^{-3}$ m/s 27 m/uur

Sedimentatie en Filtratie vijzelschroef

Hiervoor zijn de processen, sedimentatie en filtratie, behandeld die aan de basis liggen van het ontwateren van onder meer baggerspecie. Door deze processen toe te passen op de vernieuwende ontwateringstechniek, de vijzelschroef, wordt getracht de optimale afstelling voor dit apparaat te vinden. Hieronder zullen beide processen worden behandeld.

Toepassing sedimentatie

Door het toevoegen van polymeren tijdens het baggerproces wordt de sedimentatie versneld. Deze snellere sedimentatie is het gevolg van een verhoogde bezinkingssnelheid. Voor verdere details, zie het onderwerp: maatregelen om de bezinkssnelheid te verhogen.

Toepassing filtratie

Het principe van de vernieuwde techniek van ontwateren, is de baggerspecie op te vijzelen met een schroefvijzel en deze dan te ontwateren via perforaties in de mantel van de schroefvijzel. Aan de hand van de vloggrootte van de behandelde baggerspecie zal de grootte van de perforaties worden bepaald. Vervolgens zal een k-waarde aan deze perforaties worden gegeven. Mede met deze k-waarde kan de filtersnelheid van de geperforeerde vijzelschroef worden bepaald.

Lijst van gebruikte constanten en variabelen:

v	(m/s)	Bezinkingssnelheid
g	(m/s ²)	Valversnelling
R	(m)	Hydraulische straal
A	(m ²)	Oppervlakte
ν	(m ² /s)	Kinematische viscositeit vloeistof
k	(m/s)	Doorlaatbaarheidscoëfficiënt
i	(-)	Verhang van de energielijn
O	(m)	Omtrek

In het theoretische gedeelte is dan wel de formule voor de filtersnelheid bepaald, echter de werkelijke snelheid waarmee de waterdeeltjes door de grondporiën stromen is groter dan deze filtersnelheid. Het verschil bestaat uit een factor 2,5 over de gevonden filtersnelheid.

$$v_{\text{werkelijk}} = 2,5 * v$$

Formule 15 Omrekenformule van werkelijke filtersnelheid

Met behulp van formule 13 is het mogelijk de doorlatendheidscoëfficiënt (k) globaal te bepalen. De onderstaande formule, de Wet van Poiseuilli, geeft de stroomsnelheid voor een laminaire stroming in een gesloten leiding.

$$v = \frac{g * R^2}{2 * \nu} * i$$

Formule 16 Wet van Poiseuilli

Door de Wet van Poiseuille en de omrekenformule van de werkelijke filtersnelheid te koppelen wordt de onderstaande formule verkregen. Met deze formule is de k-waarde te bepalen aan de hand van de hydraulische straal van de perforatie.

$$\begin{aligned} v_w &\approx 2,5 * k * i \\ v &= \frac{g * R^2}{2 * v} * i \\ 2,5 * k &\approx \frac{g * R^2}{2 * v} \end{aligned}$$

De kinematische viscositeit (ν) van water bij 20 °C is $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Wanneer deze waarde in formule 15 wordt ingevuld, wordt formule 16 verkregen.

Formule 17 Vergelijking van verschillende formules

$$k \approx \frac{9,81 * R^2}{5 * 10^{-6}} = 1,96 * 10^6 * R^2$$

Formule 18 Vergelijking van de k-waarde met de hydraulische straal

De hydraulische straal van een perforatie in de mantel van de vijzelschroef wordt berekend aan de hand van de onderstaande formule. Hierin wordt de straal gevonden met behulp van de oppervlakte en de omtrek van de perforatie. Deze perforatie wordt bepaald aan de hand van de vloggrootte van de met polymeer behandelde baggerspecie.

Deze vloggrootte is moeilijk vast te stellen en is erg afhankelijk van het type polymeer, het soort en de klasse baggerspecie. Een gemiddelde waarde van de vloggrootte kan worden geschat op 500 μm . Deze waarde is bepaald aan de hand van onderzoek van MBR Varsseveld en metingen aan bestaande ontwateringssystemen. Door ontwateringssleuven toe te passen, wordt het ontwateringsproces verbeterd. In de mantel van de schroefvijzel zullen sleuven worden gemaakt van 500 μm . x 0,10 m. Zie formule 17 voor de berekening van de hydraulische straal.

$$\begin{aligned} A_{\text{perforatie}} &= (0,5 * 10^{-3}) * (0,10) = 5,0 * 10^{-5} \text{ m}^2 \\ O_{\text{perforatie}} &= 2 * (0,5 * 10^{-3}) + 2 * (0,10) \approx 0,20 \text{ m} \\ R_{\text{perforatie}} &= \frac{A}{O} = \frac{5,0 * 10^{-5}}{0,20} = 2,5 * 10^{-4} \text{ m} \end{aligned}$$

Formule 19 Berekeningen ten behoeve van het bepalen van de hydraulische straal

$$k \approx 1,96 * 10^6 * R^2 = 1,96 * 10^6 * (2,5 * 10^{-4})^2 = 0,1225 \text{ m} / \text{s}$$

Formule 20 De doorlatenheidscoëfficiënt van de schroefvijzel

Door de onderstaande formule in te vullen met de bekende gegevens zal de filtersnelheid van de schroefvijzel bepaald worden. De dikte van de filterkoek zal beperkt blijven doordat de bladen van de vijzelschroef vlak langs de mantel zullen gaan. Hierdoor wordt de δz vrijwel alleen bepaald door de dikte van de mantel. Het drukverschil is bepaald aan de hand van de hoeveelheid water op de bladen van de schroefvijzel, hier is uitgegaan van 30 cm. water per blad.

$$q = - \frac{k}{\rho_v * g} * \frac{\delta p}{\delta z}$$

Formule 21 Vergelijking van de filtersnelheid aan de hand van het drukverschil

$$\begin{aligned} k &= 0,1225 \text{ m/s} \\ \rho_v &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\ \delta p &= 1000 \text{ kg/m}^3 * 9,81 \text{ m/s}^2 * 0,30 \text{ m.} = 2943 \text{ Pa} \\ \delta z &= 0,05 \text{ m.} \end{aligned}$$

q = - 0,735 m/s (filtersnelheid per sleuf)

Met deze filtersnelheid kan het geperforeerde gedeelte van de mantel van de schroefvijzel de baggerspecie ontwateren. Het bereiken van deze filtersnelheid zal echter een illusie blijven, door proeven te doen zal uit de praktijk moeten blijken welke filtersnelheid te halen is met het Archimedes Dewatering System.

BIJLAGE IV
VIJZELSCHROEF ONTWERP

Vijzelschroef ontwerp

In dit hoofdstuk zal eerst de theorie achter enkele ontwerpregels van schroefvijzels worden beschreven, vervolgens zal de toepassing van deze theorie en ontwerpregels op het Archimedes Dewatering System aanbod komen.

Theorie

Lijst van gebruikte constanten en variabelen:

Q_n	(m ³ /min)	Nominaal debiet/opbrengst
Q_w	(m ³ /min)	Werkelijk debiet/opbrengst
n	(omw./min)	Toerental vijzel
a	(-)	Aantal gangen
I_w	(m ³)	Inhoud waterkrul
I_s	(m ³)	Inhoud schaal
α	(°)	Hoek van waterstand op vijzelblad, zie figuur 1
r	(m)	Straal
h	(m)	Ruimte tussen twee gangen
D	(m)	Buitendiameter vijzel
d	(m)	Balkdiameter vijzel
z	(-)	Verkleiningsfactor t.b.v. de bepaling van de dikte van de schaal (D/z)
S	(m)	Spoed, afstand tussen twee 'golftoppen' van eenzelfde gang
f	(-)	Factor voor het bepalen van de straal van een schaal
q	(m ³)	Theoretische inhoudsfactor
σ	(-)	Verhouding van de spoed tot de buitendiameter
R	(m)	Hydraulische straal
E	(-)	Correctiefactor over het nominale debiet (Gem. $E = 1,15$)
β	(°)	Helling vijzel t.o.v. de horizon
δ	(-)	Verhouding balkdiameter tot buitendiameter (d/D)
σ	(-)	Verhouding spoed tot diameter ($S:D$)

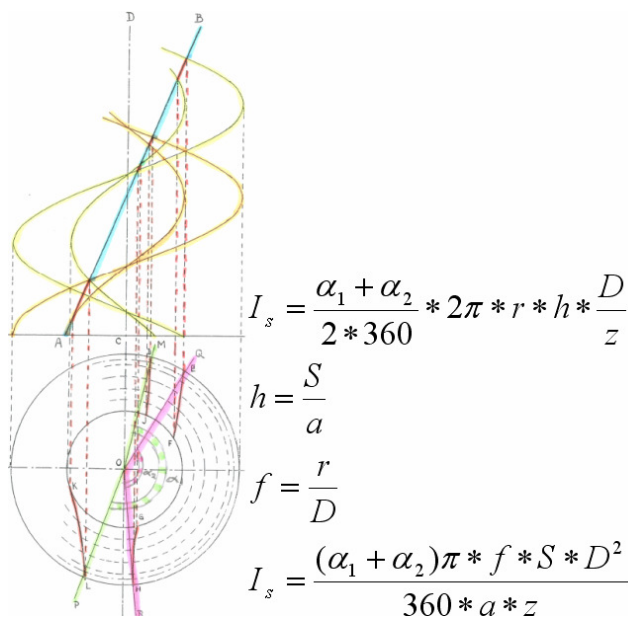
Berekening van het debiet/opbrengst

Om het debiet van een vijzel te kunnen berekenen moeten er eerst wat termen verklaard worden. Het debiet van een vijzel is namelijk gelijk aan het aantal omwentelingen, maal het aantal gangen, maal de inhoud van de waterkrul, zie formule 1. Hierin is het aantal gangen, het aantal losse vijzelbladen op de vijzelschroef. De waterkrul is het volume water dat tussen twee opvolgende vijzelbladen en de trog wordt vastgehouden.

$$Q_n = n * a * I_w$$

Formule 22 Nominale opbrengst van een vijzel

Om de bovenstaande formule te kunnen invullen zal eerst de inhoud van een waterkrul bepaald moeten worden. Dit wordt gedaan door eerst de inhoud van een schaal te bepalen a.d.h.v. figuur 1. Hierin worden de hoeken α_1 en α_2 gevonden door een waterkrul verticaal te tekenen, op een vlak evenwijdig aan de vijzelas en een projectie ervan op een vlak loodrecht op de vijzelas.



Figuur 40 Berekening van de inhoud van een schaal (grotere afbeelding => zie bijlage V)

Door de oppervlakte van een schaal, waarop water staat, te vermenigvuldigen met de ruimte tussen twee gangen, ontstaat een formule om de inhoud van een schaal te berekenen. Deze formule kan herschreven worden door de toepassing van het verwaarlozen van de dikte van het vijzelblad ($S/a=h$), en een factor voor het berekenen van de straal van een schaal ($r/D=f$). Voor de uiteindelijke vergelijking van de inhoud van een schaal zie de formule bij figuur 1.

De inhoud van een waterkrul wordt vervolgens verkregen door een sommatie te maken van de inhoud van de onderlinge schalen, de formule die hieruit komt staat hieronder.

$$I_w = \frac{\pi * S * D^2}{360 * a * z} \sum f_i^{i=1-5} (\alpha_1 + \alpha_2)$$

Formule 23 Vergelijking ter bepaling van de inhoud van een waterkrul

Met behulp van de bovenstaande formule kan de vergelijking voor het bepalen van de nominale opbrengst worden ingevuld.

$$Q_n = n * a * I_w = \frac{\pi * n * S * D^2}{360 * z} \sum f_i^{i=1-5} (\alpha_1 + \alpha_2)$$

Formule 24 Nominale opbrengst inclusief de inhoud van een waterkrul

De formule van de nominale opbrengst van een schroefvijzel kan ook in een andere, bekendere vorm worden geschreven. Hieronder staat deze vergelijking weergegeven.

$$Q_n = q * n * D^3$$

$$q = \frac{\pi * \sigma}{360 * z} \sum f_i^{i=1-5} (\alpha_1 + \alpha_2)$$

Formule 25 Variant op de bepaling van de nominale opbrengst

Met behulp van formule 4 kan de nominale opbrengst sneller en gemakkelijker berekend worden, dit doordat ir. J. Muysken een tabel heeft opgesteld voor het bepalen van de theoretische inhoudsfactor q . Deze tabel, zie tabel 1, geeft de waarde q bij verschillende waarden voor: de verhouding van spoed tot diameter (σ), de verhouding van diameter van de balk tot buitendiameter (δ) en de helling ten opzichte van de horizon (β).

Tabel 8 Theoretische inhoudsfactor q (ir. J. Muysken, De Ingenieur)

d/D	$\beta = 22^\circ$		$\beta = 26^\circ$			$\beta = 30^\circ$	
	S = D	S = 1,2 D	S = 0,8 D	S = D	S = 1,2 D	S = 0,8 D	S = D
0,3	0,288	0,291	0,238	0,250	0,249	0,214	0,213
0,4	0,304	0,329	0,248	0,276	0,281	0,228	0,236
0,5	0,300	0,330	0,244	0,276	0,298	0,227	0,250
0,6	0,274	0,305	—	0,258	0,284	—	0,237

Er is tot nu toe steeds van een nominale opbrengst gesproken, dit is niet zonder reden. De werkelijke opbrengst wijkt namelijk erg af van deze nominale opbrengst. Bij vijzels doet zich echter het merkwaardige verschijnsel voor, dat de werkelijke opbrengst groter is dan de theoretische opbrengst. Er zijn echter wel een aantal voorwaarden voor het verkrijgen van deze grotere werkelijke opbrengst:

- Benedenwaterstand niet lager dan de theoretische waarde.
- Bovenwaterstand niet hoger dan de door ir. J. Muysken gevonden waarden.
- Spleetwijdte niet groter dan de door ir. J. Muysken gevonden waarden.
- Aantal omwentelingen niet te laag, later hier meer over.

Voor het ontstaan van deze grotere werkelijke waarden t.o.v. de theoretische waarden zijn de volgende redenen gevonden:

- Afdruipend water langs de balk van de vijzel wordt door de veelal snelle rotatie van de vijzel toch nog opgeheveld.
- Door wrijving voeren de vijzelbladen langs de omtrek een zekere hoeveelheid water op.

Daartegenover staan enkele redenen die de opbrengst negatief beïnvloeden:

- Werkelijke opbrengst bij open vijzels is lager dan bij gesloten vijzels, dit door lekkage tussen de vijzelbladen en de opleider.
- Bij een te hoge buitenwaterstand (de waterstand boven aan de vijzel) komt het getransporteerde water via de vijzel weer terug.

Aan de hand van de bovenstaande gegevens zijn er vele proeven gedaan om de correctiefactor over de nominale opbrengst te bepalen. ir. J.C. Horsch kwam tot een maximale opbrengst die bijna 30% boven de theoretische opbrengst ligt. ir. J. Muysken kwam dankzij meerdere proeven tot een correctiefactor van 1,13 tot 1,20, dit volgende uiteindelijk in de formule van Muysken:

$$Q_w = E * q * n * D^3$$

$$E = 1,15$$

Formule 26 De formule van Muysken

Berekening van het toerental

Door een verband tussen het toerental en de diameter van de vijzel zijn verschillende formules opgesteld voor het optimale aantal omwentelingen als functie van de diameter. Verschillende ingenieurs zijn in het verleden tot de volgende formules gekomen:

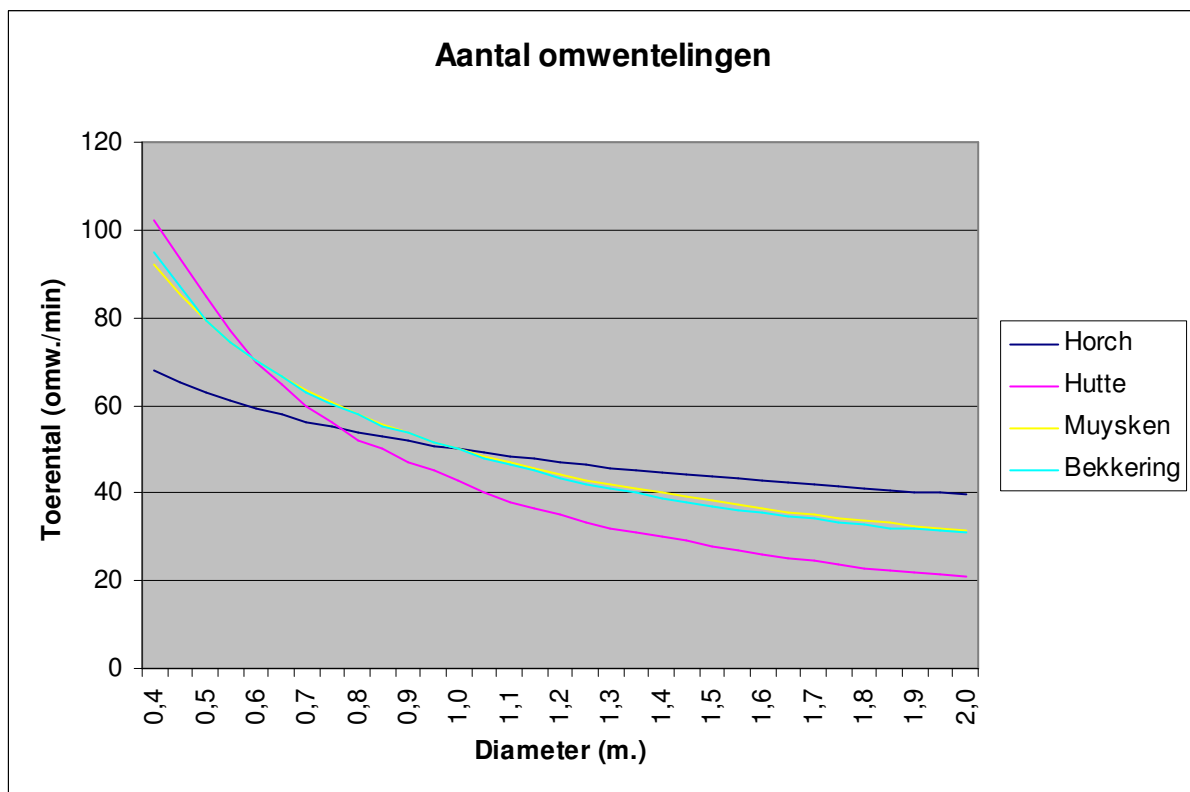
$$n < \frac{21}{R}$$

Formule 27 Hütte

$$n = \frac{50}{\sqrt[3]{D}}$$

Formule 28 Horch

Beide formules benaderen het werkelijke toerental vrij nauwkeurig, echter er zijn wel enkele verschillen met de werkelijke snelheid van de vijzel. In grafiek 1 is duidelijk te zien dat de door Hütte en Horch bepaalde waarden wel iets afwijken van de door de heer Bekkering gevonden praktijk waarden.



Grafiek 1 Toerental vijzel per buitendiameter

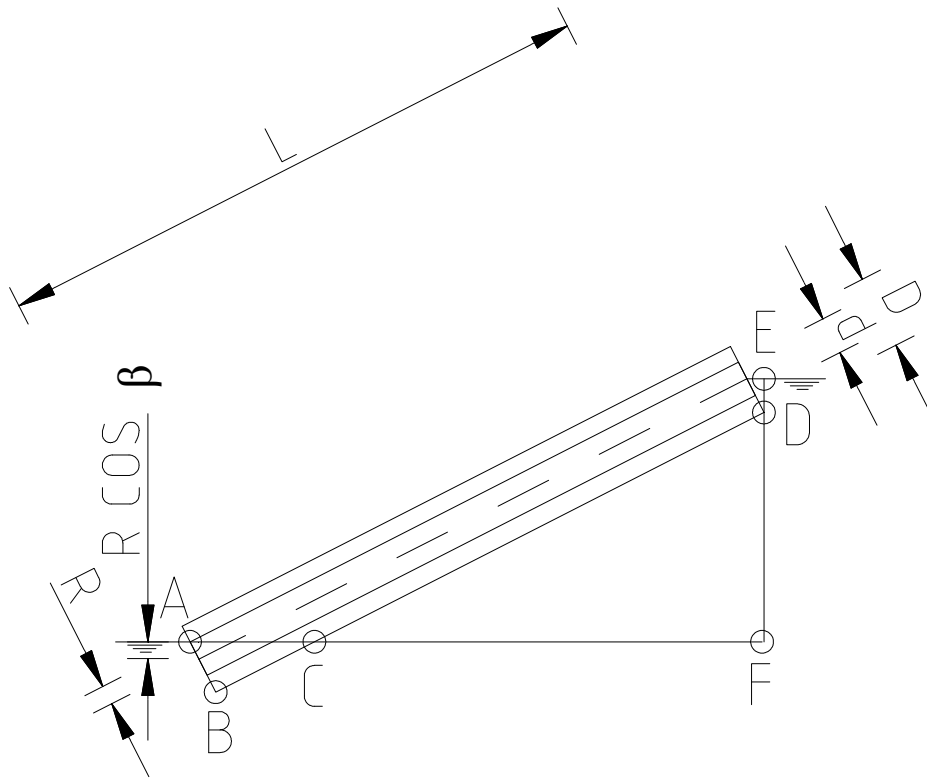
Ingenieur J. Muysken heeft een benadering van het toerental gevonden wat vrijwel overeenkomt met de uit de praktijk gevonden waarden. Door de formule van Horch te gebruiken en daarin de diameter te kwadrateren is de onderstaande aanneming gevonden.

$$n = \frac{50}{\sqrt[3]{D^2}}$$

Formule 29 Muysken

Berekening van de lengte

Voor de berekening van de lengte van de vijzel wordt uitgegaan van een opstelling waarbij de vijzel aan de onderzijde tot aan de balk in het water zit. De benedenwaterstand is dan $r \cos \beta$ boven het hart van de vijzel. De optimale werking van de vijzel aan de onderzijde wordt behaald wanneer de vijzel op deze manier is opgesteld. Aan de bovenzijde zal de bovenwaterstand op een afstand van $k.D$ van het stortpunt worden genomen. Ook in deze situatie is een optimale werking van de vijzel de belangrijkste reden. Aan de hand van verschillende proeven is een maximale waarde van 0,15 voor k bepaald. Voor een visualisering van de opstelling is figuur 2 toegevoegd.



Figuur 41 Schematische weergave van een vijzel: A= vulpunt, B= tastpunt, C= raakpunt trog/onderwaterstand, D= stortpunt en E=tegenmaaspunt

Aan de bovenstaande figuur kunnen enkele afstanden worden ontleend die nodig zijn om de lengte van de vijzel te bepalen. Hieronder staat een opsomming van deze afstanden:

$$\begin{array}{lll} A - B \Rightarrow \frac{D + d}{2} & D - F \Rightarrow H - k.D & E - F \Rightarrow H \\ B - C \Rightarrow \frac{D + d}{2 * \tan(\beta)} & C - D \Rightarrow \frac{H - k.D}{\sin(\beta)} & \end{array}$$

De lengte van de vijzel kan nu bepaald en uitgedrukt worden in de verschillende variabelen:

$$L = (B - C) + (C - D) = \frac{D + d}{2 * \tan(\beta)} + \frac{H - k.D}{\sin(\beta)}$$

Formule 30 Vergelijking voor de berekening van de lengte van een vijzel

Deze formule kan ook worden geschreven als:

$$L = \frac{H}{\sin(\beta)} + p.D$$

$$p = \frac{1 + \delta}{2 * \tan(\beta)} - \frac{k}{\sin(\beta)}$$

Formule 31 Vijzellengte volgens Muysken

Het voordeel van deze formule is dat ir. J. Muysken ook de waarde p in tabel heeft gezet voor verschillende vijzels, van diverse soorten en maten.

Tabel 9 De waarde p voor lengte berekeningen (ir. J. Muysken, De Ingenieur)

d/D	$\beta = 22^\circ$		$\beta = 26^\circ$			$\beta = 30^\circ$	
	S = D	S = 1,2 D	S = 0,8 D	S = D	S = 1,2 D	S = 0,8 D	S = D
0,3	0,57	0,73	0,44	0,60	0,74	0,42	0,58
0,4	0,61	0,77	0,45	0,61	0,77	0,47	0,61
0,5	0,61	0,79	0,47	0,63	0,79	0,50	0,64
0,6	0,65	0,83	-	0,66	0,82	-	0,64

Theorie toepassing op vijzelschroef

Voor het bepalen en berekenen van de afmetingen en afstellingen van het Archimedes Dewatering System zijn er enkele gegevens nodig. De volgende gegevens zijn bepaald aan de hand van beredenering of verkregen door derden die kennis van zaken hebben:

Q_w	=	400 m ³ /uur => 6,67 m ³ /min (werkelijke debiet dat de vijzel moet kunnen verwerken, bepaald a.d.h.v. de productie van een cutterzuiger)
S	=	D (spoedafstand van de vijzel is gelijk aan de buitendiameter van de vijzel)
d	=	0,5 D (balkdiameter is de helft van de buitendiameter van de vijzel)
β	=	30° (opstellingshoek is mogelijk van 22° tot 40°, 30° is niet te stijl en toepasbaar in een container)
a	=	3 (aantal gangen is standaard vaak twee of drie)

Buitendiameter en toerental

Met de onderstaande formule hebben we de diameter en het toerental van de vijzel berekend:

$$Q_n = n * a * I_w = \frac{\pi * n * S * D^2}{360 * z} \sum f_i^{i=1-5} (\alpha_1 + \alpha_2)$$

Door de volgende getallen in te vullen, is het debiet bepaald:

Q	=	6,67	m ³ /min
n	=	$50 / ({}^3\sqrt{D^2})$	omw./min
a	=	3	
z	=	5	
f	=	13/8 D	
$(\alpha_1 + \alpha_2)$	=	300°	
D	=	0,57 m	=> $n \approx 72$ omw./min

Deze waarde is te controleren met de formule van Muysken en de tabel met verschillende theoretische inhoudsfactoren:

$$Q_w = E * q * n * D^3$$

$$E = 1,15$$

Door de volgende getallen in te vullen, is het debiet bepaald:

Q	=	6,67	m ³ /min
n	=	$50 / ({}^3\sqrt{D^2})$	omw./min
q	=	0,250	(tabel: $\beta = 30^\circ$, $S = D$, $d/D = 0,5$)
D	=	0,72 m	=> $n \approx 62$ omw./min

Het verschil tussen beide waarden is te verklaren door aflees- en afrondfouten, het kiezen van een te kleine waarde voor z , etc. De waarden die in de tabel staan genoemd zijn ook indicaties en geen exacte waarden. Alles bijeen is het verschil tussen beide buitendiameters en het bijbehorende toerental vrij beperkt en kan worden uitgegaan van een waarde tussen deze twee in.

Vijzellengte

De lengte van de vijzel in het Archimedes Dewatering System is de som van afstand van het tastpunt tot aan de onderwaterstand en de afstand van deze onderwaterstand tot het stortpunt. Met behulp van de onderstaande formule kan deze afstand bepaald worden.

$$L = (B - C) + (C - D) = \frac{D + d}{2 * \tan(\beta)} + \frac{H - k.D}{\sin(\beta)}$$

Door de volgende getallen in te vullen, is de lengte bepaald:

D	=	0,65	m (gem. van 0,57 en 0,72 m)
d	=	0,325	m
β	=	30	°
H	=	2,50	m
k	=	0,33	(tabel: $\beta = 30^\circ$, $S = D$, $d/D = 0,5$, De Ingenieur)
L	=	5,42	m

Deze waarde is te controleren met de formule van Muysken en de tabel met verschillende waarden voor de factor p:

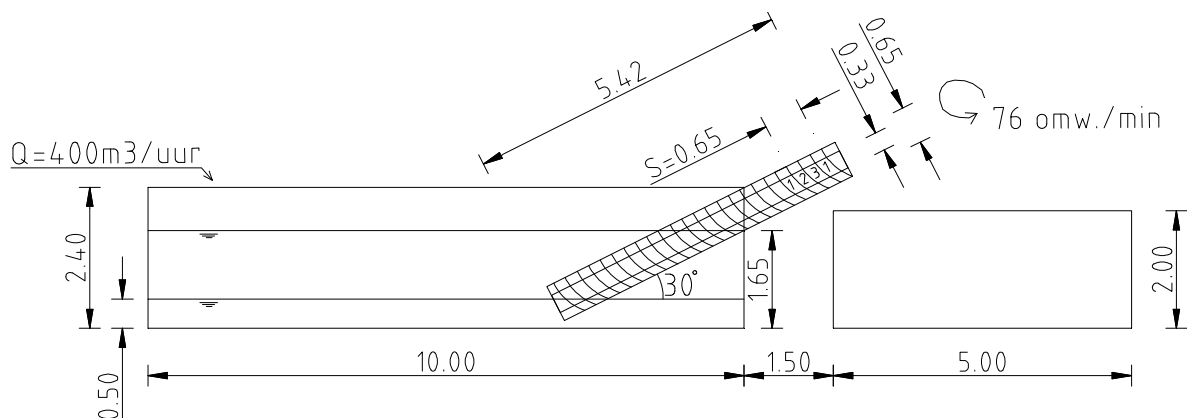
$$L = \frac{H}{\sin(\beta)} + p.D$$

$$p = \frac{1 + \delta}{2 * \tan(\beta)} - \frac{k}{\sin(\beta)}$$

Door de volgende getallen in te vullen, is de lengte bepaald:

H	=	2,50	m
β	=	30	°
p	=	0,64	(tabel: $\beta = 30^\circ$, $S = D$, $d/D = 0,5$, De Ingenieur)
D	=	0,65	m (gem. van 0,57 en 0,72 m)
L	=	5,42	m

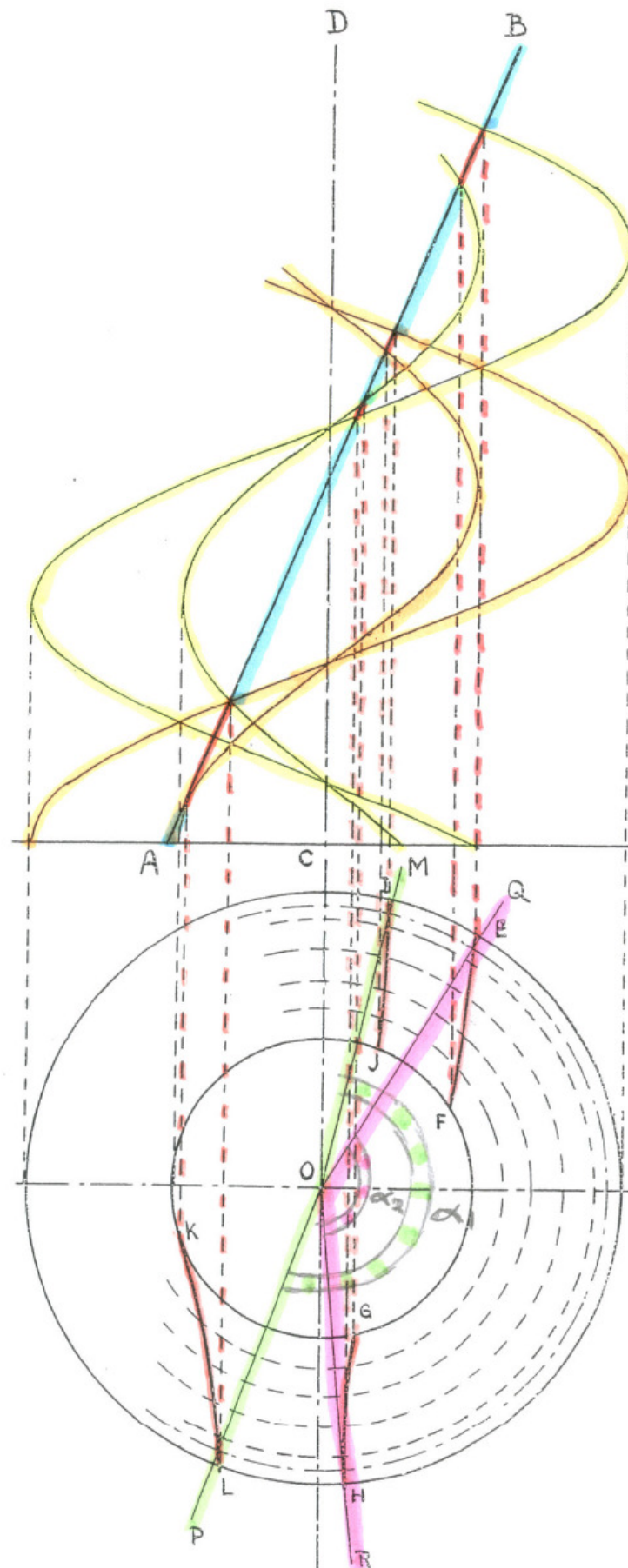
Hieronder staat een voorbeeld van de opstelling met de vijzel en de waarden waarmee gerekend is.



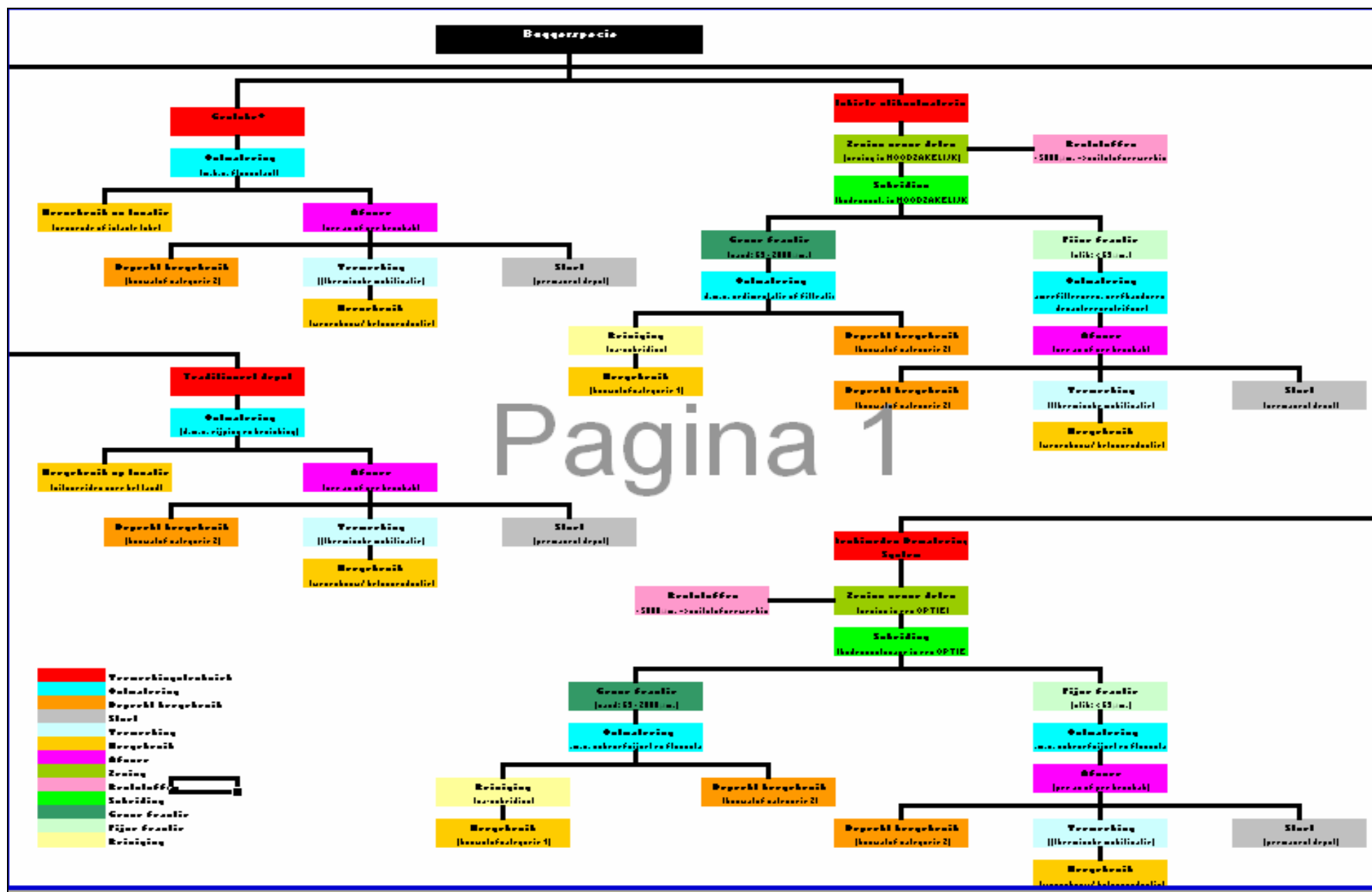
Figuur 42 Opstelling van Archimedes Dewatering System

BIJLAGE V
AFBEELDING INHOUD WATERKRUL

Bijlage V: Afbeelding voor het berekenen van de inhoud van een waterkrul.



BIJLAGE VI
BOOMDIAGRAM VERWERKINGSMETHODES BAGGERSPECIE



BIJLAGE VII
VERWERKINGSSCHEMA ARCHIMEDES DEWATERING SYSTEM

Bijlage VII: Verwerkingsschema van het Archimedes Dewatering System

