



Universiteit Twente
*de ondernemende
universiteit*

Stageverslag



januari – maart 2001
B.A.D. van Veen

Voorwoord

Bintulu, 2001

Voor u ligt het verslag van mijn stage bij 'HAM, dredging and marine contractors'. Deze stage heb ik gelopen in Bintulu, Sarawak, Maleisië bij MDC-HAM JV in de periode januari - maart 2001. In de eerste paar weken heb ik me met name op de site en op de HAM218 begeven. Daarna ben ik me meer bezig gaan houden met mijn opdracht en ben ik minder buiten geweest. Bij mijn opdracht heb ik gekeken naar de verschillen tussen een hopper en een cutter.

Tijdens mijn verblijf in Bintulu heb ik het zeer naar mijn zin gehad. In het begin was het even wennen: 7:00 uur beginnen en 19:00 uur naar huis, maar dat duurde niet lang. Ik wil hier graag gebruik maken van de mogelijkheid om iedereen te bedanken. Met name wil ik Floren bedanken die telkens mijn verslag heeft doorgelezen en van opmerkingen heeft voorzien. Hij heeft mij veel geleerd over de technische achtergrond van het geheel. Ook wil ik Piet Prins graag bedanken voor zijn uitleg.

De Survey afdeling (PJ van Nughteren, Marnix Kol en Henk) wil ik graag bedanken omdat ik een aantal keren met hun ben meegegaan en zij het een en ander hebben uitgelegd over surveyen. Tevens mocht ik met de survey-'apparaatjes' 'spelen'.

Ook wil ik Richard van der Beek bedanken omdat ik gedurende de laatste weken, terwijl hij op verlof was en lekker aan het skiën was in de Alpen, gebruik kon maken van zijn appartement. Tot slot wil ik iedereen bedanken, maar het gaat me te ver om iedereen bij naam en toenaam te noemen, dat is al een verslag opzich. Toch wil ik ook Eva Japing nog bedanken omdat zij ervoor heeft gezorgd dat ik dit alles mee kon maken.

Het was een fijne en leerzame tijd in Bintulu!

Bedankt!

Bastiën van Veen

Studentnummer: 9508570

Begeleider HAM: Floren Verweij (JFV@Hamdredging.com)

Begeleider UT: Marjolein Dohmen-Janssen (M.C.Dohmen-Janssen@sms.utwente.nl)

Inhoud

Voorwoord	2
Inhoud	3
Hoofdstuk 1 Inleiding	4
Hoofdstuk 2 Projectbeschrijving	5
2.1 Projectonderdelen	5
2.2 Heden	7
2.3 Projectorganisatie	7
2.4 Gang van zaken	8
Hoofdstuk 3 Probleemanalyse	10
3.1 Analyse.....	10
3.2 Vraagstelling	10
3.3 Plan van aanpak	10
3.4 Randvoorwaarden en aannames	10
Hoofdstuk 4 Snijkopzuiger	11
4.1 Het schip	11
4.2 Het baggerproces.....	11
4.3 Productiebepalende factoren	12
4.4 Productietheorie	14
4.5 Praktijk.....	16
4.6 Koppeling tussen theorie en praktijk	17
4.7 Verletten	18
Hoofdstuk 5 Sleephopperzuiger	19
5.1 Het schip	19
5.2 Het baggerproces.....	19
5.3 Productiebepalende factoren	20
5.4 Productieraming sleephopperzuiger	21
5.5 Praktijk.....	22
5.6 Verletten	22
Hoofdstuk 6 Kostencalculatie	23
6.1 Snijkopzuiger.....	23
6.2 Sleephopperzuiger	24
6.3 Alternatieven	24
Hoofdstuk 7 Conclusie	26
Literatuurlijst	27
Bijlage I. Project-organisatie-diagram	28
Bijlage II. Uitgebreide beschrijving Snijkopzuiger [2]	29
Bijlage III. Uitgebreide beschrijving Sleephopperzuiger [2]	31
Bijlage IV. Stroming in leidingen en pompen	34
Bijlage V. Survey	39

Hoofdstuk 1 Inleiding

Dit is het verslag aangaande de derdejaars stage in het kader van de opleiding Civiele Technologie & Management (CT&M) aan de Universiteit Twente (UT) van Bastiën van Veen. Deze stage heeft plaatsgevonden bij het 'Bintulu, LNG3-project' in Bintulu (Sarawak, Maleisië) bij 'MDC-HAM JV' in opdracht van 'HAM, dredging and marine contractors'. In dit verslag wordt de opdracht die ik daar heb uitgevoerd besproken.

In dit verslag wordt ingegaan op de keuze tussen een snijkopzuiger (cutter) en een sleephopperzuiger (hopper) bij het uitvoeren van een baggerwerk. Om daar iets zinnigs over te zeggen, moet eerst worden uitgezocht wat deze werktuigen zijn en hoe ze werken. Tevens is het van belang iets te kunnen zeggen over de verschillende productiebepalende factoren en welke van belang zijn op het project in Bintulu. Dit zal dan ook uitgebreid worden gedaan. Vervolgens zal aan de hand van deze bevindingen, een raming worden gemaakt omtrent de producties van de twee werktuigen.

In de bijlagen worden de snijkopzuiger en de sleephopperzuiger nader bekeken. Ook worden in de bijlagen mengselstromingen in leidingen en de theorie van baggerpompen nader toegelicht. Tevens wordt het een en ander verteld over surveyen.

Hoofdstuk 2 Projectbeschrijving

Het project waaraan in Bintulu gewerkt wordt is de voorbereiding van het huidige havengebied. Dit project bestaat uit een aantal onderdelen die tezamen de capaciteit van de haven voor zowel de LNG-vaart als de handelsvaart vergroten. De totale aanneemsom is fl. 267 miljoen. De voorbereiding bestaat ten eerste uit een extra havenkom (LNG-3) voor de LNG-vaart. Tevens wordt er een tweede toegangsheul gebaggerd en een nieuwe havenkom voor de handelsvaart. Verder wordt er een verbindingkanaal naar de oude havenkom gemaakt. Hierdoor kan de oude toegangsheul uitsluitend gebruikt gaan worden door LNG-tankers en de nieuwe heul door de handelsvaart. Beide vaarten ondervinden dan geen hinder meer van elkaar. Tot slot wordt met het bruikbare materiaal dat wordt opgebaggerd, een stuk land opgespoten van ca. 1.100.000 m² dat tevens verdedigd wordt.

Hieronder volgt eerst een korte beschrijving van de projectonderdelen. Daarna zal het een en ander worden besproken over de algemene gang van zaken rond het project.

2.1 Projectonderdelen

§ 1 Uitbereiding LNG-jetty (M16 t/m M18)

Aan de noordwestkant van de huidige haven bevindt zich reeds een LNG-jetty. Daar de capaciteit hiervan vergroot moet worden, is besloten een nieuwe LNG-jetty (LNG-3) te bouwen direct naast de reeds bestaande. Aan de huidige jet is plaats voor 2 schepen.

In M17 en M18 was rots, fijn siltig zand en klei aanwezig, er is mede daarom gekozen voor een cutter. Er is in totaal ongeveer 200.000 m³ rots weggebaggerd. M16 is op diepte gebracht met behulp van een waterinjectie-vaartuig en hoppers.

Deze nieuwe havenkom voor de LNG-3-jetty is reeds opgeleverd. Er wordt op dit moment druk gebouwd (door een Maleisische aannemer) aan de daadwerkelijke jetty.

§ 2 Toegangsheul baggeren (P2, P4 t/m P6)

Op het moment dat er een LNG-tanker wil afmeren, zijn er geen andere scheepsbewegingen in het toegangskanaal toegestaan. Zodra er een nieuwe jetty bijkomt, is de capaciteit van één toegangsheul daardoor niet meer toereikend genoeg. Vandaar dat er een nieuwe toegangsheul gebaggerd wordt. Op die manier kan de huidige toegangsheul uitsluitend gebruikt worden voor LNG-tankers en de nieuwe voor de handelsvaart. Hiermee is de voorbereiding van de LNG-productie gewaarborgd en is tevens de capaciteit voor de handelsvaart toegenomen. Voorts zijn er geen beperkingen meer ten aanzien van binnenkomst voor de handelsvaart.

Van dit kanaal is alleen de laatste fase (P2) nog niet afgerond. Hierin moet nog een stuk van ca. 1500 m op een diepte van 14 meter worden gebracht. In totaal moet er ruim 600.000 m³ materiaal worden weggebaggerd. De rest (P4 t/m P6) is reeds afgerond en opgeleverd. Voor P2 t/m P6 is gebruik gemaakt van een waterinjectie vaartuig en hoppers, omdat hier slappe tot zeer slappe klei aanwezig was.

§ 3 Verbindingskanaal baggeren (P3)

Om van de nieuwe toegangsheul naar de huidige haven te komen wordt er een verbindingkanaal gebaggerd. Dit kanaal is reeds voor een deel gebaggerd, het zuidelijke deel. Dit deel is samen met de delen P2 t/m P6 gebaggerd met behulp van een waterinjectie vaartuig en hoppers.

Het noordelijke deel moet echter nog tot de volledige einddiepte van 14 meter worden gebaggerd. Er moet nog ruim 1.500.000 m³ materiaal worden ontgraven. Zo het er nu naar uitziet wordt het deel op diepte gebracht met behulp van een cutter en zal het worden voltooid met een hopper.

§ 4 Nieuwe havenkom baggeren (P1)

In het verlengde van de nieuwe toegangsheul wordt een nieuwe havenkom gebaggerd welke nog niet in gereedheid gebracht wordt voor daadwerkelijk gebruik voor de handelsvaart. Deze

nieuwe kom kan gebruikt worden voor de geplande uitbereiding van de havenactiviteiten. Dit gehele gebied is gebaggerd met behulp van cutters.

§ 5 Havengebied opspuiten (R1 t/m R4)

Met al het goede materiaal dat uit de nieuwe havenkom komt, wordt naast de nieuwe havenkom een stuk land opgespoten van 2100 bij 650 m, ruim 1.300.000 m², de reclamation. Op deze manier wordt er werk met werk gemaakt.

Het materiaal dat niet bruikbaar is, voornamelijk klei, wordt gedumpt in een vooraf geselecteerde offshore locatie.

§ 6 Verdediging nieuw havengebied (northern shore-protection)

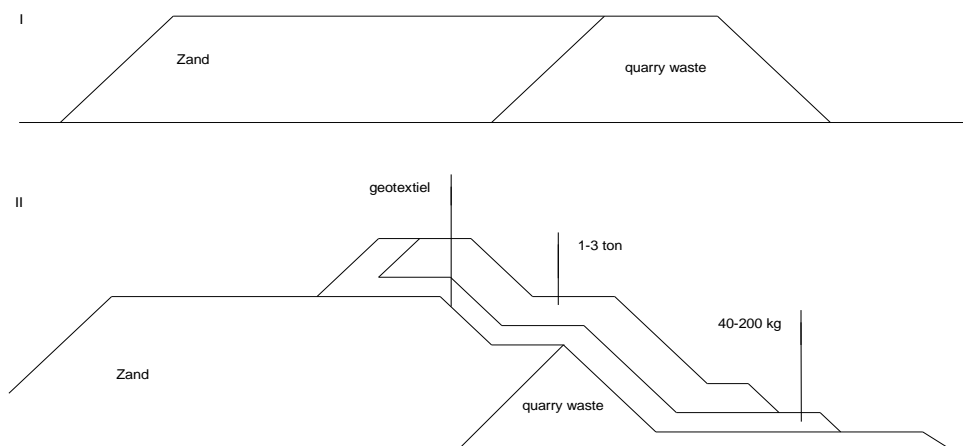
Daar de reclamation een eind de zee in steekt, dient het verdedigd te worden tegen golfaanval. Omdat de zeebodem bestaat uit zachte klei, moest er een grondverbetering worden gemaakt. Deze grondverbetering is gemaakt door eerst een sleuf te baggeren in de slappe ondergrond en deze daarna te vullen met zand. De grootte van de grondverbetering is afhankelijk van de sterkte van de ondergrond. Hoe verder naar buiten, hoe slapper de ondergrond en dus hoe groter de grondverbetering.

De revetment bestaat uit een lichaam van zand. Daarop is een laag quarry waste (2 ft <) gestort. Vervolgens is een laag aangebracht van 0,70 m dikte met stenen van 40-200 kg. Het geheel wordt afgewerkt met een laag stenen met een gewicht van 1-3 ton.

De werkwijze hierbij is als volgt: eerst wordt er een dijk uitgereden met quarry waste. Hierachter wordt het eerste deel van het lichaam van zand gestort. Vervolgens wordt de bovenkant van de quarry waste weggehaald om de onder slope te trekken. Deze quarry waste wordt verderop weer teruggestort. Tegen het lichaam wordt geotextiel gelegd waarop de eerste laag stenen van 40-200 kg worden gelegd. Hierop wordt een laag stenen met een grootte van 1-3 ton gelegd. Dit wordt helemaal tot bovenaan gedaan waarbij halverwege een platberm wordt gemaakt en daarna de tweede slope getrokken wordt. Daarna wordt het dijklichaam verder aangevuld met zand. Tot slot wordt de achterkant van de dijk beschermd met een laag klei (vanaf de reclamation) of stenen (eind van de revetment).

Fase	1	2	3	4	5	6
Quarry waste			Slope trekken			
geotextiel						
40-200 kg						
1-3 ton						
Zand						
Klei						

Figuur 1 Werkwijze stort northern shore-protection



Figuur 2 Eerste en laatste fase van de revetment

In totaal is de northern shore-protection 5.010 m lang en wordt er 553.000 m³ stenen verwerkt in het deel tussen kp 800 en kp 5.010.

Het zand voor het dijklichaam wordt eerst opgebaggerd uit P1 en gebruikt voor het opspuiten van de reclamation area. Daarna wordt het weer opgegraven door excavators en verplaatst naar de revetment. Hierbij wordt eerst het opgegraven zand op een bult van ca. 7 meter gedeponereerd zodat het kan drogen zodat het makkelijker te vervoeren is. Vervolgens wordt het met behulp van dumpers naar het eind van de revetment gereden over de weg langs de revetment. Daar wordt het achter de reeds aangebrachte dijk van quarry waste materiaal gestort. Zou het hydraulisch worden aangebracht, dan zouden er grote materiaal verliezen optreden als gevolg van uitspoeling door golven. In principe is direct opspuiten nog goedkoper, maar omdat het mengsel sterk van kwaliteit wisselt en vanwege de grote verliezen die dan optreden, wordt de methode van rehandeling toegepast.

§ 7 Verdediging kuststrook (southern shore-protection)

Bezuiden het projectgebied is een kleine kuststrook waar erosie plaatsvond. Deze erosie moest worden gestopt. Dat is gedaan middels een submerged detached breakwater voor de kust welke bij laag water net boven het wateroppervlak uitsteekt. Op deze manier is de kust daar ter plaatse voldoende beschermd. Deze breakwater is 1650 m lang en er is 87,8 ton stenen in verwerkt.

Ook bij deze bescherming diende een subcut gegraven te worden ter verbetering van de grond. Hierna is er eerst een laag met granulair materiaal ($D_{15} < 5$ mm, $D_{85} > 25$ mm) gestort en daarna is het dijklichaam gestort. Daarop is een laag met stenen van 1 tot 60 kg aangebracht. En het geheel is afgewerkt met een laag stenen van 300 tot 600 kg.

2.2 Heden

Per 1 januari 2001 bevindt het project zich in de laatste fase. De southern shore-protection is reeds afgerond alsook de havenkom voor de LNG-3-jetty en de toegangsgeul (fasen P4 t/m P6). Het enige waar thans nog aan gewerkt wordt is P2, P3 en de northern shore protection. P2 en P3 worden op dit moment met een cutter op diepte gebracht. De kustverdediging wordt met verschillend (rijdend) materieel gebouwd.

2.3 Projectorganisatie

De hoofdaannemer van het project is MDC-HAM JV (MDC-HAM). MDC-HAM is een joint venture van 'HAM, dredging and marine contractors' (HAM) en 'Malaysian Dredging Company' (MDC). Verder zijn er diverse lokale en niet-lokale onder-aannemers.

Bij dit project zijn er twee uitvoerende departementen, te weten het dredging-department en het rock-department. Deze twee afzonderlijke uitvoerende departementen hebben beide een specifieke taak. Zo houdt het rock-department zich uitsluitend bezig met het bouwen van de oeverbeschermingen, de northern shore-protection en de southern shore-protection. Het dredging-department houdt zich uitsluitend bezig met het op diepte brengen van de havenonderdelen en het op hoogte brengen van de reclamation.

Beide departementen worden technisch ondersteund door de technische dienst (TD). Indien er problemen zijn met machines van een van de eigen organisaties, worden deze door de TD verholpen. Tevens kan de TD materieel aanpassen en versterken.

De twee uitvoerende departementen worden tevens voorzien van data omtrent hoogte, plaats en hoeveelheden door het survey-department (zie Bijlage V). Op deze manier kan het hele proces telkens worden gemonitord en kan er, indien nodig, op tijd worden ingegrepen.

De financiële afdeling draagt zorg voor de financiële kant van het hele verhaal. Indien er rekeningen moeten worden betaald of er salarissen moeten worden uitbetaald, dan gebeurt dit door financiële afdeling.

Voor het onderzoek naar de grondsoorten was er aan het begin van het project een aparte afdeling 'soil investigations'. Deze afdeling is thans niet meer nodig en derhalve niet meer aanwezig.

Het top- en middelmanagement bestaat voor ongeveer de helft uit mensen van HAM, werknemers van MDC vertegenwoordigen de andere helft.

Op de site fungeert het middelmanagement als aanspreekpunt van de voormannen (het lagermanagement). Deze voormannen zijn hoofdzakelijk Maleisische werknemers in dienst van MDC of een onderaannemer.

De uitvoerende mensen op de site (kraanmachinisten, bulldozer machinisten, dumper chauffeurs, en pijp-aandraaiers) zijn vrijwel allemaal lokale mensen. Bij de rock-department komen de kraanmachinisten zowel uit Maleisië als uit Nederland.

MDC-HAM huurt materieel in van andere organisaties en heeft zelf ook wat materieel. Zo is het drijvend materieel voor een deel van MDC-HAM (bootjes om heen en weer te varen en voor de survey) en voor een deel ingehuurd van HAM (cutter HAM218, hopper HAM310, HAM316 en Geopotes15) en van Van Oord (cutter Discovery Bay en hopper Volvo Delta). In het verloop van het project is er al verschillend baggermaterieel aanwezig geweest. De dumpers en bulldozers worden ingehuurd van een lokaal bedrijf.

2.4 Gang van zaken

§ 1 Veiligheid

Op de site staat veiligheid hoog in het vaandel. Dit komt doordat de klant dat eist, maar ook omdat de organisatie het zelf belangrijk vindt. Doordat het een langdurig project is, is er ook meer geld voor beschikbaar.

Als er op veiligheid wordt gelet, is dat ten eerste de veiligheid die gezien kan worden: helm, veiligheidsschoeisel en, op boten, zwemvesten. Er is echter nog meer. Zo is er alleen *goed* hulpmaterieel aanwezig. Dit lijkt evident, maar een drijvende leiding kan ook wel worden omgelegd met een klein bootje, daar is geen grote HAM1406 voor nodig. Dit schip kan echter meer en de mensen die er op werken hebben ervaring, hierdoor is er dus minder kans op ongelukken.

Verder is er *ruim voldoende* hulpmaterieel aanwezig. Zo is er niet één bootje om de survey te doen, van A naar B te varen etc. Maar zijn er drie bootjes. Op deze manier is er dus altijd een bootje beschikbaar als iemand er een nodig heeft. Dit levert weer extra veiligheid op.

Verder is er veel gedaan aan goede brede wegen. Ook zijn er langs de hele revetment grote lantaarns geplaatst. En is er een goede op- en afstapplaats voor de bootjes, zo hoeven er geen rare capriolen gemaakt te worden om aan boord te komen.

Aan al deze zaken wordt ruim aandacht besteed. Iedereen doet er ook aan mee. Met name bij de lokale werknemers, is er veel aandacht voor de veiligheid. Dit komt vooral doordat men hier zegt: 'doe je er niet aan, ga je maar weg'.

Verder is er nog het een en ander gedaan aan de bewustwording van de omwonenden. Toen het project begon was het nog strandgebied. Hierom liepen er op zondag veel omwonenden over het terrein om te gaan zwemmen. Er zijn destijds grote borden geplaatst, waarop stond 'verboden toegang'.

Ook het net opgespoten land van fijn zand en klei is levensgevaarlijk, er komen veel plekken met drijfzand in voor. Om ongelukken te voorkomen heeft MDC-HAM een aantal borden geplaatst met een waarschuwing voor drijfzand.

Al met al wordt er dus veel gedaan aan de veiligheid en is het ook veilig. Dit werkt echter wel in de hand, dat er bij sommige handelingen niet helemaal na wordt gedacht. Zo worden er aan het eind van de dag wel door de dumpers racepartijtjes gedaan. Niet erg, maar ook niet veilig. Verder rijden auto's op sommige stukken eigenlijk te hard, logisch als je x keer op een dag heen en weer moet, maar niet veilig. Maar zo kan je natuurlijk wel bezig blijven, er is altijd wel iets wat het minst veilig is.

§ 2 Kantoor

Het hoger management huist op het kantoor dat aan de rand van de site is gelokaliseerd. Aan het begin van het project was het kantoor nog aan de andere kant van de haven. Maar daar dit toch iets te ver was, heeft MDC-HAM besloten een kantoor te bouwen bij de site. Zo hoefde men niet telkens heen en weer te rijden en was men tevens in staat om snel in te springen op mogelijke nieuwe ontwikkelingen op het werk.

Op het kantoor zijn tevens de ondersteunende afdelingen gevestigd. Te weten het secretariaat/ receptie, de financiële administratie, de survey. De enige afdeling die zich niet in het kantoor bevindt is de technische dienst. Deze is geplaatst aan de nieuwe haven (P1).

§ 3 Materieel

Het materieel dat op de site rondrijdt is voor een deel afkomstig uit Nederland en voor een deel ter plaatse gehuurd. Het materieel dat uit Nederland afkomstig is, is in goede staat. De machines die hier uit de omgeving komen zijn echter naar Nederlandse maatstaven minder goed. Naar de maatstaven van hier valt het allemaal best mee, zijn het zelfs goede machines. Maar behalve het lawaai dat ze produceren, stoten ze veel roet uit stoppen ze er soms spontaan mee.

Het drijvend baggermaterieel dat aanwezig is geweest zijn twee cutters (HAM218 (HAM) en Discovery Bay (Van Oord)), een water injection dredger (HAM) en een aantal hoppers (HAM310, HAM316, Geopotes15 (HAM) en Volvox Delta (Van Oord)).

Hoofdstuk 3 Probleemanalyse

3.1 Analyse

Op dit moment wordt er gebaggerd in de gebieden P2 en P3. Hier moet nog ca 2.250.000 m³ ontgraven worden. Het gebied is op dit moment tussen de 3 en 14 meter diep en moet naar een gegarandeerde diepte worden gebracht van 14 meter.

De grondsoort in deze twee gebieden varieert van zachte klei tot fijn siltig zand (met een d₅₀ van ongeveer 100 tot 150 µm). Uiteraard is de bodem niet gelijkmatig verdeeld, maar wordt er op de ene plek ander materiaal gevonden als op de andere plek. Tevens zijn er soms harde plekken en soms zitten er veel schelpen en andere fossielen (steenachtige structuren met een grootte van 50 mm) in de grond. Dit maakt de grond zeer divers.

Thans wordt ontgraven met alleen een cutter. Vraag is nu of het niet voordeliger is een hopper in te zetten. Deze vereist echter een minimale diepte die de cutter dan moet garanderen.

3.2 Vraagstelling

In dit verslag staat de volgende vraagstelling centraal:

Welke combinatie van snijkopzuiger en sleephopperzuiger is de meest voordelige om het werk af te ronden, met als startdatum 1 januari?

3.3 Plan van aanpak

De informatie omtrent de parameters en de kosten zullen hoofdzakelijk worden gehaald uit de gegevens van reeds afgerond werk en uit de praktijk. De gegevens van afgerond werk zijn aanwezig in het archief op kantoor. Verder zal gebruik gemaakt worden van de verschillende literatuur welke beschikbaar is.

Als eerste worden de cutter en de hopper besproken. Daarbij zal eerst een beschrijving gegeven worden van het baggerproces van de beide werktuigen en zal vervolgens uitgebreid worden ingegaan op de productiebepalende factoren, waarna wordt gekeken naar de praktijk. Hierna wordt een raming gemaakt over de te verwachten producties voor de gebieden P2 en P3.

Vervolgens wordt wat dieper ingegaan op de kosten van een cutter en een hopper. Aan de hand van deze gegevens wordt vervolgens een voorstel gedaan voor de te gebruiken combinatie.

3.4 Randvoorwaarden en aannames

In de tabel hieronder volgen een aantal waarden ten aanzien van de te ontgraven grond. Deze waarden worden gebruikt in de ramingen voor zowel de cutter als de hopper.

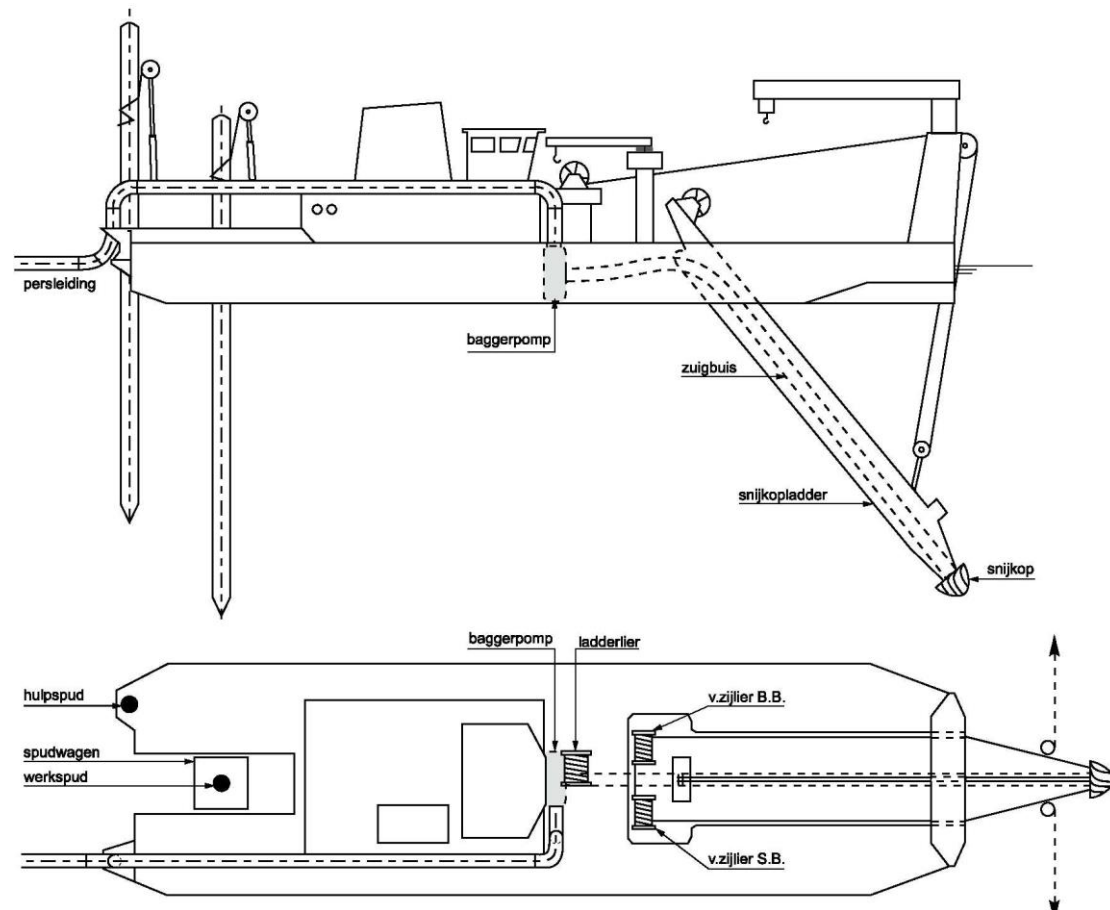
	P2	P3 voorsnijden	P3 totaal
Hoeveelheid te ontgraven grond excl. overdiepte	550.065 m ³	320.000 m ³	1.545.276 m ³
Hoeveelheid te ontgraven grond incl. overdiepte	701.067 m ³	320.000 m ³	1.815.550 m ³
Oppervlakte	270.000 m ²	-	550.000 m ²
Soort grond	Siltige klei	Siltige klei	Siltige klei
Dichtheid klei (ρ_{situ})	1.650 kg/m ³	1.650 kg/m ³	1.650 kg/m ³
Dichtheid water (ρ_w)	1.024 kg/m ³	1.024 kg/m ³	1.024 kg/m ³

Tabel 1 Waarden grond

Verder zijn politieke argumenten niet meegenomen en zijn kosten voor mobilisatie en demobilisatie niet meegenomen in de afweging. Op deze manier kan de conclusie weliswaar vertekend overkomen, maar de ene keer zijn deze kosten hoger dan de andere keer omdat de afstand waarover een boot gehaald of gebracht moet worden verschilt van keer tot keer.

Hoofdstuk 4 Snijkopzuiger

4.1 Het schip



Figuur 3 Snijkopzuiger [2]

Voor een uitgebreide beschrijving van de snijkopzuiger wordt verwezen naar Bijlage II over de snijkopzuiger. Hier wordt volstaan met een korte beschrijving van het schip.

Het schip bestaat uit drie delen. Op het hoofddeel, de H vorm, vinden de gebruiksfuncties plaats, hier is de pompkamer, de brug etc. gelokaliseerd. In de achterste uitsparing is de paalwagen geplaatst. Deze zorgt ervoor dat het schip voorwaarts kan stappen. Aan de voorkant van het hoofddeel hangt de snijkopladder. Aan deze snijkopladder zit de snijkop en op de ladder is de onderwaterpomp geplaatst. Onderaan de ladder zijn aan beide zijden schijven geplaatst waardoor een lier loopt. Deze lieren zijn verbonden met het schip en met de ankers, die naast het schip liggen.

4.2 Het baggerproces

Het baggervaartuig ligt tijdens het baggerproces met behulp van een spudpaal aan de achterzijde van het schip verankerd in de bodem. Met behulp van de zijlieren wordt de boeg van het schip heen en weer bewogen. Dit heet het verhalen van het schip. Tijdens het verhalen is altijd een van de lieren aangespannen (de halende lier) en de andere is meestal ontspannen (de vierende lier). Op deze wijze beschrijft de cutter een maanvormige beweging rond zijn spudpaal.

Nu beweegt het schip nog niet naar voren. Zodra het schip in een van de hoeken komt, wordt de paalwagen een stuk uitgeschoven, het schip neemt zoals dat heet een stap. Op die manier wordt het gehele schip naar voren gebracht. Hierbij moet men bedenken dat de maanvorm dan ook een grotere straal krijgt naarmate de paalwagen verder uitgeschoven is.

Zodra de paalwagen aan zijn eind komt, wordt het verhalen gestopt. Het verpompen blijft gewoon doorgaan. Nu wordt de hulppaal aan de grond gezet en kan de hoofdpaal omhoog worden gebracht. De paalwagen kan weer in de startpositie worden teruggebracht en men kan weer opnieuw beginnen met stappen. Tijdens het gehele proces is de ladder op de gewenste diepte gehangen. Het baggerproces met een cutter is dan ook een continu proces. Aan het eind van de ladder is de snijkop geplaatst. Deze snijkop draait rond zijn as in een bepaalde richting. Onder de snijkop zit de zuigmond, dit is een uitsparing in de vorm van een banaan met dezelfde doorsnede als de zuigbuis. Halverwege de ladder zit de eerste pomp: de onderwaterpomp. Het onderwater plaatsen van deze pomp heeft als voordeel dat de waterdruk de druk voor het pomphuis vergroot. Hierdoor kan meer materiaal worden verpompt zonder dat er gevaar voor cavitatie ontstaat.

Daarna komt de specie in het schip terecht waar het door een of twee pompen gaat om vervolgens via een pijpenstelsel aan boord naar het achterdek te gaan. Hier is gekoppeld aan een drijvende leiding die of weer gekoppeld is aan een stortleiding of ergens op zee eindigt. De specie gaat via deze pijpen naar de stortlocatie waar het gestort wordt.

Tijdens het proces worden alle parameters bijgehouden door een computer die een groot deel van de besturing en het proces uit handen kan nemen van de schippers. Zo gaat het zwaaien geheel automatisch en worden de lieren automatisch in de hoeken gestopt. Tevens wordt de paalwagen aangestuurd in de hoeken. Het verpalen dient de schipper zelf te doen, dit is een gevaarlijk moment omdat de paal een vrije val maakt en omdat er tijdelijk twee palen aan de grond zitten.

Al deze gegevens kunnen worden gelogd en later worden teruggezien. Op deze manier wordt de uitvoerder in staat gesteld het gehele proces te kunnen analyseren en, indien noodzakelijk, het proces bij te sturen.

4.3 Productiebepalende factoren

Er kunnen een aantal zaken zijn waardoor de cutter beperkt is in zijn productie. De beperkingen zijn deels afhankelijk van de verschillende interne factoren, de snijcapaciteit en de zuig- en perscapaciteit en de maximale lierkracht. Tevens zijn er nog een aantal externe productie-bepalende factoren. De belangrijkste is natuurlijk de grond die gebaggerd moet worden. Tevens kan het weer zo zijn dat er niet meer gewerkt kan worden (te veel golfslag), of dat er te veel waterdiepte is, etc. In deze paragraaf wordt hier verder op ingegaan. Daarbij wordt eerst ingegaan op de externe factoren en daarna op de interne factoren.

§ 1 Externe factoren

Het te ontgraven materiaal is een van de belangrijkste productie-bepalende factoren. Een cutter kan vele soorten materiaal baggeren, van rots tot slappe klei. Het belangrijkste hierbij is of het materiaal kan worden gedeformeerd, met name bij rots van belang, en of het kan worden opgezogen en niet tot verstoppingen leidt, bij klei en bij rots van belang. Klei blijft namelijk plakken aan de snijkop en kan kleiballen veroorzaken die zich gedragen als keien in de leiding qua weerstand. Rots kan te groot zijn waardoor het niet door de zuigmond of de pomp kan. Verder kan rots leiden tot vertragingen omdat het veel schade kan veroorzaken.

De productie hangt ook af van de hoeveelheid aangeboden materiaal. Als er een bres geslagen moet worden van 5 meter, dan is dit geen probleem. Indien echter opschoonwerk moet worden uitgevoerd, dan wordt er veel capaciteit ongebruikt gelaten.

Indien er golfslag staat, beweegt de cutter met de golven mee. Het gevolg hiervan is dat er minder controle is over de ladder en dus over het te baggeren profiel. Dit zal niet gebeuren bij zeer kleine golven, maar pas bij golven vanaf een bepaalde lengte en hoogte. Indien de golven te hoog worden, dan kan er helemaal niet meer gebaggerd worden omdat de krachten op het schip te groot worden. De enige optie is dan om te gaan schuilen voor de golven in de beschutting van de haven.

Ook stroming speelt een rol bij de productie. Indien er namelijk stroming van enige betekenis staat kan er maar op een manier worden gebaggerd, namelijk met de kop met de stroming mee. Zou er andersom worden gewerkt en er breekt een lier, dan kunnen er onbeheersbare situaties ontstaan. De stroming heeft dus grote invloed op de logistieke kant van het baggeren. Indien de stroming haaks op het te baggeren profiel staat, kan het raadzaam zijn om het te baggeren profiel enigszins aan te passen omdat anders het profiel bij oplevering

niet meer overeenkomt met het profiel tijdens baggeren doordat het al deels is gevuld met slib en / of zand.

Voorts kan de waterdiepte een productiebepalende factor zijn. Het schip heeft een maximale diepte waarbij nog gewerkt kan worden. Bij dieper water kunnen de palen en / of de ladder niet aan de grond komen. Te ondiep is vaak een minder groot probleem. Omdat de snijkop vooraan het schip zit, kan het schip zijn eigen weg banen in een gebied. Zodra het te ontgraven gebied deels boven water ligt en uit niet te hard materiaal bestaat, kan er een bres worden gegraven waarna het talud afschuift.

Omdat de cutter zichzelf altijd moet voorzien van voldoende diepte, heeft de cutter een minimale en maximale werkbreedte. Minimaal omdat de cutter anders aan de zijkant vastloopt op de grond en maximaal omdat de cutter zich anders niet meer uit de hoeken kan trekken.

§ 2 Interne factoren

Ten aanzien van de interne factoren zijn er een aantal productiebepalend. Ten eerste het vermogen dat de snijkop kan leveren. De snijkop snijdt de grond los. Daarbij komen verschillende krachten vrij die moeten worden opgenomen door de ladder. Deze geeft deze krachten via het ponton af aan de lieren en de spudpalen die het weer overbrengen naar de bodem. Naarmate de grondsoort harder wordt, worden de krachten groter op de verschillende onderdelen. Zodra er bijvoorbeeld rots gesneden moet worden, is het voor de tanden moeilijk om door de rots te komen en dus voor de motor moeilijk om de snijkop te laten draaien. Wordt daarentegen in klei gebaggerd, dan is het minder moeilijk om de snijkop rond te krijgen, maar is het des te moeilijker om de snijkop heen en weer te bewegen. De interne beperking ten aanzien van snijden hangt dus ook af van de externe factoren.

De tweede factor is het vermogen om de specie op te zuigen en te verpompen. Dit is een samenspel van meerdere pompen (zie Bijlage IV). Bijna altijd is er één onderwaterpomp geïnstalleerd en één of twee perspompen. De onderwaterpomp is meestal geplaatst op de ladder. Dit is gedaan omdat het materiaal altijd een stuk getild moet worden en hoe verder getild moet worden, hoe meer onderdruk voor de pomp is vereist. Het gevaar bestaat bij een te grote onderdruk dat er cavitatie (luchtbellen in de pompkamer) ontstaat waardoor de pomp niet goed meer werkt of zelfs afslaat.

Het persen van de specie is minder moeilijk. De druk moet zorgen voor de opheffing van de wrijving van de leiding en een minimale snelheid in de leiding waarborgen. Zou de snelheid namelijk onder een bepaalde waarde komen, dan gaat het mengsel bezinken waardoor het effectieve doorstroomoppervlak verkleint en de wrijving toeneemt. Daar de pomp al aan haar maximum zat, neemt de snelheid dus nog verder af waardoor uiteindelijk de hele pijp verzandt. Deze beperking speelt alleen een rol indien extreem lange pijplengtes worden gebruikt. Uiteraard zal de persoon achter de knoppen dan ingrijpen door een minder rijk mengsel te draaien waardoor het bezonken materiaal weer kan eroderen.

Zodra het gebied is afgewerkt, moet er nog een keer over het hele gebied gelopen worden om alles op te schonen. Hier is de cutter beperkt door het oppervlak dat hij per uur kan afwerken. Er is dan niet meer genoeg grond om hoge producties te halen.

De laatste interne beperking is de lierkracht. De lier trekt de snijkop door een hoeveelheid grond met een bepaalde snelheid. Indien deze hoeveelheid grond zo groot is dat niet alles meer opgezogen kan worden, dan wordt de weerstand die de snijkop ondervindt bij het verhalen groter. Datzelfde geldt voor een te hoge snelheid, ook dan blijft er grond liggen waardoor de weerstand op de kop groter wordt. Dit is de beperking van de zijlier, bij meedraaiend zal deze kleiner zijn dan bij tegendraaiend.

§ 3 Gevolgen voor Bintulu

Stroming speelt voor de gebieden P2 en P3 geen rol, hiervan hangt de productie dus ook niet af. Datzelfde geldt voor de waterdiepte, die is op beide locaties ruim voldoende, voor P2 is de diepte 10 meter beneden CD en voor P3 is de diepte 3 meter beneden CD. Ook het getij heeft geen invloed op de werkwijze. Het getij is diurnaal en heeft een verschil van 1,00 meter.

Wat wel van invloed kan zijn, is het materiaal dat aanwezig is. In P2 en P3 is dit hoofdzakelijk slappe klei met wat schelpen en fossielen erin. Hierdoor kan echter de productiebepalende

factor van snijden wel worden weggestreept. Immers zal het vermogen om te snijden alleen bepalend zijn indien er rots of harde klei wordt gesneden.

Het zuig- en persvermogen zijn beide wel mogelijke beperkende factoren. Het zou namelijk kunnen zijn dat de leiding te lang wordt waardoor het proces persbeperkt wordt. Wat zuigen betreft is het goed mogelijk dat het mengsel een te grote dichtheid krijgt waardoor het maximale gewicht in de zuigbuis wordt bereikt waardoor er een te grote onderdruk is vereist. De onderdruk is namelijk direct afhankelijk van de mengsel dichtheid en snelheid (zie Figuur 4).

Zodra het hele gebied is gebaggerd, moet het geheel nog een keer doorlopen worden om alle oneffenheden op te schonen. Alles is weliswaar een keer doorlopen, maar er zitten nog stukken in die niet voldoende diep zijn. Dit kost veel tijd en levert weinig op, daardoor gaat de gemiddelde productie dan ook omlaag.

4.4 Productietheorie

Bij de theorie van de productie wordt allereerst gekeken naar de verschillende productie-bepalende factoren. Deze zullen hieronder worden behandeld waarbij met name wordt gekeken naar 2 verschillende situ-materialen: klei (1.650 kg/m³) en zand (2.000 kg/m³).

§ 1 Zuigcapaciteit

De zuigcapaciteit is afhankelijk van de dichtheden van het water en het situ-materiaal. Tevens is de plaatshoogte van de pomp en de zuigdiepte van belang. Hoe lager de pomp onder water is geplaatst, hoe beter de pompeigenschappen. Tot slot is de snelheid in de zuigbuis van belang en de diameter van de zuigbuis. Hoe groter de diameter en de snelheid, hoe groter de productie uiteraard.

Deze parameters leiden tezamen met het vacuüm tot de zuigproductie. Deze kan worden berekend met behulp van de onderstaande formule:

$$P \leq 3600 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot v \cdot \frac{\rho_m - \rho_w}{\rho_s - \rho_w}$$

Waarin:

- P = productie [m³/uur]
- ρ = dichtheid [kg/m³]
- v = stroomsnelheid [m/s]
- D = diameter zuigpijp [m]

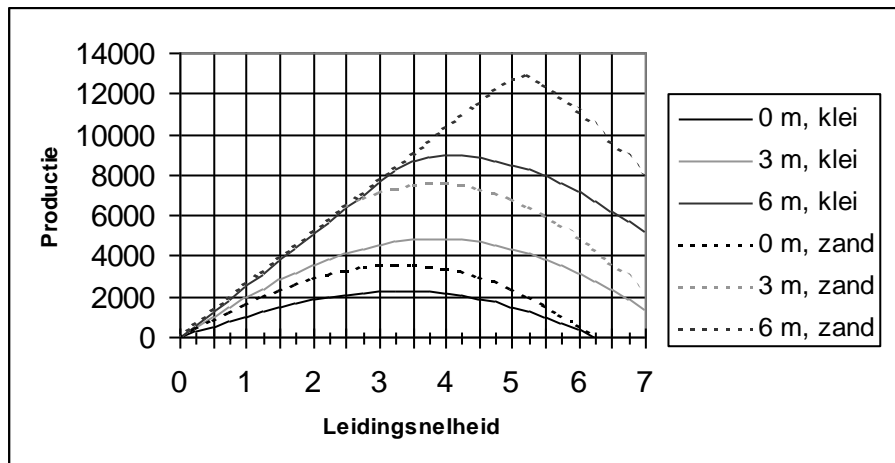
De mengsel dichtheid is nog niet bekend en kan worden bepaald met behulp van de vacuüm-formule:

$$\rho_{m,\max} = \frac{\frac{Vac}{g} + z_z \cdot \rho_w}{(z_z - z_p) + \frac{\xi_t \cdot v^2}{2g}}$$

Waarin:

- Vac = onderdruk (het vacuüm) [Pa]
- z_z = zuigdiepte [m]
- z_p = plaatsdiepte van de pomp [m]
- ξ_t = wrijvingsverlies in de zuigbuis [-]

De mengsel dichtheid kan niet de situ-dichtheid overstijgen, vandaar dat in de productie-formule een '≤'-teken staat. In onderstaande figuur is het een en ander grafisch weergegeven voor een situatie met een vacuüm van 60 kPa en bij twee verschillende situ-dichtheden (zand 2.000 kg/m³ en klei 1.650 kg/m³).



Figuur 4 Zuigproductie bij een vacuüm van 60 kPa als functie van de leidingsnelheid bij verschillende plaatsingsdieptes van de OWP

Indien het vacuüm omhoog gaat, zal de productiecapaciteit omhoog gaan. Echter zal de mengsel-dichtheid nooit de situ-dichtheid kunnen overtreffen.

§ 2 Perscapaciteit

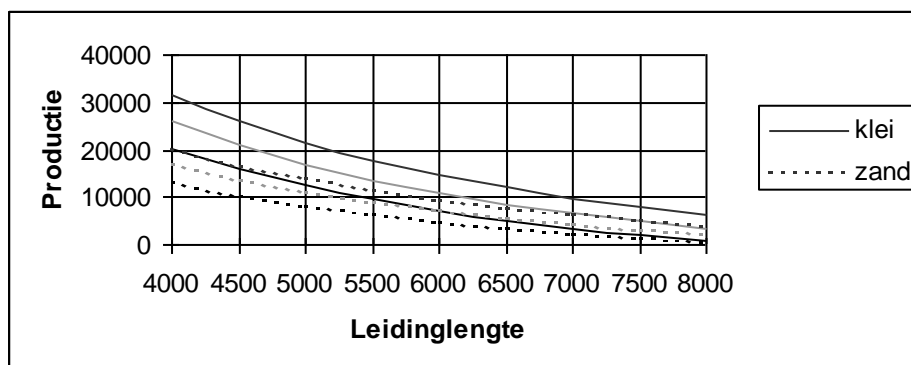
De maximale druk die opgebouwd kan worden na de twee perspompen aan boord van de cutter is een gegeven, deze verschilt van schip tot schip. Met de wet van Bernoulli kan dan de productie worden berekend bij verschillende leidinglengtes en mengsel-dichtheden.

$$\frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2g} - \frac{\lambda \cdot L_{eff} \cdot v^2}{2D \cdot g} = 0$$

Waarin:

- P = maximale druk achter de perspompen [kPa]
- ρ = mengsel-dichtheid [kg/m^3]
- v = stroomsnelheid in de pijp [m/s]
- L_{eff} = effectieve pijplengte [m]
- D = diameter perspijp [m]
- λ = wrijvingscoëfficiënt [-]

In onderstaande figuur is de productie bij verschillende situ-dichtheden grafisch weergegeven als functie van de leidinglengte. Er is voor de leidingdiameter een waarde van 900 mm genomen en voor de wrijvingscoëfficiënt een waarde van 0,012. Een kleinere leidingdiameter leidt tot een groter verlies en daardoor tot een lagere productie.



Figuur 5 Productie bij verschillende situ-dichtheden als functie van de leidinglengte, bij een persdruk van 1.400 kPa

§ 3 Zwaaicapaciteit

Zodra het te baggeren materiaal dunner wordt, gaat het zwaaien steeds makkelijker. Dit kan lang doorgaan, echter op een gegeven moment kan niet sneller meer worden gezwaaid. Bij de zwaaiproductie is de dichtheid van het situmateriaal niet zozeer van belang omdat datgene wat wordt losgesneden allemaal wordt opgezogen. De productie per paalwagen kan worden berekend met behulp van de volgende formule:

$$P_p \leq \frac{60 \cdot h_{bres} \cdot l_{paalwagen} \cdot b_{zwaai}}{t_{paalwagen}}$$

waarin:

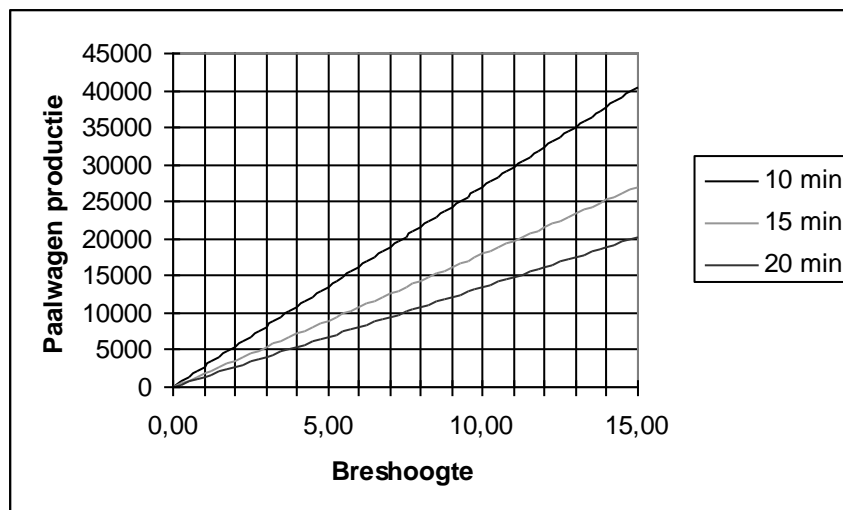
P_p = paalwagen productie [m³/uur]

h_{bres} = breshoogte [m]

$l_{paalwagen}$ = paalwagenlengte [m]

b_{zwaai} = zwaai breedte [m]

$t_{paalwagen}$ = cyclustijd voor een paalwagen [min]



Figuur 6 Zwaaiproductie bij een paalwagencyclus van 10, 15 en 20 minuten en een zwaai breedte van 90 m

4.5 Praktijk

Zowel in P2 als in P3 is in de periode 1 januari tot en met 1 februari gebaggerd met de cutter HAM218. Met de gegevens die hiervan afkomstig zijn kan het een en ander worden gezegd over de productie. In de onderstaande tabel staan de veldgegevens. In deze gegevens zijn de verletten geëlimineerd.

	P2	P3	
Hoeveelheid grond	609.000	326.951	m ³
Tijd	16.495*	4.785	min
Debiet	3,20	3,20	m ³ /s

Tabel 2 Veldgegevens HAM218
* deze tijd is inclusief een deel opschonen.

Hieronder zullen deze gegevens worden geanalyseerd.

§ 1 P2

Met behulp van deze gegevens kan worden berekend wat de gemiddelde dichtheid van het mengsel is in P2. Allereerst wordt daarvoor berekend wat de productie per operationeel uur is:

$$\frac{609.000}{16.495/60} = 2.215 \text{ m}^3/\text{uur}$$

Er wordt aangenomen dat het gemiddelde debiet 3,20 m³/s is geweest. Op de HAM218 wordt gewerkt met een 'flow-control' die ervoor zorgt dat er een constante snelheid in de leiding gehandhaafd blijft. Met het gemiddelde debiet kan dan worden berekend wat het gemiddelde percentage situ-materiaal in het mengsel is:

$$\frac{Q_{situ}}{Q_{mengsel}} \cdot 100\% = \frac{2215}{3,20 \cdot 60 \cdot 60} \cdot 100\% = 19,2\%$$

Met dit percentage kan vervolgens de gemiddelde dichtheid van het mengsel in de leiding worden bepaald, hierbij wordt ervan uitgegaan dat het gehele gebied kleiachtig is en een gemiddelde situ-dichtheid van 1.650 kg/m³ heeft.

$$(1 - 0,19) \cdot 1025 + 0,19 \cdot 1650 = 1.144 \text{ kg/m}^3$$

Deze mengseldichtheid is gemiddeld voor het gebied P2. Hierbij moet in acht worden genomen dat er een groot deel opgeschoond moest worden en dat dit de productie en daarmee de gemiddelde dichtheid drukt.

§ 2 P3

Met behulp van de gegevens uit Tabel 2 kan ook worden berekend wat de gemiddelde dichtheid van het mengsel is voor P3. Allereerst wordt daarvoor berekend wat de productie per operationeel uur is:

$$\frac{326.951}{4.785/60} = 4.100 \text{ m}^3/\text{uur}$$

Vervolgens kan op dezelfde manier als voor P2 worden berekend wat de gemiddelde mengseldichtheid is geweest. Bij deze gegevens voor P3 is niet opgeschoond, dus de gegevens omtrent de productie zijn niet vertroebeld. Ook hierbij was het gemiddelde debiet 3,20 m³/s.

$$(1 - 0,36) \cdot 1025 + 0,36 \cdot 1650 = 1.247 \text{ kg/m}^3$$

4.6 Koppeling tussen theorie en praktijk

De te baggeren hoeveelheden voor de gebieden P2 en P3 zijn respectievelijk: 600.000 m³ en 1.600.000 m³. De oppervlaktes zijn respectievelijk 270.000 m² en 550.000 m².

Als wordt uitgegaan van een situ-dichtheid van 1.650 kg/m³, dan kan een productieraming worden gemaakt.

Allereerst moet de capaciteit worden berekend voor het situ-materiaal. Hiervoor wordt aangenomen dat de mengselsnelheid in de leiding constant is en een waarde heeft van 5,0 m/s. Tevens wordt uitgegaan van een gemiddelde mengseldichtheid tijdens normaal bedrijf, dus niet tijdens opschonen, van 1.200 kg/m³. Daarmee kan dan de productietijd worden berekend.

$$C = Q \cdot 3600 \cdot \frac{\rho_m - \rho_w}{\rho_{situ} - \rho_w} = 3,20 \cdot 3600 \cdot \frac{1200 - 1025}{1650 - 1024} = 3226 \text{ m}^3/\text{uur}$$

Met:

- C = capaciteit (in-situ materiaal) [m³/uur]
- Q = debiet [3,20 m³/s]
- ρ_m = mengseldichtheid [1.200 kg/m³]

De productietijd kan dan als volgt worden berekend:

$$\frac{V_{situ}}{C} = T$$

Met:

V_{situ} = hoeveelheid te baggeren materiaal [m^3]

C = capaciteit [$3.226 m^3/uur$]

T = benodigde tijd [uur]

Als bij het opschonen wordt uitgegaan van een stapgrootte van 3 meter (paalwagen van 6 meter) en een zwaai van 100 meter. Met een aangenomen paalcyclustijd van 15 minuten kan dan de maximale vooruitgang per dag worden berekend. Deze is dan 575 meter. Dus het totale oppervlak dat in een dag kan worden opgeschoond is dan $57.500 m^2$. Het oppervlak van P2 en P3 zijn beide bekend en daarmee kan dan worden bepaald hoeveel extra tijd het opschonen kost.

	Oppervlak	Tijd
P2	$270.000 m^2$	4,7 dagen
P3	$550.000 m^2$	9,6 dagen

Tabel 3 Ramingen opschonen (zonder verletten)

Het gehele gebied ligt voor opschonen gemiddeld 1,0 meter te hoog. Daarmee kunnen dus de hoeveelheden worden bepaald die niet gebaggerd zijn tijdens de normale baggerwerkzaamheden. Deze zijn dus respectievelijk $270.000 m^3$ en $550.000 m^3$.

4.7 Verletten

Bovenstaande ramingen zijn alleen juist indien er geen verletten optreden. Dit is niet waarheidsgetrouw, er zal altijd enige tijd stilgelegd worden voor reparaties. Deze verletten kunnen worden opgesplitst in twee groepen: baggergerelateerde verletten en niet-baggergerelateerde verletten.

De eerste groep omvat verletten als gevolg van baggeren. Hieronder vallen dus obstructies in de snijkop of –pomp, wisselen van tanden of snijkop, reparaties aan leidingen of schip, etc. Deze verletten kunnen worden uitgedrukt in een percentage van de werktijd. Voor deze categorie is het percentage ca. 25% (aanname uit VOUB).

De tweede groep omvat verletten als gevolg van de omgeving. Hieronder vallen verletten ten gevolge van golven, stroming, verkeer, reparaties als gevolg van weer. Omdat deze verletten verschillend zijn van maand tot maand, worden deze verletten pas in een later stadium meegenomen in de planning.

Alle ramingen moeten dus worden aangepast voor de technische verletten (25%). De gemiddelde productie per uur gaat dan omlaag naar $2.580 m^3/uur$ onder normale baggerwerkzaamheden. De tijd voor opschonen duurt dan respectievelijk 5,9 dagen voor P2 en 12,0 dagen voor P3.

Hoofdstuk 5 Sleephopperzuiger

5.1 *Het schip*

Voor een uitgebreide beschrijving van de sleephopperzuiger wordt verwezen naar Bijlage III over de sleephopperzuiger. Hier wordt volstaan met een korte beschrijving van het schip. Een hopper is een zelfvarend schip met een laadruim en een of twee zuigbuizen. Het grootste deel van het schip wordt ingenomen door het laadruim (de beun of de hopper). De brug en de accommodatie voor de bemanning is aan de boegzijde of aan de achterkant van het schip geplaatst. De machinekamer is vaak op dezelfde locatie gesitueerd, de ruimte met de pompen is meestal daar waar de zuigbuis het schip binnenkomt, gelokaliseerd. De pompen staan zo laag mogelijk in het schip opdat er een zo rijk mogelijk mengsel kan worden oppompt.

5.2 *Het baggerproces*

Tijdens het baggeren vaart het schip met een constante lage snelheid (2 tot 5 km/uur) en sleept de sleepkop over de bodem. Elke keer dat het schip langs komt, wordt slechts een dunne laag losgemaakt en opgezogen. Een hopper is dan ook zeer geschikt om grote oppervlakten aan bodem te verlagen. Het meest ideale is dus een lang kanaal waarbij zo min mogelijk hoeft te worden gedraaid, dit geeft namelijk verlies als gevolg van de tijd die ermee gemoeid is. In tegenstelling tot een cutter is het baggerproces bij een hopper een batchproces waarbij deze cyclus dus zo efficiënt mogelijk moet worden gemaakt.

Het ontgraven kan op een aantal manieren gebeuren, dit in tegenstelling tot een cutter. Ten eerste kan het te ontgraven materiaal gewoon worden opgezogen. Er wordt dan gebruik gemaakt van de erosie die plaatsvindt aan de randen van de sleepkop als gevolg van het versnellen van het water. Meestal worden hier nog waterjets onderaan de kop gebruikt om het erosieproces te versnellen en de productie te vergroten. Dit kan bij bodemmateriaal met weinig cohesie, dus zand en grind.

Een tweede manier is het ontgraven door de kop op de bodem te leggen en te zuigen. Bij hogere cohesie wordt de grond plastisch vervormd waardoor de grond dermate onder spanning komt te staan dat ze openbarst en de sleepkop ingezogen wordt.

Tot slot wordt hard materiaal eerst mechanisch losgemaakt waarna het opgezogen wordt. Eigenlijk is de hopper hier niet geschikt voor omdat de zuigbuis niet goed gestuurd kan worden. Een cutter is hiervoor meer geschikt.

Er zijn twee manieren om te beladen, dit hangt af van het soort materiaal dat moet worden gebaggerd. Indien het materiaal een lage tot zeer lage bezinksnelheid heeft, wordt begonnen met een zo leeg mogelijke beun. De kop wordt dan in het te baggeren materiaal gehangen waarna wordt begonnen met zuigen. Er wordt geprobeerd zo min mogelijk water aan te zuigen om zo een zo rijk mogelijk mengsel te kunnen vervoeren.

Als er materiaal met grote bezinksnelheden moet worden gebaggerd, wordt begonnen met een beun vol met water. Het materiaal wordt met extra water opgezogen en in het beun gestort. Zodra het maximale draagvermogen wordt bereikt, wordt de overloop langzaam naar beneden bijgesteld totdat de beun vol zit. Er wordt begonnen met een vol beun omdat de onderwaterpomp dan lager ligt waardoor minder vermogen nodig is en dus direct een rijker mengsel gedraaid kan worden.

Zodra het schip vol is wordt gevaren naar de losplaats. Indien deze op zee is, wordt het schip gaat het schip langzaam varen en draaien en tegelijkertijd worden de bodemdeuren geopend. Het materiaal kan dan onder natuurlijk verval naar de bodem van de zee vallen. Hoe grover het materiaal, hoe korter de lostijd. Bij fijn zand en klei kan er brugvorming optreden waardoor het ledigingproces nadelig wordt beïnvloed. Door te blijven varen erodeert de onderkant van de brug langzaam weg en kan de beun verder leeglopen. Als de bruggen niet willen bezwijken, wordt gebruik gemaakt van het jetsysteem dat in de beun is aangebracht. Tijdens het lossen van slecht losbaar materiaal kan het schip enkele graden slagzij maken.

Zodra het schip leeg is wordt teruggevaren. Dit gebeurt wederom op volle snelheid. Feitelijk zal het schip nooit leeg zijn, er zal namelijk altijd een hoeveelheid water (en restlading bij leegzuigen) in het beun achterblijven als gevolg van het lossen met open bodem.

5.3 Productiebepalende factoren

In deze paragraaf wordt ingegaan op de productiebepalende factoren. Daarbij wordt eerst ingegaan op de externe factoren en daarna op de interne factoren. Voor een optimale productie is het van belang dat de cyclus optimaal is. Er moet worden gezocht naar de kortste cyclus.

§ 1 Externe factoren

De belangrijkste externe productiebepalende factor is het te baggeren materiaal. Het te baggeren materiaal bepaald de werkwijze voor een groot deel. Met slib zal er geen overloop gebruikt worden omdat dit vrijwel geen vergroting van de hoeveelheid situ-materiaal oplevert. Met zand en grind daarentegen zal juist veel overtollig water worden geloosd.

Een hopper haalt elke keer een relatief dunne laag grond van de bodem. Hierdoor maakt het minder uit of er veel of weinig afgegraven moet worden. Hierdoor is een hopper, in tegenstelling tot een cutter, nog rendabel bij opschoonwerkzaamheden.

Een andere externe factor die bepalend is voor de cyclus is de afstand tussen baggeren en lozen. Indien deze groot is, is de tijd die moet worden gevaren ook groot. Gedurende deze tijd kan er geen materiaal meer worden opgezogen en ligt het bedrijf dus tijdelijk 'stil'. Dit is nutteloze tijd. Er moet dan ook worden gezocht naar de grootst mogelijke productie per operationeel uur.

Ook kan het zo zijn dat de effectieve lengte om materiaal op te zuigen te klein is waardoor aan het eind moet worden gekeerd. Ook deze tijd is verloren tijd. Hierdoor gaat de cyclustijd omhoog en dus gaat de productie per uur omlaag.

§ 2 Interne factoren

De meest belangrijke interne productiebepalende factor is de beuninhoud. Indien deze klein is kan er per keer weinig materiaal worden vervoerd. Echter bij een klein zuigvak is een te grote beuninhoud juist onnuttig, omdat er dan gekeerd moet worden aan het eind van het zuigvak wat weer tijd kost. Tevens is een kleine hopper veel goedkoper en kunnen de kosten per m³ lager zijn, ondanks de langere uitvoeringstijd. Hier wordt verder niet op ingegaan bij de behandeling van de alternatieven.

Ten tweede heeft een hopper een minimale diepte nodig om te kunnen baggeren. Deze wordt gegeven door de minimale diepte van de zuigbuis en de beladen en onbeladen diepgang. Indien het schip aan de ene kant van het zuigvak wel volgeladen kan varen en aan de andere kant van het zuigvak niet, dan ligt daarmee dus impliciet de werkrichting vast en daarmee een stuk van de productie.

Een andere beperkende factor is de maximale vaarsnelheid, volgeladen en onbeladen. Indien deze laag zijn kost het varen relatief veel tijd waardoor het materiaal dat per uur wordt verplaatst kleiner wordt. Indien zeer hoge vaarsnelheden gewenst zijn, gaan de brandstofkosten onevenredig veel omhoog. Hierdoor is er een optimum waarbij de kosten per m³ situ het laagst zijn.

Vervolgens is ook het zuiggedrag van groot belang. Het zuiggedrag bepaald de hoeveelheid mengsel dat per seconde in het beun terecht komt. En de hoeveelheid mengsel is evenredig met de hoeveelheid ontgraven grond.

§ 3 Gevolgen voor Bintulu

Zoals al duidelijk was geworden in de vorige paragraaf is ook bij een hopper de situatie bepalend voor de productie. In Bintulu zijn twee stukken waar gebaggerd moet worden, een van 1500 meter en een van 2000 meter. Aan het ene eind van het zuigvak (P3) met een lengte van 2000 meter is weinig ruimte, daar begint direct de oude havenkom voor de handelsvaart. Aan de andere kant kan direct het nieuwe kanaal in gevaren worden wat reeds op diepte is. Het andere zuigvak (P2) begint bij het nieuwe kanaal en komt uit in de nieuwe havenkom waar voldoende ruimte om te keren is.

In het hoofdstuk over de cutter is al verteld dat het materiaal allemaal slappe klei is. Het gevolg is dus dat het minder goed bezinkt en dat is een belangrijke bepalende factor.

De vaardiepte is in P3 te klein, hierdoor kan P3 niet met alleen een hopper worden gebaggerd. Wel is het mogelijk om eerst een deel van het werk te doen met een cutter en het

werk af te maken met een hopper. Dit heeft dus ook gevolgen voor de uiteindelijke keuze.

5.4 Productieraming sleepopperzuiger

§ 1 Algemene gegevens sleepopperzuiger

De tijd om van en naar de losplaats te varen inclusief lostijd bedraagt 65 minuten. Hier kan in de gehele berekening gebruik gemaakt worden.

Er worden twee ramingen gemaakt. Een in de situatie dat er uitsluitend zand aanwezig is, en een in de situatie dat er uitsluitend slib aanwezig is. De ramingen zullen hieronder worden gepresenteerd. Als eerste zal de raming voor P2 worden behandeld en daarna de raming voor P3, waarbij voor P3 het eerste gedeelte door een cutter gedaan moet worden.

De onderstaande gegevens zijn kengetallen van de sleepopperzuiger HAM316.

Hoeveelheid P2	700.000
Hoeveelheid P3	1.500.000
Snelheid	28,5 km/uur
snelheid tijdens zuigen	3,8 km/uur
Beuninhoud	9.000 m ³
nuttig draagvermogen	13.000 ton

Tabel 4 Gegevens grond en sleepopperzuiger HAM316

De hoeveelheid voor P3 is hier maar 1.500.000 m³ omdat 320.000 m³ door de cutter moet worden voorgebaggerd. Het totaal dat moet worden gebaggerd is ca. 1.820.000 m³.

§ 2 Zand baggeren

Als wordt uitgegaan van een beladingsgraad van 90% en een uitlevering van 5%, dan wordt met een draagvermogen van 13.000 ton, de lading:

$$\frac{13.000.000}{0,10 \cdot 1024 + 0,90 \cdot 1900} = 7.172 \text{ m}^3$$

Hiervan is 90% zand dat een uitlevering ondervindt van 5%. De effectieve lading situ-materiaal is dan dus:

$$\frac{7.172 \cdot 0,90}{1,05} = 6.150 \text{ m}^3$$

Als het zuigdebiet 5 m³/s is en 30% situ-materiaal is, dan is met een overloopverlies van 20% de zuigtijd:

$$\frac{6150}{(1 - 0,2) \cdot 0,3 \cdot 5,0 \cdot 60} = 85 \text{ min}$$

Er zal dan 1 keer gekeerd moeten worden, wat een tijd kost van 2 minuten. Hiermee is dan de totale cyclustijd te berekenen:

	P2/P3	
Laden	85	min
Keren	2	min
Varen (2x)	60	min
Lossen	5	min
	152	min

Nu kan de gemiddelde productie worden berekend voor het geval er zand wordt gebaggerd. Per beun wordt er immers 6.150 m³ materiaal gebaggerd en een cyclus duurt 152 minuten. De gemiddelde productie per operationeel uur is dan dus 2.430 m³/uur.

§ 3 Slib baggeren

Als wordt uitgegaan van een gemiddelde zuigconcentratie van 50%, dan is de lading 4.500 m³ situ-materiaal. De laadtijd is gelijk aan de beuninhoud gedeeld door het zuigdebiet en komt daarmee op 30 minuten. Het schip hoeft dan voor P3 niet te keren, echter in geval van P2 moet dit wel. De cyclustijden worden dus ook anders voor deze twee gebieden. Deze tijden zijn respectievelijk:

	P2	P3	
Laden	30	30	min
Keren	2	0	min
Varen (2x)	60	60	min
Lossen	5	5	min
	97	95	min

Nu kan de gemiddelde productie worden berekend voor het geval er slib wordt gebaggerd. Per reis wordt er immers 4.500 m³ situ-materiaal opgebaggerd en een cyclus duurt gemiddeld 96 minuten. De gemiddelde productie per operationeel uur is dan dus 2.810 m³/uur.

5.5 Praktijk

Hoewel er in de periode 1 januari tot 1 februari 2001 niet in P2 en / of P3 gebaggerd is met behulp van een hopper, zijn er wel gegevens beschikbaar van hoppers die eerder op het werk aanwezig waren. De HAM310 heeft uitsluitend in de gebieden P4 en P5 gebaggerd en heeft een productie gehaald van 3.360 m³/oh (oh = operational hour). De Geopotes15 en de Delta hebben beide in de gebieden P2-P5 en M16 gebaggerd. Doordat er in M16 veel gestoken moest worden is daardoor de productie lager uitgevallen. De producties zijn respectievelijk 2.440 m³/oh en 2.830 m³/oh. Deze waarden zijn echter meer betrouwbaar voor P2 en P3 dan de gegevens van de HAM310. Om deze reden wordt dan ook een productie van 2.700 m³/oh aangehouden als representatief voor de gebieden P2 en P3.

5.6 Verletten

In tegenstelling tot een cutter heeft een hopper weinig verletten. Een hopper kan onder de meest uiteenlopende weersomstandigheden werken. Er kunnen toch verletten ontstaan en daar moet dan ook rekening mee worden gehouden. De technische verletten zullen indien zand wordt gebaggerd hoger zijn, dan indien er slib wordt gebaggerd. Er is immers bij het aanzuigen van zand veel meer slijtage dan bij het aanzuigen van slib.

Als percentage voor technische verletten wordt hier 5% van de servicetijd genomen. De gemiddelde producties per uur worden dan voor zand en slib respectievelijk 2.310 m³/uur en 2.675 m³/uur. In de berekening voor de raming wordt gerekend met een theoretische productie zonder verletten van 2.700 m³/oh en dus een gemiddelde productie inclusief verletten van 2.570 m³/oh. Hierop zullen de productieramingen worden gebaseerd.

Hoofdstuk 6 Kostencalculatie

De kosten voor de cutter en de hopper kunnen worden bepaald met behulp van de methode van de VGBouw. Dat zal dan ook hieronder gebeuren. Allereerst worden de kosten voor de cutter op een rijtje gezet en daarna die voor de hopper.

6.1 Snijkopzuiger

Voor de cutter is de volgende formule om de A+r (afschrijving en rente) en O+R (onderhoud en reparatie) kosten mee te bepalen ontwikkeld:

$$N = 6000 \cdot C + 1800 \cdot (P + J) + 9500 \cdot G \quad [2]$$

Met:

- N = Waardenorm [fl.]
- C = Cuttervermogen [1.618 kW]
- P+J = Grond- en Jet-pompvermogen [7762 kW]
- G = eigen massa [615 ton]

Hiermee komt N dus op fl. 29.522.100,-.

De kosten voor A+r en O+R zijn gerelateerd aan N. De coëfficiënt voor A+r is 0,45% voor continu-dienst. Voor O+R is de coëfficiënt 0,33% voor continu-dienst.

Voor slijtage aan leidingen wordt aangenomen dat het gebaggerde materiaal ge-sidecast wordt. Hierdoor is een drijvende leiding met een lengte van 1000 meter voldoende. De slijtagekosten voor drijvende leiding zijn ca. 20 maal zo hoog als voor landleiding.

Met deze waarden kunnen de wekelijkse kosten worden bepaald.

Cutter		
Totaal geïnstalleerd vermogen	10439	
Cuttervermogen	1618	
Pompvermogen	7762	
Tonnage	615	
N		fl 29.522.100,00
Cutter:		
salarissen en lonen		fl 60.000,00
Brandstof		fl 150.998,05
Smeermiddelen		fl 22.649,71
Verzekeringen		fl 19.681,40
A+r		fl 133.557,98
O+R		fl 143.477,41
Sub-totaal		fl 530.400,00
Overig:		
Multicat		fl 10.800,00
Drijvendeleiding rubber (18 m)	fl 947,00	
	1008 m	fl 53.032,00
Subtotaal		fl 63.900,00
Totaal		fl 594.300,00 per week

6.2 Sleephopperzuiger

Voor de hopper is de volgende formule om de A+r (afschrijving en rente) en O+R (onderhoud en reparatie) kosten mee te bepalen ontwikkeld:

$$N = 7770 \cdot G + 1575000 \cdot G^{0.35} - 8400000 + 2520 \cdot P_z + 1208 \cdot S + 1050 \cdot J_s \quad [2]$$

Met:

- N = Waardenorm [fl.]
 G = eigen massa [3.113 ton]
 P_z = vermogen grondpompen [4.420 kW]
 S = schroefvermogen [11.810 kW]
 J_s = getalwaarde jetvermogen op de sleepkoppen [0 kW] (aanname)

Hiermee kom N dus op fl. 68.339.425,51.

De kosten voor A+r en O+R zijn gerelateerd aan N. De coëfficiënt voor A+r is 0,40% voor continu-dienst. Voor O+R is de coëfficiënt 0,18% voor continu-dienst. Met deze waarden kunnen de wekelijkse kosten worden bepaald.

Hopper	
Tonnage	3113 ton
Pompvermogen	4420 kW
Totaal geïnstalleerd vermogen	11810 kW
N	fl 68.339.425,51
Hopper:	
Salarissen en lonen	fl 66.000,00
Brandstof tijdens varen	fl 96.938,84
Brandstof tijdens laden	fl 48.559,71
Totaal brandstof	fl 145.498,55
Smeermiddelen (15% brandstof)	fl 21.824,78
Verzekeringen (1,7% van N pj)	fl 38.725,67
A+r	fl 267.343,83
O+R	fl 141.462,61
	fl 680.900,00
Overig:	
-	
	fl 0,00
Totaal	fl 680.900,00 per week

6.3 Alternatieven

Er zijn per gebied 3 alternatieven, te weten:

1. alles met een cutter
2. alles met een hopper, waarbij eerst voldoende diepte moet worden gecutterd
3. alleen opschonen met de hopper en de rest met de cutter

Bij alle alternatieven wordt gestart op 1 januari 2001. Hoewel het eventueel goedkoper zou kunnen zijn later te beginnen, moet toch op 1 januari begonnen worden. In de onderstaande tabel zijn de kosten voor elk alternatief berekend.

		Productie	# dagen	Kosten
P2, 600.000 m ³	Cutter	2.580 m ³ /oh*	11,2	fl 951
	Hopper	2.570 m ³ /oh	9,7	fl 946
	Combi		9,7	fl 878
P3, 1.600.000 m ³	Cutter	2.580 m ³ /oh*	32,5	fl 2.756
	Hopper	2.570 m ³ /oh	29,5	fl 2.804
	Combi		29,4	fl 2.609

Tabel 5 Kosten alternatieven in duizenden gulden

* bij een cutter moet een deel worden opgeschoond, dit beïnvloed de productie nog

In de bovenstaande tabel zijn nog geen weersverletten meegenomen, die zullen hierna ter sprake komen. Als wordt aangenomen dat een cutter niet meer kan werken bij een golfhoogte hoger dan 0,75 m en een hopper niet meer kan werken bij een golfhoogte van 1,75 m, dan kan worden bepaald wat de weersverletten zijn. Hiervoor is gebruik gemaakt van voorspellingsdata van golven, deze zijn op het kantoor aanwezig. In onderstaande tabel zijn de cumulatieve onderschrijdingskansen weergegeven.

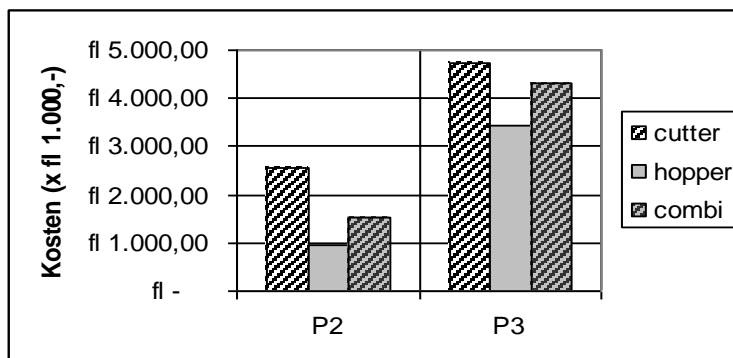
	P2		P3	
	Cutter	Hopper	Cutter	Hopper
Jan	68,0 %	99,1 %	42,0 %	98,3 %
Feb	88,9 %	100,0 %	78,4 %	100,0 %
Mrt	86,4 %	100,0 %	74,8 %	99,9 %
Apr	98,8 %	100,0 %	97,8 %	100,0 %

Tabel 6 Werkbaarheid per maand

Met deze gegevens kunnen de werkelijke kosten worden bepaald voor het uitvoeren van het werk met de verschillende alternatieven. Hieronder zijn de werkelijke geraamde kosten weergegeven. Hierbij is ook gekeken naar de kosten indien meer (2x zoveel) wordt opgeschoond.

	P2		P3	
	Normaal	Extra opschonen	Normaal	Extra opschonen
Cutter	fl 2.264	fl 2.569	fl 4.738	fl 5.071
Hopper	fl 963	fl 963	fl 3.451	fl 3.451
Combi	fl 1.510	fl 1.062	fl 4.309	fl 4.085

Tabel 7 Minimale kosten in duizenden gulden in een maand inclusief weersverletten



Figuur 7 Grafische weergave van de kosten per alternatief

Uit de grafiek kan worden afgelezen dat het uitvoeren met alleen een hopper het goedkoopst is. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat de kosten sterk afhankelijk zijn van de werkbaarheid. Indien het weer meezit, zullen de kosten van alleen een hopper niet veel dalen, de werkbaarheid is vele malen groter. De kosten voor een combinatie zullen relatief meer dalen, waardoor het goedkoop kan worden om een combinatie te gebruiken.

Hoofdstuk 7 Conclusie

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste conclusies nog een keer op een rijtje gezet. Als eerste zal de vraagstelling nog een keer worden herhaald:

Welke combinatie van snijkopzuiger en sleephopperzuiger is de meest voordelige om het werk af te ronden, met als startdatum 1 januari?

Op deze vraag is geprobeerd een antwoord te vinden. Er is allereerst gekeken naar wat het project inhoudt en wat er nog gedaan moet worden. Daaruit bleek dat uitsluitend in de gebieden P2 en P3 nog gebaggerd moest worden.

Vervolgens is gekeken naar de mogelijkheden van een cutter. Hierbij is behalve naar de theorie ook naar de praktijk gekeken. Daarna is een raming gemaakt voor de te verwachten productie. Bij de cutter viel op dat het een stationair werktuig is dat zeer veelzijdig is. Echter heeft de cutter maar een beperkt werkbereik, het materiaal moet worden gestort op een relatief korte afstand van het schip. Ook is opgevallen dat productie alleen afhangt van het soort materiaal dat gebaggerd moet worden. Tevens is opgevallen dat de productie bij opschoonwerkzaamheden zeer klein kan worden.

Voor de hopper is hetzelfde gedaan, met dien verstande dat er geen directe veldgegevens voor de gebieden P2 en P3 voor handen waren. Ook voor de hopper is een raming gemaakt wat betreft de productie die te verwachten is. Bij de hopper viel op dat deze een batch-proces kent en dat daar de productie voor een groot deel van afhangt. Zodra over grote afstanden gevaren moet worden, daalt de productie. Toch is het over grote afstand verplaatsen van grond een groot voordeel van een hopper. Een ander aspect dat opgevallen is, is dat er een groot verschil bestaat tussen het baggeren van slib-achtig materiaal en zand of grind.

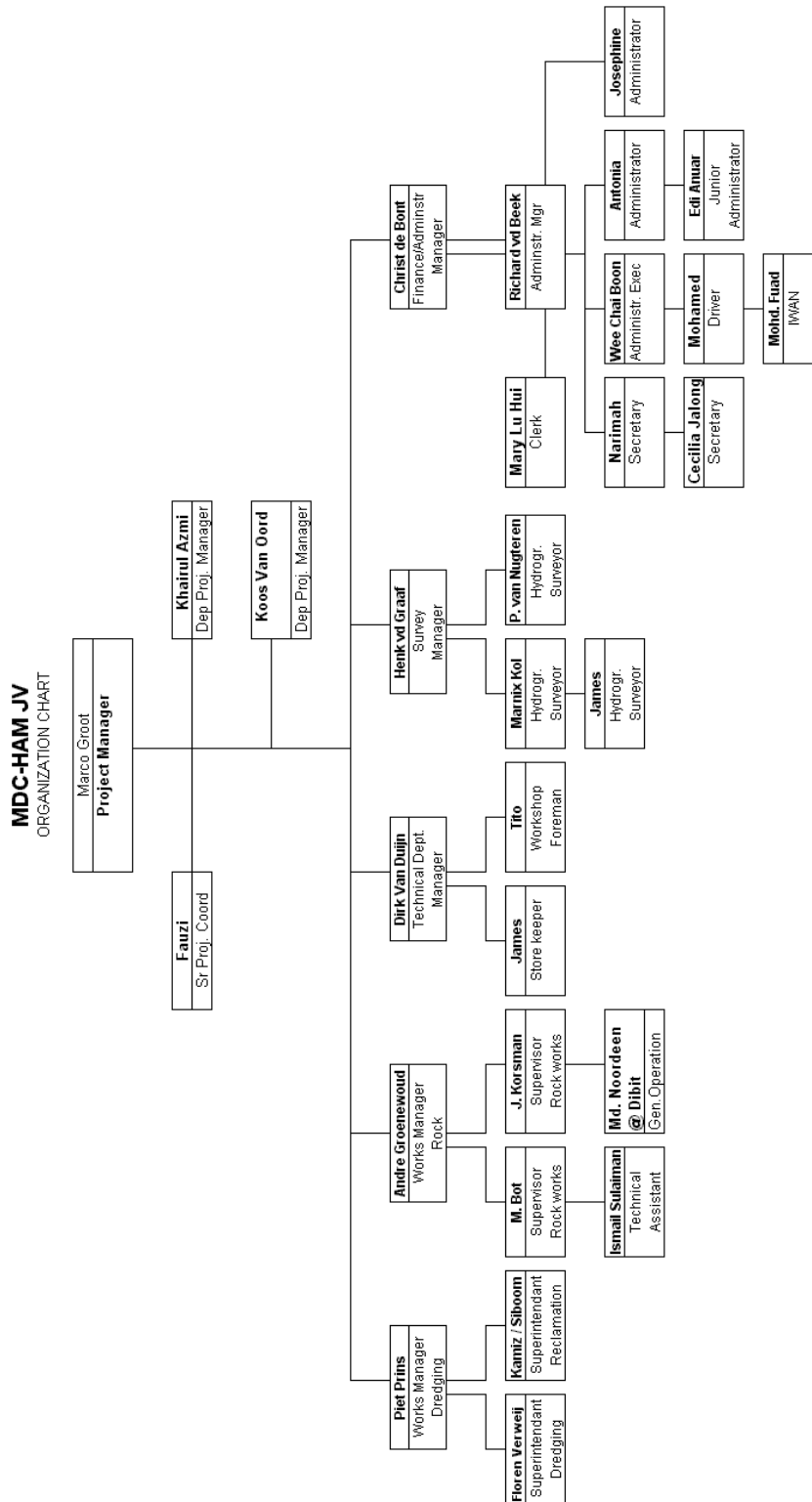
Na deze productieanalyse is het een en ander behandeld over de kosten van zowel een cutter als een hopper. Daarbij viel op dat een hopper duurder is dan een cutter. Bij een cutter zijn veel hulpmiddelen nodig en bij een hopper zijn de directe kosten hoger. Echter is gebleken dat de weersverletten van een hopper vele malen kleiner zijn dan van een cutter en dat daardoor de cutter snel minder aantrekkelijk wordt.

Zodra de kosten van alle alternatieven naast elkaar gelegd worden, is de conclusie getrokken dat het het meest goedkoop is om alles met een hopper uit te voeren. Daarbij is wel de aantekening gemaakt dat een goed jaar, wat betreft het weer, meer impact heeft indien van een combinatie gebruik wordt gemaakt, dan wanneer alleen van een hopper gebruik wordt gemaakt. Met andere woorden, het uitvoeren met een combinatie van een cutter en een hopper wordt naarmate het weer betert aantrekkelijker.

Literatuurlijst

- [1] Collegedictaat CTwa5300, 'Baggertechniek'
TUDelft (december 1999), ir. G.L.M. van der Schriek
- [2] Cd-rom Voortgezette Opleiding Uitvoering Baggerwerken (VOUB)
VBKO (1998)

Bijlage I. Project-organisatie-diagram



Bijlage II. Uitgebreide beschrijving Snijkopzuiger [2]

Algemeen

De snijkopzuiger is een werktuig dat de te ontgraven grond eerst snijdt en daarna opzuigt. Op deze manier kan uiteenlopend materiaal (van klei en zand tot rots) worden ontgraven en kan een redelijk vlakke bodem worden achtergelaten.

Het werktuig is tijdens het baggeren op een locatie gefixeerd. De cutter wordt daarom wel een stationair baggerwerktuig genoemd. Tijdens het baggeren is het achterschip doormiddel van een spudpaal, of ankers, ten opzichte van de bodem gefixeerd. Het schip en daarmee de snijkop, zwaait met behulp van zijdraden rond de spudpaal. Omdat er grote krachten worden uitgeoefend op de snijkop, dient de verankering van het voorschip stijf te zijn. Aan deze zijdraden zitten daarom grote ankers vast die zich in de grond trekken.

Het werktuig bevat de volgende hoofdonderdelen: snijkop, snijkopladder, casco, spudpaalsysteem, ankerbomen, pompen, leidingen en lieren. Deze zullen hieronder worden besproken.

Snijkop

De snijkop bestaat uit een ring (de backring), een naaf en een aantal bladen (meestal 5 of 6). De snijkop heeft meestal de vorm van een schroef en de bladen kunnen zowel met de klok mee gedraaid zijn als tegen de klok in. Deze bladen vormen de verbinding van de naaf met de backring.

Op de bladen worden tanden gestoken. Deze tanden hebben verschillende eigenschappen, zo zijn er tanden speciaal voor rots (beiteltanden) en tanden die hoofdzakelijk gebruikt worden voor de lossere grondsoorten (snijttanden).

Snijkopladder

De snijkopladder verbindt de snijkop met het schip. Over de ladder lopen zowel de aandrijving van de snijkop en de zuigpomp als de zuigleiding. De snijkopladder vangt dus alle krachten op van de snijkop.

De ladder kan op elke gewenste diepte worden gehangen binnen het werkbaar bereik van de cutter. De zuiger kan meestal al werken vanaf een diepte van ca 5 meter (anders loopt de cutter aan de grond) tot een diepte waarbij de ladder maximaal onder een hoek van 45° staat t.o.v. het schip. Indien een grotere hoek wordt toegepast bestaat de kans dat het schip zich op de ladder zet met alle gevolgen van dien. Tevens is het niet meer effectief om dieper te ontgraven omdat niet het volledige vermogen wordt gebruikt.

Onder aan de snijkopladder zitten grote schijven waarover de draden naar de ankers lopen zodat de krachten die worden gevormd bij het verhalen (het heen en weer gaan van het werktuig) zo snel mogelijk overgebracht worden naar de bodem.

Casco

Bij niet zelfaangedreven cutters is het casco vrijwel altijd rechthoekig van vorm waarbij de boeg enigszins taps toeloopt om een smallere snee breedte mogelijk te kunnen maken. Immers zwaait het casco uit naar beide kanten waarbij de beide hoeken van de boeg de meest belemmerden factor vormen voor de snee breedte.

Het casco bestaat uit drie afzonderlijke pontons: twee zijpontons en één hoofdponton. Het hoofdponton is kleiner dan de twee zijpontons. De snijkopladder hangt voor het hoofdponton aan de zijpontons. Achter het hoofdponton is een ruimte uitgespaard voor de paalwagen.

Op het hoofdponton vinden alle gebruiksfuncties plaats. Hierin is de machinekamer en de pompkamer ondergebracht op het laagste niveau. Op het middelste niveau is ruimte voor de mess, de kombuis en toiletten, alsmede de werkplaats. Vanwege het zicht is de stuurhut op het bovendeck geplaatst. Op het bovendeck staan tevens de grote reserve onderdelen.

Spudpaalsysteem

Het spudpaalsysteem zorgt ervoor dat het schip stappen voorwaarts kan maken. Het bestaat over het algemeen uit een paalwagen met een werkpaal en een hulppaal die in een van de zijpontons is gesitueerd. Tijdens het baggeren staat de werkpaal telkens aan de grond. Aan het eind van een haal wordt deze paal een stukje naar achteren geduwd waardoor het schip een stuk voorwaarts wordt verplaatst (de stap). Zodra de paalwagen aan het eind is gekomen, wordt de hulppaal aan de grond gezet en kan de paalwagen weer in de nulstand worden teruggebracht waardoor het hele verhaal weer kan beginnen.

Ankerbomen

De ankerbomen zijn gesitueerd aan beide zijden van het schip en dienen voor het verplaatsen van de ankers. Indien de ankers op een en dezelfde plek zouden blijven is het na enige tijd niet meer mogelijk om een zwaai te maken. Dit komt omdat dan de ankerdraden een te veel achterlijk staan waardoor er bij zwaaien te grote krachten optreden en de cutter dus niet meer uit de hoek getrokken kan worden. Dit geldt ook voor het geval de ankers te veel voorlijk staan. In het laatste geval bestaat tevens de kans op het doorsnijden van de ankerdraden.

Zodra een schip een bepaalde afstand heeft afgelegd, worden de ankers met behulp van de ankerbomen voorwaarts verlegd. Op die manier blijft het mogelijk om stappen voorwaarts te nemen zonder hulp van een hulpschip. Door de ankers zo ver mogelijk weg te zetten, kan er zo lang mogelijk worden gestapt zonder de ankers te verzetten, dit geeft dus minder tijdverlies

Pompen en leidingen

Op een cutter zijn een aantal pompen en leidingen geplaatst. Als eerste komt men de zuigmond tegen, deze heeft een niervorm om de benodigde doorsnede te kunnen bereiken. Vervolgens is aan de zuigmond de zuigleiding bevestigd die de opgezogen baggerspecie omhoog transporteert naar de onderwaterpomp. Deze pomp is onderwater gelokaliseerd omdat voor zuigen in tegenstelling tot persen onderdruk is vereist. Een grote zuigdiepte leidt al snel tot de fysische grens van vacuüm. Na de onderwaterpomp volgt de leiding die de specie naar de binnenboord pomp(en) transporteert. Deze pompen kunnen de specie over een grote afstand verpompen. Vervolgens loopt de leiding naar het bovendek waar een ontluichtingsklep en een aantal inspectieluiken zijn aangebracht. Tenslotte loopt de leiding naar de achtersteven waar de leiding wordt gekoppeld aan een drijvende leiding die de specie transporteert naar de wal of een ander loospunt.

Lieren

Er zijn twee belangrijke lieren op een baggerschip aanwezig. Dit is ten eerste de ladderlier, waarmee de diepte kan worden ingesteld. Ten tweede zijn er twee zijlieren aangebracht. Met deze lieren wordt de verhaalsnelheid geregeld, deze zijn tijdens het bedrijf constant in beweging. Verder zijn er nog de lier voor het achteranker, de lieren voor de ankerbomen en de lieren voor het lichten van de ankers.

Hulpwerktuigen

Een cutter kan feitelijk niet alleen baggeren, hij heeft hulp nodig van buitenaf om bijvoorbeeld ankers te verleggen en om de leiding te verleggen of om zelf verlegd te worden. Om van de ene werkplek naar de andere te komen, moet de cutter worden verplaatst met behulp van het hulpschip.

Bijlage III. Uitgebreide beschrijving Sleephopperzuiger [2]

Algemeen

De sleephopperzuiger is een werktuig dat de te ontgraven grond direct opzuigt van de bodem. Een sleephopperzuiger kent een grote mate van werkbaarheid en is met name geschikt om over grote afstanden te werken.

Het werktuig vaart tijdens het baggeren. Het is immers een zelfvarend zee- of binnenvaartschip. Tevens is het schip in staat zelf te lossen. Dit kan op verschillende manieren. Vaak zijn er uitsparingen gemaakt in de bodem van het schip die kunnen worden afgesloten. Hierdoor kan dan op de plek van lozen, de baggerspecie via de gaten in de bodem worden gelost. Ook is er vaak een pompinstallatie aan boord waarmee de specie uit de hopper kan worden gezogen en worden getransporteerd naar de wal doormiddel van een drijvende leiding of door het direct sproeien over de boeg, het zogenaamde rainbowen. Hieronder zal een beschrijving gegeven worden van de onderdelen van de hopper.

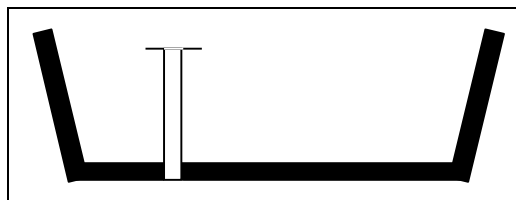
Casco

Zoals reeds vermeld, is de hopper een zelfvarend schip. Hierdoor is de vorm ook anders dan de vorm van een cutter. Doordat varen een van de hoofdactiviteiten is, wordt hierdoor ook de vorm van het schip bepaald. Tevens moet het schip zijn voorzien van een laadruim (beun). Het laadvermogen is het drijfvermogen minus de scheepsmassa. Bij zand wordt het maximale draagvermogen benut, bij slib wordt de maximale inhoud benut.

Laadruim

De vorm en de afmetingen van het beun zijn bepalend voor de vul-eigenschappen, de los-eigenschappen en de stabiliteit van het schip. De vorm is ook bepalend voor de plaats en de manier waarop de specie in de hopper wordt gedumpt, waar de overvloeien zijn gelokaliseerd en de mate waarin het bezinken wordt belemmerd door obstructies.

Hoe verder het schip geladen wordt, hoe meer verliezen er optreden als gevolg van overvloeien. Om de verliezen van specie zo veel mogelijk te beperken, dient het beun aan de bovenzijde zo breed mogelijk te zijn. De overvloeiverliezen nemen namelijk toe doordat de specie bij een bepaalde beladingsgraad niet meer volledig bezinkt. Dit komt doordat de waterfilm steeds dunner wordt waardoor de stroomsnelheden groter worden.



Figuur 8 Overlaat

Om zoveel mogelijk specie te kunnen vervoeren, moet een deel van het water dat tijdens het zuigproces wordt opgezogen worden afgevoerd. Dit gebeurt met behulp van overvloeinrichtingen. De plaats hiervan is van groot belang bij moeilijk bezinkend materiaal. Zou de overvloeinrichting namelijk verkeerd geplaatst zijn, dan gaat het grootste deel van het opgezogen materiaal direct weer overboord wat de efficiëntie niet ten goede komt. Bij de makkelijker bezinkende materialen is de plaats minder van belang. Dit kan worden voorgesteld met grind, het meeste materiaal is dan namelijk vrijwel direct na lozen in de hopper bezonken en dus zijn de overvloeiverliezen erg klein. Verder is de locatie van de overvloeinrichting van belang i.v.m. de milieueisen.

Brug en accommodatie

Bij de meeste hoppers is de brug óf op het achterschip óf op het voorschip gelokaliseerd. De keuze hangt met name samen met het zicht dat noodzakelijk is op de verschillende

onderdelen van het schip. Tevens is de locatie van grote invloed op de gewichtsverdeling en de stabiliteit van het schip en de manoeuvreerbaarheid. De accommodatie voor de bemanning, die gedurende lange tijd intern zitten, is vrijwel altijd op dezelfde plek van het schip gelokaliseerd.

Op de brug zijn alle bedieningsfuncties voor zowel navigeren als voor het productieproces aanwezig. Vanuit de brug is een goed zicht op de procesonderdelen ten aanzien van het baggeren mogelijk als ook een goed zicht vooruit en achteruit zodat de bewegingen van het overige nautische verkeer goed in de gaten kunnen worden gehouden.

Installaties

Aan boord zijn een aantal installaties geplaatst om de taken mogelijk te maken. De voorstuwing wordt mogelijk gemaakt door de schroeven en de roeren. Deze moeten goede prestaties kunnen leveren zowel tijdens varen van en naar de losplaats, als tijdens het langzaam varen tijdens het laden.

Sleepkoppen

Tijdens het baggeren sleep(en) de sleepkop(pen) over de bodem. Voor het voortslepen van de kop is veel energie nodig, vele malen meer dan wanneer vrij wordt gevaren. Deze energie wordt wel het kopsleepvermogen genoemd.

Er zijn een aantal typen sleepkoppen. Zo zijn er koppen met een relatief grote opening speciaal voor slib, koppen met een kleine opening voor zand en grind en koppen die mechanisch de grond loswoelen voor hardere grondsoorten en zacht gesteente. Een sleepkop bestaat uit de volgende onderdelen: de helm, dit is de vaste kop en is verbonden met de zuigbuis, en het vizier(en), die met de helm zijn verbonden en de hoek van de buis met de bodem groter of kleiner maken.

Zuigbuis

Een zuigbuis moet aan een aantal voorwaarden voldoen, zo moet de zuigdiepte instelbaar zijn, er moet voldoende bewegingsvrijheid zijn, de weerstanden moeten zo klein mogelijk zijn, de stijfheid moet voldoende groot zijn tegen buigende momenten en krachten en het moet voldoende sterk zijn tegen wisselende krachten. Een zuigbuis bestaat uit de volgende onderdelen:

- Een glijdstuk waardoor de zuigbuis vrij kan roteren tegen het schip;
- een bochtstuk die de zuigbuis verbindt met het schip;
- de onderbuis en de bovenbuis, deze zijn met behulp van een schanier met elkaar verbonden.

Er bestaan ook steekzuigbuizen, deze worden uitsluitend toegepast in binnenwateren. Een steekbuis steekt, in tegenstelling tot een zuigbuis, vooruit in de vaarrichting van het schip. Indien zo'n buis zou worden gebruikt op zee, dan zou bij de minst of geringste zeegang de buis al breken.

Belading

Er zijn twee methoden voor het beladen van het schip. Een voor zandachtige materialen en een voor slibachtige materialen. Bij zand wordt het schip in eerste instantie volgeladen met water waarna men begint met zuigen van zand. Zodra het maximale laadvermogen is bereikt wordt langzaam overtollig water geloosd door de overvloedige laag te zetten. Zo blijft de waterfilm zo groot mogelijk tijdens het beladen waardoor er zo min mogelijk materiaal verliezen optreden en tevens bevinden de pompen zich op een zo laag mogelijk niveau waardoor er hogere dichtheden kunnen worden gezogen.

Bij slib wordt begonnen met een zo leeg mogelijke beun. Vervolgens wordt zo dik mogelijk gezogen tot de maximale beuninhoud is bereikt. Omdat bij slecht bezinkbare materialen alles in principe de hele tijd in suspensie blijft, zal doorgaan en overvloeien geen vergroting van de hoeveelheid situ-materiaal tot gevolg hebben. Er zal dan ook worden gestopt met beladen.

Tijdens het begin van het laadproces kan het opgezogen mengsel te dun zijn. Deze arme mengsels worden automatisch overboord gepompt en komen dus niet ten goede aan de

lading.

Het laadruim wordt meestal gevuld door een of twee laadleidingen die zich boven het laadruim bevinden. De leidingen zijn meestal voorzien van een aantal laadkleppen waarmee de plaats van storten in het beun kan worden geregeld. Bij slib worden deze kleppen meestal niet gebruikt, maar bij zand en grind juist des te meer. Slib blijft immers in suspensie en verspreidt zich daardoor vanzelf over het beun, grind blijft daarentegen vlakbij de plek van storten liggen.

Stort

Voor het lossen van de specie door de bodem zijn een aantal inrichtingen ontwikkeld. Zo kan het lossen met behulp van bodemdeuren, met kegelkleppen, met bodemschuiven en, de meest opzienbarende, doormiddel van het splijten van de romp van de hopper.

Hoppers zijn meestal voorzien van een systeem waarmee de specie uit het ruim kan worden gezogen. Dit systeem bestaat uit een aantal leidingen en het gebruik van de zuigpomp. De leidingen lopen naar het voorschip waar gekoppeld kan worden aan een drijvende leiding of waar de specie met behulp van een sproeispuiter naar het op te spuiten gebied wordt gespoten (rainbowen).

Bijlage IV. Stroming in leidingen en pompen

Een belangrijk aspect bij baggeren is het persen van mengsels door leidingen. Persen van mengsels door leidingen vergt een grote inspanning. Hieronder zal uiteen worden gezet wat bij verschillende soorten mengsels van invloed is en waarom.

Water

Een stroming in een leiding ondervindt een wrijving van de leidingwand. Bij de pomp wordt energie aan het water toegevoegd in de vorm van druk. Deze energie wordt gebruikt om het water in beweging te zetten en om de wrijving van de leidingwand op te heffen. Stromingen in leidingen zijn vrijwel altijd turbulent bij een baggerproces, hier zal dus ook uitsluitend van worden uitgegaan. De energie van het water in de leiding kan worden berekend met behulp van de wet van Bernoulli:

$$E_T = \rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2$$

Met:

E_T	= totale energie [J]
ρ	= dichtheid [kg/m^3]
g	= zwaartekracht [m/s^2]
h	= waterdiepte [m]
v	= stroomsnelheid [m/s]

De wrijving die het water ondervindt valt uiteen in een tweetal soorten verliezen. De eerste is het wrijvingsverlies ten gevolge van de wandruwheid. Doordat elke buis een bepaalde mate van ruwheid bezit ontstaat er een grenslaag in de leiding. Naarmate deze grenslaag groter is, is ook het wrijvingsverlies groter. Direct tegen de wand staat een klein beetje water vrijwel stil. In het midden van de leiding stroomt het water met maximale snelheid, deze is dus groter dan de gemiddelde snelheid. De waarde voor de wandruwheid (k) voor leidingen die vaak gebruikt worden ligt tussen de 0,02 en 0,06 mm. Hiermee kan tevens de wrijvingsfactor (λ) worden bepaald en die ligt dan ook tussen de 0,010 en 0,014. De wandwrijving kan worden uitgedrukt in een drukverlies met behulp van de volgende formule:

$$\Delta p = \lambda \frac{L}{D} \rho \frac{v^2}{2} = \xi_l \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2}$$

Met:

p	= druk [kPa]
λ	= wrijvingsfactor [-]
L	= leidinglengte [m]
D	= leidingdiameter [m]
ξ_l	= leidingverliescoëfficiënt [-]

De tweede soort verliezen, zijn de verliezen als gevolg van onregelmatigheden in de leiding. De onregelmatigheden zijn bochten, splitsingen, nozzles, etc. Hoe meer van deze onregelmatigheden, hoe meer verliezen er optreden. Ook deze verliezen kunnen worden uitgedrukt in een drukverlies.

$$\Delta p = \xi \frac{\rho v^2}{2}$$

Met:

ξ	= verliescoëfficiënt
-------	----------------------

Al deze verliescoëfficiënten dienen eerst opgeteld te worden. Voor elke onregelmatigheid is er een waarde die kan worden opgezocht in tabellen. Vervolgens kan het verlies uitgerekend

worden. Meestal is echter de minimale snelheid opgelegd en wil men de benodigde druk weten. Die kan dan worden bepaald met behulp van de rekenmethode.

Homogene mengsels

Bij een mengsel worden de zanddeeltjes voortgestuwd door het water. Het water heeft een bepaalde snelheid waardoor het draagvermogen heeft. Hoe kleiner de zanddeeltjes en hoe hoger de stroomsnelheid, hoe meer deeltjes er in suspensie komen.

Bij een homogeen mengsel is de hele doorsnede evenredig gevuld met een zand-water mengsel. De verliezen kunnen worden berekend met dezelfde methode als voor water alleen. Het enige dat veranderd is de dichtheid van de vloeistof.

Heterogene mengsels

Bij heterogene mengsels spelen andere factoren een rol. In een leiding vindt dan schifting plaats; de zwaardere korrels komen niet in suspensie, maar blijven beneden in de buis en springen of rollen voorwaarts. Hierbij is dan ook een hogere stroomsnelheid vereist. Het gaat er dan niet meer alleen om of de wrijving wel wordt opgeheven om het water door de leiding te kunnen persen, maar tevens om voldoende stroomsnelheid te genereren dat alle korrels worden meegenomen.

Bij rollend transport is de stroomsnelheid nog net voldoende om de korrels in beweging te houden. Het heeft echter te weinig draagvermogen om de korrels op te nemen zodat ze in suspensie raken. Indien de stroomsnelheid, om wat voor reden dan ook, zou verkleinen, dan bestaat de kans dat er lokaal een bezinksel optreedt. Dit vergroot de wrijving en de weerstand die het water ondervindt en daardoor verkleint het de stroomsnelheid nog meer. Echter lokaal treedt er ook een versnelling op van de stroming doordat het debiet door een kleinere doorsnede moet. Hierdoor kan de lokale bult worden geërodeerd waardoor de leiding open blijft. Dit is echter een zorgwekkende toestand. De leiding kan namelijk totaal bezinken met alle gevolgen van dien.

Pompen

Op baggerschepen wordt gebruik gemaakt van centrifugaalpompen. Deze pompen zijn voor het transporteren van zandmengsels het meest geschikt. Een centrifugaalpomp bestaat uit een pomphuis waarin een waaier met daarop een aantal bladen is geplaatst. Deze waaier draait rond en versneld het mengsel waardoor het getransporteerd wordt.

Omdat in een baggermengsel vele verschillen in korrelgrootte, -vorm, -gewicht, etc. voorkomen, dient de pomp breed inzetbaar zijn. Tevens zijn de verschillende mengsels vaak een grote bron van slijtage waardoor de pomp slijtvast moet zijn. Ook moeten er allerlei andere zaken mee kunnen worden verpompt die met het mengsel worden opgezogen, anders treden er continu verletten op. Tot slot moet een baggerpomp uiteraard ook nog een goed rendement hebben. Dat alles leidt dan tot de keuze voor de centrifugaalpomp.

Toch is de baggerpomp niet een gewone watercentrifugaalpomp. De baggerpomp onderscheidt zich van de waterpomp door een aantal wijzigingen in het ontwerp. Ten eerste is de doorlaat bij de baggerpomp groot. Op deze manier kunnen de vele verontreinigingen (keien, kabels, hout, etc.) ook worden verpompt. De kleinste doorlaat is meestal gelokaliseerd aan de intreezijde van de pomp, daar is tevens een inspectieluik gelokaliseerd om alle verontreinigingen snel en effectief te kunnen verwijderen.

Ook verschilt de baggerpomp met de waterpomp in het aantal bladen. Een baggerpomp heeft maar weinig bladen om zo de doorlaat zo groot mogelijk te laten zijn. Om dezelfde reden zijn de schoepen aan de intreezijde verkort.

Verder is, om de slijtage zo veel mogelijk te beperken, de ruimte tussen het pomphuis en de schoepen groot om zo de stroomsnelheden zo klein mogelijk te houden. Ook worden om deze reden vaak extra slijtdelen aangebracht. De ruimte tussen de waaier en het pomphuis moet om de slijtage en de drukverliezen zo klein mogelijk te houden, zo klein mogelijk zijn.

Een pomp is het meest geschikt voor persen. Persen kan over zeer grote afstanden zonder veel verlies. Zuigen daarentegen is moeilijker omdat daar tegen de fysische grens van vacuüm aan wordt gelopen. Voor het tillen van een mengsel is een kracht nodig. Hoe hoger het mengsel moet worden getild en hoe dikker het mengsel is, hoe groter de vereiste kracht.

Om deze kracht te verkleinen, wordt de zuigpomp vaak onderwater geplaatst. Op deze manier helpt het water de pomp als het ware doordat hierdoor de druk voor de pomp vergroot wordt. Zo kan dus een dikker mengsel worden gedraaid.

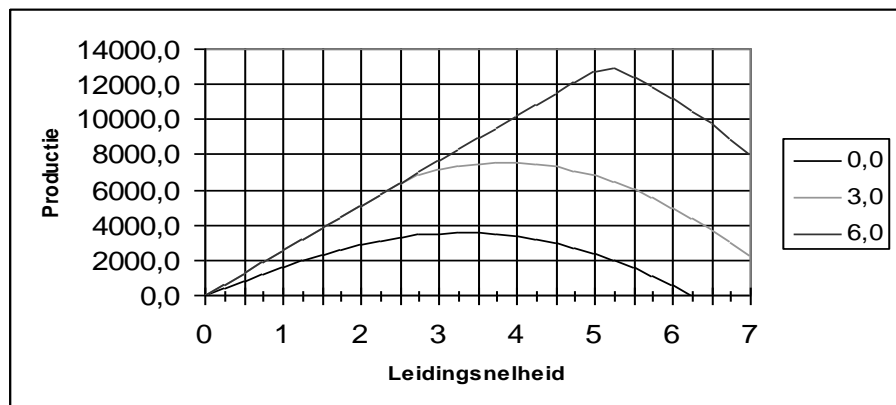
Om de benodigde onderdruk (het vacuüm) te bepalen, wordt gebruik gemaakt van de zuigformule:

$$\frac{Vac}{g} + z_z \cdot \rho_w = \rho_m \cdot (z_z - z_p) + \rho_m \cdot \frac{\xi_t \cdot v^2}{2g}$$

Waarin:

Vac	= benodigde vacuüm [Pa]
z_z	= zuigdiepte [m]
z_p	= pompdiepte [m]
ρ	= dichtheid [kg/m^3]
ξ_t	= totale wrijvingsverliescoëfficiënt voor de pomp [-]
v	= stroomsnelheid [m/s]
g	= zwaartekracht [m/s^2]

Hierin kan worden gezien dat hoe dieper de pomp onder water staat, hoe hoger de mengseldichtheid kan zijn. Als dit wordt uitgezet in onderstaande figuur dan kan men zien dat een kleine vergroting van de diepte al leidt tot een sterke vergroting van de zuigproductie capaciteit.



Figuur 9 Zuigproductie bij een vacuüm van 60 kPa als functie van de leidingsnelheid bij verschillende plaatsingsdieptes van de OWP, situ-dichtheid is 1650 kg/m^3

Voor persen bestaat een soortgelijke formule welke aangeeft over welke leidinglengte nog verpompt kan worden bij het geïnstalleerde pompvermogen.

$$\frac{P}{\rho_m \cdot g} + \frac{v^2}{2g} - \frac{\lambda \cdot L_{eff} \cdot v^2}{2D \cdot g} = 0$$

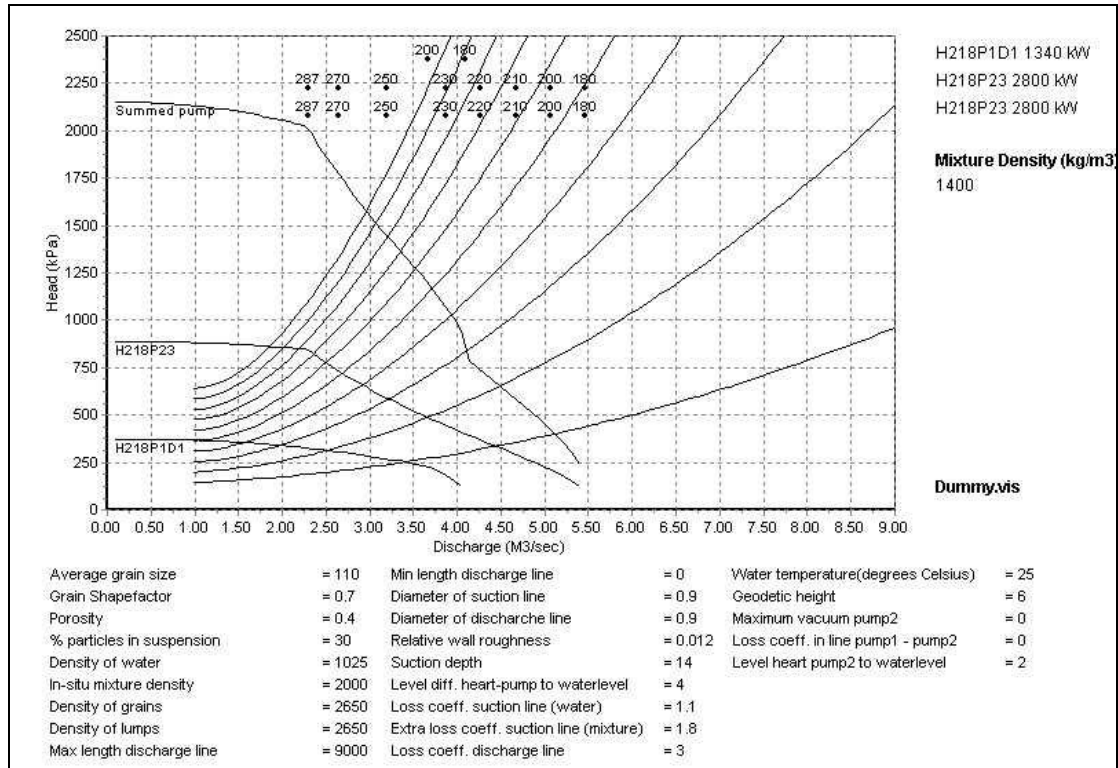
Waarin:

P	= maximale druk achter de perspompen [Pa]
ρ_m	= mengseldichtheid [kg/m^3]
v	= stroomsnelheid in de pijp [m/s]
L_{eff}	= effectieve pijplengte [m]
D	= diameter perspijp [m]
λ	= wrijvingscoëfficiënt [-]

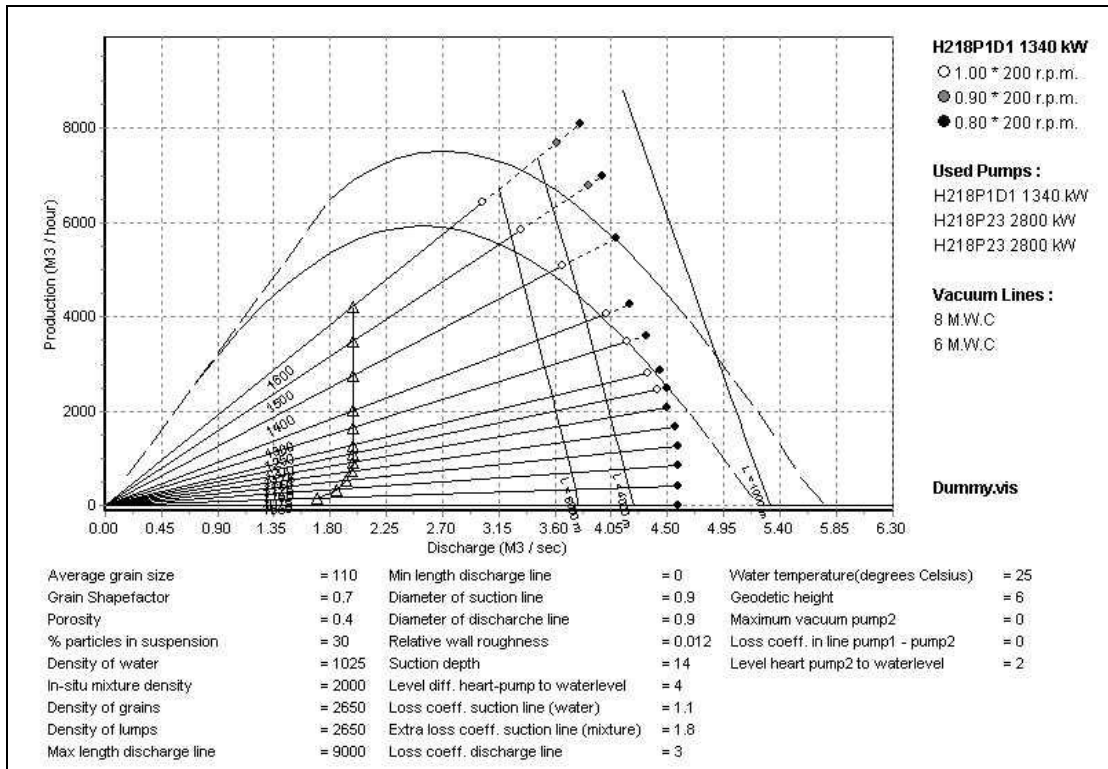
Samenwerking perspompen, onderwaterpomp en leiding

Uiteraard werken de verschillende systemen niet onafhankelijk van elkaar, maar beïnvloeden ze elkaar. Zo zal er geen laag debiet gedraaid worden, omdat dan de leiding kan verzanden.

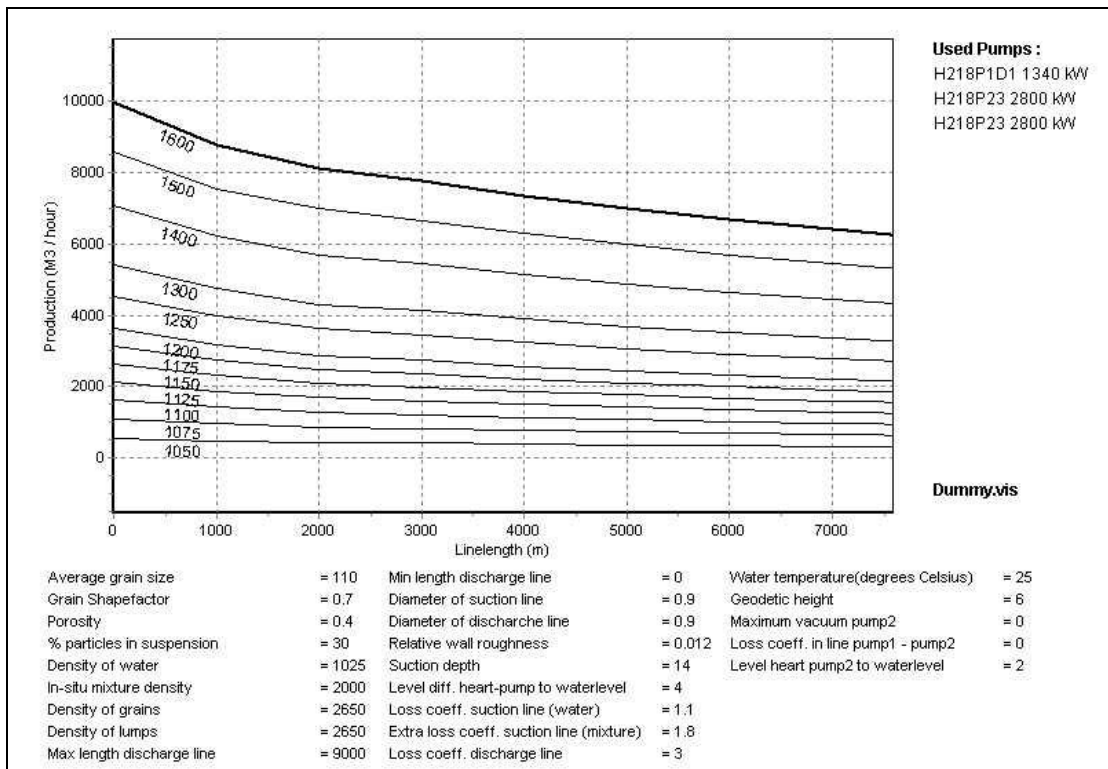
Eigenlijk bepaald de leidinglengte tezamen met de situ-dichtheid de werking van de pompen. Zodra er een kleine leiding achter de cutter hangt, dan heeft het geen zin om twee perspompen in te zetten, omdat dan de kans op cavitatie van de onderwaterpomp zeer groot wordt. Tevens heeft het geen zin om grote dichtheden over grote afstanden te pompen omdat dan de leidingkarakteristiek niet toereikend is. Dit alles kan worden weergegeven met behulp van het samenspel van de drie onderdelen. Dit is in de onderstaande figuren weergegeven voor een situatie waarbij de HAM218 als uitgangspunt is gebruikt.



Figuur 10 Debiet-Druk curve



Figuur 11 Productie-Druk curve



Figuur 12 Productie-Leidingslengte curve

Bijlage V. Survey

De survey-afdeling zorgt voor de data voor de direct belanghebbenden, te weten de beide uitvoerende departementen, het top-management en de klant. Het surveyen wordt op een aantal manieren gedaan. Hieronder volgt een beschrijving van de verschillende methoden welke worden gebruikt bij het project in Bintulu.

Hydrografische Surveys

Om dieptes te bepalen van de gebaggerde profielen wordt gebruik gemaakt van twee onderwater gemonteerde akoestische transducers. Een akoestische transducer is een apparaat dat op een boot is gemonteerd welke telkens een puls uitzendt. Met de tijd dat een signaal onderweg is van moment van uitzending tot moment van ontvangen kan de diepte worden berekend.

Om de positie van de transducers te bepalen wordt gebruik gemaakt van een Differential Global Positioning System. Aan de wal is een basisstation geplaatst waarvan de exacte locatie bekend is. Het basisstation zendt correcties door naar mobiele DGPS-ontvangers aan boord van het drijvende materieel, daarmee kan dan de positie nauwkeurig worden bepaald.

Topografische Surveys

Op de wal wordt gebruik gemaakt van verschillende meetmethodes, al naar gelang de informatie die gewenst is. Zo is er voor het op hoogte brengen van het stort met behulp van bulldozers gebruik gemaakt van Rotating Laser Leveling. Er is dan een kastje met daarin een laser (welke ronddraait) op een bekende hoogte geplaatst. In het veld kan dan met een ontvanger worden bepaald of een gebied te hoog, te laag of goed op hoogte ligt. Ook wordt deze methode gebruikt tijdens het plaatsen van de stenen op de revetment.

Ook kan, als gegevens over zettingen zijn gewenst, op vaste punten worden gemeten wat deze zettingen zijn. Er wordt dan een meetbaak op een vooraf geselecteerd punt gezet welke van een afstand wordt afgelezen met behulp van een waterpasinstrument. Op deze wijze kunnen bijvoorbeeld zettingen van de revetment worden bijgehouden.

Om te controleren of de stenen, die worden geplaatst op de revetment onder water, goed liggen, wordt gebruik gemaakt van een methode waarbij de afstand wordt gemeten met behulp van sensoren op een hydraulische kraan. De sensoren zijn gemonteerd op de *boom* en stick, alsmede op de draaikrans en de graafbak-cilinder. Hiermee kan bepaald worden wat de locatie van de bak is ten opzichte van een bepaald referentie punt.

Om punten uit te zetten wordt tot slot gebruik gemaakt van een Total Station (een theodoliet). Dit is een apparaat waar vooraf controle punten in kunnen worden opgeslagen. Vervolgens kunnen in het veld de punten worden uitgezet. Het apparaat meet daarbij de afstand en eventueel de horizontale en verticale hoeken. Er wordt daarbij gebruik gemaakt van EDM (electronic distance measurement). Er wordt een infrarode lichtpuls verstuurd en deze wordt door de spiegels van de baak teruggekaatst. Op deze manier kan de afstand worden bepaald tussen meetstation en baak.