

Funderingsontwerp van de SPM Sakhalin-1

dr.ir. M. Huisman en ing. S. Stauttner
Bluewater Energy Services B.V.

SAMENVATTING

Op zes kilometer uit de oostkust van Siberie is als onderdeel van het “Sakhalin-1” project een SPM (Single Point Mooring) geïnstalleerd waaraan grote tankers kunnen afmeren om geladen te worden met ruwe olie. De uitdagende combinatie van grote belastingen door ijs en de aangemeerde tanker, met de variërende grondcondities stellen speciale eisen aan het funderingsontwerp van de toren. De funderingspalen zijn uitgevoerd als ingeheid stalen 72” buispalen tot op het gesteente, met daarin een 55” paal in een booggat tot 30 m onder de zeebodem. Voor het ontwerp is de hele SPM-toren in een EEM-model doorgerekend met het computermodel ANSYS.

INLEIDING

In het kader van de grootschalige ontwikkeling van de olie-industrie en de bijbehorende infrastructuur in Sakhalin, in het verre oosten van Rusland en direct ten noorden van Japan, is de afgelopen jaren hard gewerkt aan het “Sakhalin-1” project. *Figuur 1* geeft een indruk van de omvang hiervan. Een belangrijk onderdeel van dit project wordt gevormd door een door Bluewater ontworpen en gefabriceerde SPM (Single Point Mooring) die een essentiële rol vervult bij de export van de gewonnen ruwe olie. Deze SPM bevindt zich op 5,7 km van de kust van het

Klykova schiereiland, waar 6 km ten noorden van de stad De-Kastri olieopslagfaciliteiten zijn gebouwd. De ruwe olie wordt via een pijpleiding naar de toren gepompt alwaar deze via flexibele slangen wordt overgeladen in een aan de toren afgemeerde tanker, waarmee de olie vervolgens verder wordt getransporteerd. Dergelijke SPM's, waarin Bluewater is gespecialiseerd, zijn een economische en bovenal ook veilige oplossing, omdat er geen havenfaciliteiten nodig zijn en de tankers uit de buurt blijven van de kust.

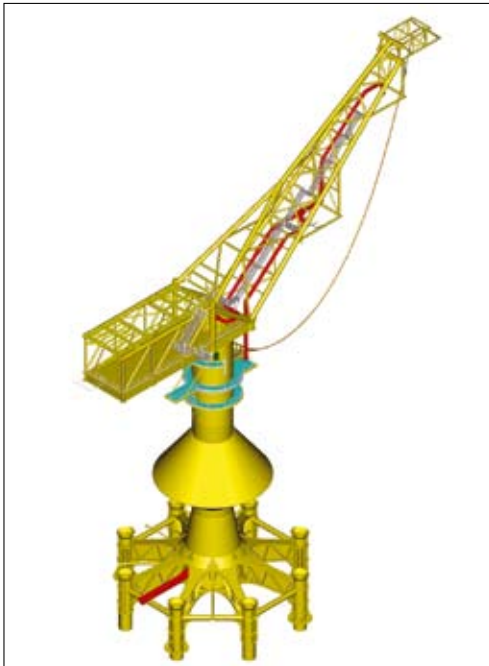
In dit geval is de SPM, net zoals het gehele

Sakhalin-1 project, een typisch voorbeeld van technische oplossingen voor oliewinning en transport in steeds extremere klimatologische omstandigheden, waarbij rekening gehouden moet worden met zeer lage temperaturen (met alle gevolgen van dien voor isolatievereisten voor olieleidingen en -tanks) en offshore met forse ijsgang. Deze SPM bestaat dan ook uit een toren die, mede in verband met de grote ijsbelastingen die in het plaatselijke klimaat optreden, als vaste constructie op de zeebodem is neergezet en met diepe funderingspalen is verankerd. *Figuur 2* laat een schematische voorstelling zien. De toren is ontworpen voor het aanmeren van een speciaal gemodificeerde 110.000 tons Aframax tanker via trossen aan de voorzijde van het schip. Gezien de ijsbelastingen zijn aan het ontwerp speciale eisen gesteld. Niet alleen dient de toren en zijn fundering bestand te zijn tegen de hoge belastingen, ook moet er bij het ontwerp van het aanmeersysteem en de slangen tussen de tanker en de toren waarmee de tanker gevuld wordt, rekening worden gehouden met drijfjij, waarmee de slangen niet in contact mogen komen.

Omdat het laden van een dergelijke tanker enige tijd in beslag neemt (ca. 12 tot 24 uur), moet er bij het ontwerp van het afmeersysteem bovendien rekening worden gehouden met veranderingen in stroming, golfslag en



← **Figuur 1** Een overzicht van de infrastructuur die binnen het Sakhalin-1 project is ontwikkeld. De SPM is het eindpunt van een route die de aan de oostkust van Sakhalin gewonnen olie over ongeveer 250 km naar het vasteland van Rusland en uiteindelijk naar de baai bij De-Kastri voert.



↑ **Figuur 2** 3D-voorstelling van de toren, met de ice cone en de basis waar de toren mee aan de acht funderingspalen wordt verbonden.



↑ **Figuur 3** Een 110.000 DWT tanker afgemeerd aan de geïnstalleerde SPM-toren. De tanker wordt geladen door een laadslang die aan de boeg is gekoppeld.

wind, waardoor het schip zich in de richting van de minste weerstand zal willen richten. De bovenkant van de toren kan daarom vrij draaien op de centrale kolom, waardoor het afgemeerde schip te allen tijde vrij is om zich te richten, een proces dat weathervaning wordt genoemd.

De toren zelf is geïnstalleerd in de zomer van 2005, waarna in 2006 de laatste hand gelegd is aan de bijbehorende systemen. De toren is inmiddels operationeel. In *figuur 3* is een foto te zien van één van de eerste testen met de speciaal ontworpen tanker, afgemeerd aan de toren. De slang waarmee de ruwe olie wordt

overgepompt, is duidelijk te zien, evenals de grote conus rond de waterlijn van de toren (een zogeheten ice cone), waarmee in de winter opkomend ijs wordt gebroken en om de centrale kolom wordt heengeleid.

Dit artikel beschrijft het funderingsontwerp van de toren waarbij gezien de zeer uitdagende combinatie van grote belastingen en variabele grondcondities speciale keuzes moesten worden gemaakt.

GRONDGESTELDHEID

In de aanloop naar het SPM-ontwerp is in 2001 en 2002 grondonderzoek verricht rond de aangewezen locatie. Het grondonderzoek werd opgezet met als uitgangspunt een funderingsontwerp bestaande uit acht palen en werd gecombineerd met een geofysisch onderzoek waarmee met name gekeken werd naar de laterale variabiliteit van de ondiepe ondergrond. Voor het grondonderzoek zelf zijn zes locaties aangewezen voor CPT's en vier voor bemonsterde boorgaten, in ca. 21,5 m waterdiepte ten opzichte van de laagste zeespiegel (LAT, Lowest Astronomical Tide). Omdat het bij de uitvoering van de boringen door bijvoorbeeld de aangetroffen grond- en gesteentelagen, technische oorzaken en ook de weersomstandigheden niet altijd mogelijk bleek om ononderbroken tot de geplande diep-

Boorgat	Waterdiepte t.o.v. LAT [m]	Diepte boring [m]	Beschrijving
o2BHo3	21,5	32,8	Boorgat met volledige bemonstering
o2BHo4	21,3	15,2	Boorgat met alleen grondmonsters
o2BHo4a	21,3	16,3	Boorgat met alleen gesteentemonsters
o2BHo4b	21,3	22,7	Boorgat met alleen gesteentemonsters
o2BHo4c	21,3	35,4	Boorgat met alleen gesteentemonsters
o2BHo5	21,4	12,6	Boorgat met alleen grondmonsters
o2BHo5a	21,5	37,0	Boorgat met alleen gesteentemonsters
o2BHo6	21,5	11,7	Boorgat met alleen grondmonsters
o2BHo6a	21,5	19,0	Boorgat met alleen gesteentemonsters
o2BHo6b	21,6	17,0	Boorgat met alleen gesteentemonsters
o2BHo6c	21,6	37,5	Boorgat met alleen gesteentemonsters
o2CPTo6	21,5	11,5	CPT met standaard conus
o2CPTo7	21,5	11,3	CPT met seismische conus
o2CPTo8	21,5	11,9	CPT met seismische conus
o2CPTo9	21,6	11,1	CPT met grote diameter conus
o2CPT10	21,6	10,5	CPT met grote diameter conus
o2CPT11	21,5	11,1	CPT met grote diameter conus

↑ **Tabel 1** De beschikbare boorgat- en CPT-gegevens

te te boren, zijn op drie van de vier boorlocaties aanvullende boorgaten gezet. De afstand van deze aanvullende boorgaten tot de oorspronkelijk geplande locatie was niet groter dan 10 m. Een overzicht van de uitgevoerde boringen en CPT's is gegeven in *tabel 1*.

Uit de boorgaten is een redelijke tot goede core recovery gehaald, hoewel er uit diverse lagen vrijwel geen materiaal naar boven kwam. De gemiddelde recoveries per boorgat waren ~89% voor boorgat o2BH03, ~74% voor o2BH04, ~59% voor o2BH05 en ~54% voor o2BH06. Hoewel normaliter een core recovery van 90% als doel wordt gesteld, bleek dat in dit geval niet haalbaar, vanwege de lastige grondgesteldheid met aanzienlijke hoeveelheden los materiaal in combinatie met het boren vanaf een schip in plaats van een vast platform.

Naast de in situ metingen bij de CPT's is er op de monsters een scala aan laboratoriumproeven uitgevoerd teneinde de grondlagen te classificeren. Om de sterkte-eigenschappen van de monsters te beschrijven, zijn torvane-, mini-vane-, triaxiaal-, point load-, consolidatie- en (ongesteunde) drukproeven uitgevoerd. In *tabel 2* is het afgeleide grondprofiel gegeven. Omwille van de internationale standaardisering zijn de grond- en gesteentebeschrijvingen in het Engels.

Met name het verweerde gesteente vanaf een diepte van ongeveer 11 m onder de zeebodem

Diepte onder de zeebodem [m]		Beschrijving
van	tot	
0,0	5,0 – 6,7	Very soft to soft CLAY
5,0 – 6,7	7,0 – 9,5	Loose silty SAND to silty SAND
7,0 – 9,5	10,0 – 10,7	Medium dense SAND and stiff sandy CLAY
10,0 – 10,7	11,1 – 15,0	SAND and GRAVEL alternating with GRAVEL and cobbles
11,1 – 15,0	17,0	Moderately weathered to completely weathered ROCK (andesite basalt)
17,0	28,0	Moderately weathered ROCK (andesite basalt)

↑ **Tabel 2** Het ontwerp-grondprofiel op de SPM-locatie, gebaseerd op de boorgaten en CPT-gegevens.

gaf problemen met de bemonstering en proeven, vanwege de grote variabiliteit in sterkte en andere eigenschappen en de relatief kleine blok grootte van onverweerde delen. Omdat de bovenliggende grondlagen onvoldoende houddracht geven om de ontwerpbelastingen over te dragen en de paalfundering dus over een aanzienlijke lengte in het verweerd gesteente zou komen, is hier in het ontwerp uitgebreid aandacht aan besteed. Hierbij is met name gekeken naar het te verwachten gehalte aan compleet verweerd materiaal (losse grond) en het nog intacte gesteente, omdat deze verdeling bepalend zou zijn voor de houddracht en effectiviteit van de fundering.

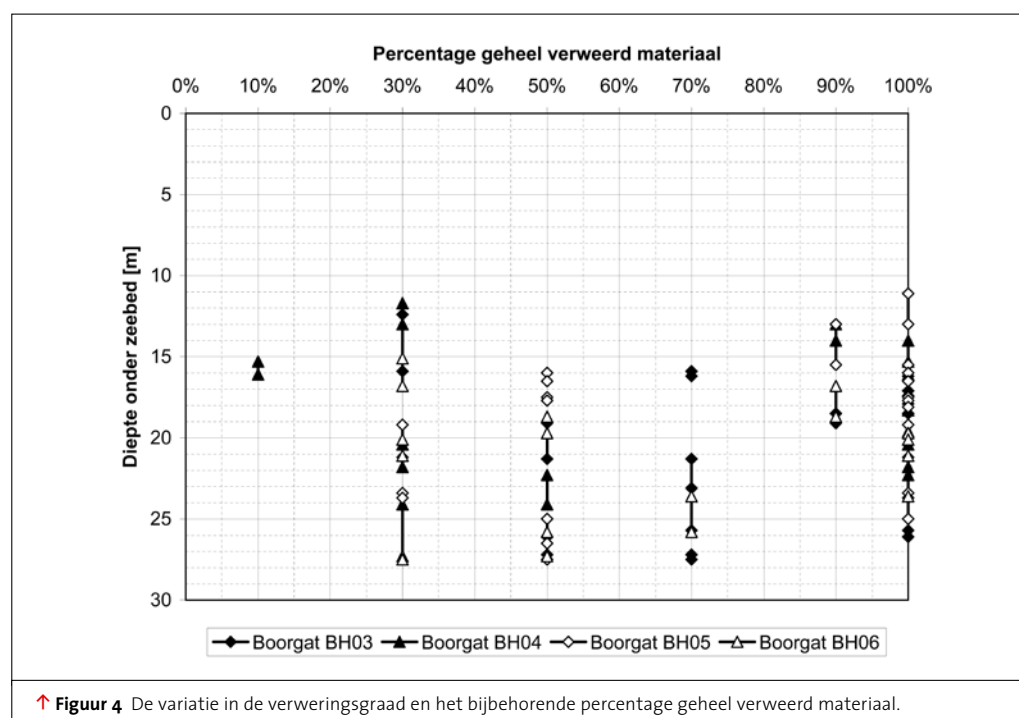
De karakterisering van het verweerde gesteente is gebaseerd op een verweringsclassificatie van de ISRM (International Society of Rock Mechanics), zie *tabel 3* (de verweringsgraden zijn in het Engels gegeven). Lagen waarin geen

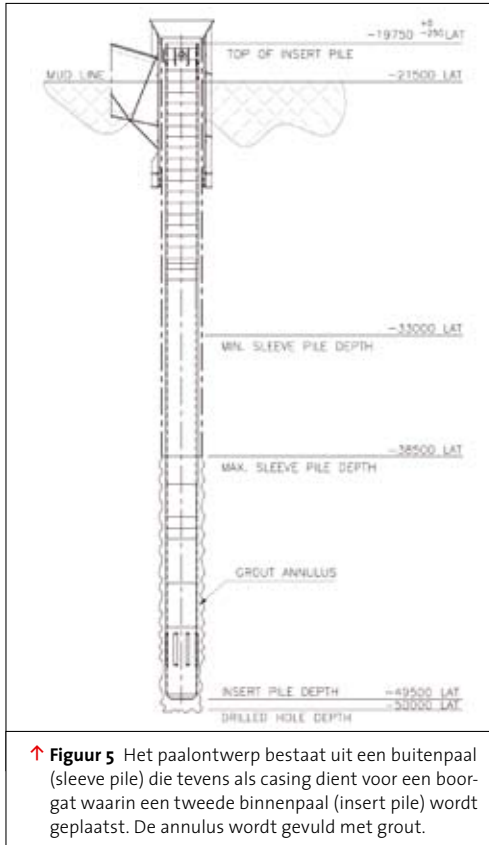
recovery werd gehaald, zijn in het ontwerp beschouwd als Residual Soil, code RS. In de vier boorgaten varieerde de beschreven verweringsgraad van MW tot RS met een bijbehorende spreiding van het percentage geheel verweerd (los) materiaal van 30% tot 100%, zie *figuur 4*. Zoals in deze figuur te zien is, was de variatie in de te verwachten materiaalsamenstelling met name tussen 15 en 20 m diepte groot.

In samenhang met de grote verschillen in verweringsgraad vertoonde het gesteente ook een grote variatie in sterkte. De sterkte van geschikte gesteentemonsters is gemeten door middel van point load-testen (Point Load Strength, PLS) en drukproeven (Unconfined Compressive Strength, UCS). Vanwege de over het algemeen intense verwerking konden echter slechts enkele geschikte kernen worden geprepareerd voor de UCS testen. Daarom is het merendeel van de informatie over de gesteentesterkte verzameld op kleine monsters en point load-testen. De resultaten hiervan zijn gebruikt om UCS-waarden te schatten via de relatie $UCS = 23 \cdot PLS$. Onder de aanname dat de UCS volgens een lognormale distributie verdeeld is, werd als gemiddelde druksterkte 6,2 MPa gevonden. Hierbij is echter in aanmerking genomen dat door de aard van de proeven en de intensieve verwerking met name de minder verweerde en dus relatief sterke delen van monsters voor de proeven moeten zijn gebruikt. Voor het ontwerp is daarom gerekend met een druksterkte van niet meer dan 3 MPa, temeer daar de zorg bestond dat de kleinschalige laboratoriumproeven niet geheel representatief waren voor het gedrag van het variabele gesteente.

FUNDERINGSCONCEPT EN -ONTWERP

Omdat een geheide paal slechts mogelijk was in de bovenste grondlagen, maar deze onvoldoende houddracht zou geven, is ervoor gekozen om een 72" buitendiameter holle paal te





Verweringsgraad	Code	Beschrijving	Aangenomen percentage intact gesteente	Aangenomen percentage geheel verweerd materiaal
Slightly weathered	SW	Verkleuring op belangrijke discontinuïteiten	90%	10%
Moderately weathered	MW	Minder dan de helft van het materiaal is verweerd tot grond. Onverweerd of verkleurd gesteente aanwezig.	70%	30%
Moderately/Highly weathered	MW/HW		50%	50%
Highly weathered	HW	Meer dan de helft van het materiaal is verweerd tot grond. Onverweerd of verkleurd gesteente aanwezig.	30%	70%
Completely/highly weathered	CW/HW		10%	90%
Completely weathered	CW	Al het materiaal is gedisintegreerd of verweerd tot grond. De originele gesteentestructuur is nog grotendeels intact.	0%	100%
Residual soil	RS	Al het materiaal is gedisintegreerd of verweerd tot grond. De originele gesteentestructuur is niet meer aanwezig.	0%	100%

↑ **Tabel 3** De gebruikte beschrijving van de verweringsgraden en de vertaling naar percentages intact gesteente en verweerd materiaal

heien tot de overgang van grond naar gesteente en deze paal als casing te gebruiken voor een boorgat waarin een tweede paal met een variabele buitendiameter van 55"-56" kon worden geplaatst (zie *figuur 5*). Na het heien van de 72" paal diende de grondplug in de buis te worden verwijderd om het gat (met een nominale diameter van 66") in het gesteente uit te kunnen boren tot een diepte van 28,5 m onder de zeebodem. Na het plaatsen van de binnenpaal in dit gat werd de omliggende holte, de gehele annulus tussen de twee palen, en de ruimte in de palen met grout gevuld. Uiteraard kreeg de grote variabiliteit in verweringsgraad van het omliggende gesteente hierbij de nodige aandacht.

De diepte waarop deze groutpaal is geplaatst, diende zodanig gekozen te worden dat:

- het gewicht van het gesteente- en grondvolume dat bij een trekkracht op de paal wordt gemobiliseerd, voldoende groot is;
- er voldoende paallengte is waarover een groutverbinding tussen de paal en het omliggende gesteente tot stand wordt gebracht;
- er voldoende paallengte is waarover een groutverbinding tussen de buitenste paal en de grout tot stand wordt gebracht.

Voor het beoordelen van de benodigde paallengte is de schachtwrijving berekend voor de

66" groutplug onder het einde van de 72" buitenpaal op basis van de boorgatgegevens (zie *kader*). Samen met de schachtwrijving van de 72" buitenpaal gaf dit een bovengrens voor de totale axiale uittrekweerstand. Deze cumulatieve schachtwrijving is vervolgens vergeleken met het eigen gewicht van het gemobiliseerde gesteente- en grondvolume; het minimum van beide is de maatgevende paal-uittrekweerstand (zie *kader*). Het draagvermogen van de paal voor een naar beneden gerichte belasting is in principe gelijk aan de som van schachtwrijving en puntweerstand. De puntweerstand is in het uiteindelijke ontwerp echter niet beschouwd uit oogpunt van conservatisme. Het berekende draagvermogen en de uittrekweerstand van de palen moest onder de van toepassing zijnde veiligheidsfactoren voldoende zijn voor de compressiebelastingen en de trekbelastingen, die het gevolg zijn van het kantelend moment dat wordt veroorzaakt door ijs-, zee- en scheepsbelastingen op de toren. Ook met verwaarlozen van de puntweerstand bleek uiteindelijk niet het draagvermogen, maar de uittrekweerstand bepalend voor de benodigde paallengte.

Naast de axiale capaciteit is ook de laterale capaciteit en stijfheid van de palen van groot belang voor de stabiliteit van de constructie. Daarnaast zal met name door de optredende

buigspanningen lokaal een grote belasting van het materiaal optreden en volgens de van toepassing zijnde ontwerpcodes dienen de materiaalspanningen dan ook uitgebreid geëvalueerd te worden. Om een voldoende representatieve respons van de gehele constructie op ijs-, zee- en scheepsbelastingen te modelleren, is de gehele SPM-toren in een driedimensionaal EEM-model doorgerekend. Hiervoor is gebruik gemaakt van het computerprogramma ANSYS. De palen zijn hierin gemodelleerd als balkelementen die in een stelsel van laterale en axiale veren zijn opgehangen. Deze veren zijn op intervallen van 0,5 m telkens apart gedefinieerd op basis van het niet-lineaire vervormingsgedrag van de ondergrond. Voor de definitie van de laterale veren is gebruik gemaakt van de p-y curves van API RP2A voor de grondlagen en het Reese-model (Reese, 1997) voor de gesteentelagen. Voor de axiale veren zijn langs de schacht de t-z curves uit API RP2A gebruikt en voor de optioneel beschouwde paalpuntweerstand bij een compressiebelasting de q-z curve, uit dezelfde code. Voor elke geanalyseerde belastingssituatie is met dit model uitgaande van de belastingen op de toren zelf bepaald wat de resulterende momenten, spanningen en verplaatsingen van de palen zijn. Uit de analyses bleek dat de diepte en mate van inklemming van de palen maatgevend

is voor het effect van laterale belastingen op de palen. Dit wordt met name veroorzaakt door het feit dat het buigend moment in een paal groter wordt naarmate de diepte van de inklemming onder het aangrijpingspunt van de belasting toeneemt en de laterale stijfheid van de inklemmende lagen toeneemt. Om dit verder te beoordelen, is een uitgebreide gevoeligheidsanalyse gedaan waarbij deze belangrijke randvoorwaarden zijn gevarieerd. Vooral het niveau waarop de gesteentelagen begonnen, was hierbij in eerste instantie een onzekere factor. Zoals uit het grondprofiel (tabel 2) blijkt, is er een graduele overgang van grond via grind naar de verweerde gesteentelagen en is er niet één specifieke diepte aan te geven waar een scherpe begrenzing tussen relatief makkelijk te vervormen grond en relatief (zeer) stijf gesteente ligt. Daarnaast is ook de laterale stijfheid van de verweerde gesteentelagen een punt van onderzoek geweest, omdat het zeer variabele gehalte compleet verweerd materiaal van grote invloed hierop is.

Uiteindelijk is gebruik gemaakt van een reeks verschillende “worstcase scenario’s” – daar waar bijvoorbeeld voor de resulterende buigspanningen in de palen een grote laterale stijfheid op relatief grote diepte (dus: diepe overgang grond-gesteente, maar relatief weinig verweerd materiaal) nadelig is, is voor de maximale uitwijking een lage laterale stijfheid (dus: compleet verweerd materiaal) nadelig. Samen met de beoordeling van de axiale capaciteit (waarvoor een grotere hoeveelheid verweerd materiaal nadelig is, zie kader) gaf dit een reeks ontwerpcriteria waar uiteindelijk de paaldimensies zodanig op afgestemd zijn dat bij alle mogelijke gevallen aan de toelaatbare spanningsniveaus en vervormingen werd voldaan.

INSTALLATIE

Om het aantal hijsoperaties offshore te beperken, is de substructure van de toren als één geheel samen met de ice cone en de paalframes gefabriceerd op de werf van Hyundai Heavy Industries in Zuid-Korea (zie figuur 6). Het totale eigen gewicht van deze constructie exclusief drijfvermogen was ca. 2.000 ton. Vooral door het grote zijdelingse oppervlak van de ice cone, maar ook door het relatief hoge zwaartepunt, zou deze constructie voorafgaand aan het heien van de 72” palen, losstaand op de zeebodem, al bij lichte stromingen en golfslag instabiel kunnen worden. Om deze kritische fase te vermijden

Berekening van de axiale paalweerstand	Symbolen
<p>De afschuifweerstand tussen grout en intact gesteente is berekend volgens Flemming et al. (1992). De atmosferische druk is hierin opgenomen om de wortel dimensieloos te maken:</p> $\tau_{s1} = 1.3 p_a \sqrt{\frac{UCS}{p_a}}$ <p>Met de ontwerpwaarde UCS = 3 MPa (= 3.000 kPa) en $p_a = 100$ kPa wordt gevonden $\tau_{s1} = 712$ kPa.</p>	<p>τ_{s1} Afschuifweerstand grout-gesteente [kPa] p_a Atmosferische druk [kPa] UCS Ongesteunde druksterkte [kPa]</p>
<p>De afschuifweerstand tussen grout en geheel verweerd materiaal is gesteld op de afschuifweerstand van een groutanker in een zeer stijf zandig silt of mergel, conform BS 8081 (= 300 kPa):</p> $\tau_{s2} = 300$	<p>τ_{s2} Afschuifweerstand grout-verweerd materiaal [kPa]</p>
<p>De over een de totale paallengte onder het einde van de 72” buitenpaal gesommeerde afschuifweerstand is berekend als sommatie van de afschuifweerstand tussen grout en intact gesteente, en grout en verweerd gesteente, die per laag wordt berekend uit de fracties intact gesteente en verweerd materiaal (zie figuur 4):</p> $\tau_s = \sum_{i=1}^n \left(\tau_{s1} \text{Fractie}_{\text{gesteente}} + \tau_{s2} \text{Fractie}_{\text{verweerd}} \right) \frac{D_i}{L}$ <p>Voor de geheide 72” buitenpaal wordt de afschuifweerstand bepaald volgens API RP2A. Tezamen met de paalpuntweerstand geeft de gesommeerde afschuifweerstand het draagvermogen van de paal voor een naar beneden gerichte belasting.</p>	<p>τ_s Resulterende afschuifweerstand [kPa] D_i Laagdikte voor laag i [m] L Paallengte onder het einde van de 72” buitenpaal [m] n Aantal lagen [-]</p>
<p>Onder de voorwaarde dat het grensvlak staal-grout niet maatgevend is, wordt de maatgevende axiale uittrekweerstand van de paal bepaald door het minimum te nemen van de cumulatieve afschuifweerstand en het eigen gewicht van het gesteente en grondvolume dat door het omhoog trekken van de paal zou worden gemobiliseerd. Dit volume is gelijk gesteld aan dat van een omgekeerde kegel met halve tophoek van 30° tussen de paalpunt en het grensvlak tussen grond en gesteente, en een cilinder vanaf dat grensvlak tot aan het zeebed (methode Tomlinson, 1987).</p> $W = \frac{1}{3} \pi r_{\text{kegel}}^3 (D_{\text{kegel}} - D_o) \gamma_{\text{gesteente}} + \pi r_{\text{kegel}}^2 D_o \gamma_{\text{grond}}$ $r_{\text{kegel}} = (D_{\text{kegel}} - D_o) \tan(30^\circ) + \frac{d_{\text{plug}}}{2}$ <p>Op de paalwand zijn opgelaste shear keys aangebracht. Deze zijn ontworpen conform API RP2A, en garanderen dat geen bezwijken optreedt op het grensvlak staal-grout. De shear keys zijn zodanig ontworpen dat het grensvlak staal-grout een grotere afschuifweerstand heeft dan de hierboven berekende uittrekweerstand van de paal uit de grond.</p>	<p>W Effectief eigen gewicht gemobiliseerd grond- en gesteentevolume [kN] r_{kegel} Straal kegel op grensvlak grond-gesteente [m] D_{kegel} Diepte van het beginpunt van de kegel (= paalpunt) [m] D_o Diepte van overgang grond- gesteente [m] $\gamma_{\text{gesteente}}$ Effectief volumegewicht gesteente [kN/m³] γ_{grond} Effectief volumegewicht grond [kN/m³] d_{plug} Diameter groutplug [m]</p>
<p>↑ Kader Berekening van de axiale paalweerstand</p>	

en de risico’s tijdens installatie zoveel mogelijk te beperken, is er besloten om een mal te maken, een zogenaamde template, die op de constructiewerf exact afgestemd was op de daadwerkelijk gebouwde maten van de toren zelf. Deze template, waarin passende sleuven waren aangebracht voor de 72” palen, is als eerste op de zeebodem geplaatst. Vervolgens zijn vier van de acht 72” buitenpalen door deze template in de zeebodem geheid. Hierna

is de template weer verwijderd en stak alleen de bovenkant van deze vier palen boven het zeebed uit.

De substructure en het roterende bovendeele (de topside) van de toren zijn ondertussen van Zuid-Korea naar Sakhalin vervoerd op een transportbak. Door de installatieaannemer J. Ray McDermott is de constructie vervolgens in de zomer van 2005 met de kraanbak DB-



↑ **Figuur 6** De toren tijdens de constructie, met in het midden de ice cone. De toren staat op acht zogenaamde pile sleeves die uiteindelijk worden verbonden met de funderingspalen.

30 van dit ponton afgetild en met het frame precies over de vier vooraf geïnstalleerde 72" palen gezet, waardoor al een grote laterale stabiliteit werd verkregen. Vervolgens zijn de resterende vier 72" palen door de pile sleeves heen geheid en nadat de 66" boorgaten tot de beoogde diepte waren uitgeboord, konden de binnenpalen worden afgezonken in de buitenpalen. Bij het boren bleek overigens dat de van tevoren gemaakte predicties over de gehalten intact gesteente en volledig verweerd materiaal goed overeen kwamen met wat er in de boorgaten daadwerkelijk werd aangetroffen. Na de boringen is de overgebleven holle ruimte gevuld met grout dat na 36 uur voldoende uitgehard was voor het vervolg van de installatie; na 28 dagen bereikte deze grout zijn uiteindelijke nominale sterkte van 50 N/mm². Na het afronden van het grouten is de topside kort voor het intreden van de winter op de centrale kolom gezet en vast gelast. In de zomer van 2006 zijn vervolgens de slangen en dergelijke gemonteerd en is de SPM opgeleverd. De eerste tanker arriveerde in november 2006 en verliet de SPM met een lading van 673.000 barrels olie (ruim 100 miljoen liter) op weg naar India.

LITERATUUR

- [1] Flemming, W.G.K.; Weltman, A.J.; Randolph, M.F.; Elson, W.K. (1992): *Piling Engineering*. Blackie and Sons Ltd., New York.
- [2] Reese, L.C. (1997): Analysis of Laterally Loaded Piles in Weak Rock. *Journal of Geotechnical and Geo-environmental Engineering*, ASCE, 123(11), pp. 1010-1017.
- [3] Tomlinson, M.J. (1987): *Pile Design and Construction Practice*. Palladium Publications Ltd., London.

bluewater



De Floating Production, Storage & Offloading schepen van Bluewater opereren van de Noordzee tot de Indische Oceaan. Onze Single Point Mooring Buoys pompen tankers vol olie voor de kusten van Afrika tot Venezuela. De Mooring Towers hebben we ontworpen om zelfs de ijszee bij Sakhalin te weerstaan.

Bluewater is innovatief marktleider in het ontwerp en de constructie van drijvende productie-, overslag- en opslagsystemen voor de internationale olie- en gaswinning. Vanuit onze hoofdvestiging in Hoofddorp werken wij met ruim vijfhonderd collega's samen aan de oplossingen van morgen.

Binnen onze multidisciplinaire projectomgeving staan geotechnische en constructieve vraagstukken aan de basis van het ontwerp- en engineeringproces. Wij gaan tot de bodem bij het vinden van oplossingen in het krachtenspel van extreem belaste constructies in sterk wisselende omstandigheden.

Bluewater Energy Services B.V.

Civil Engineers en Structural Engineers

Leg jij het fundament voor de toekomst in de offshore?

De functie

Als Engineer kun je binnen Bluewater meerdere kanten op. Past jou de rol van lead engineer, dan ben je technisch en organisatorisch verantwoordelijk voor het realiseren van monodisciplinaire deelprojecten. Je leidt een team van engineers en ontwerpers, zorgt voor goede afstemming met andere vakdisciplines en geeft sturing aan subcontractors.

Gaat jouw interesse bovenal uit naar diepgaande technische vraagstukken, dan kun jij je ook verder specialiseren binnen jouw vakgebied. Als Engineer vind je analytische uitdagingen in de conceptual en basic engineering fases. Met jouw berekeningen en inzichten bepaal jij de richting van het uiteindelijke ontwerp.

Voor meer boeiende functies kijk je op: www.bluewater.com.

Jouw profiel

Naast een afgeronde relevante opleiding op minimaal HBO-niveau beschik je over ruime ervaring met geotechnische vraagstukken of het berekenen en ontwerpen van dynamisch belaste constructies. Je herkent jezelf als een betrokken teamspeler die met gedrevenheid en creativiteit hoogstaande resultaten bereikt. Jij voelt je thuis in een open werksfeer waarin technologische vernieuwing hand in hand gaat met hectiek en dynamiek. Vanwege het internationale karakter van onze organisatie is een goede beheersing van de Engelse taal essentieel. Tevens moet je bereid zijn af en toe te reizen, waardoor je de mogelijkheid krijgt jouw eigen werk in de praktijk te zien.



Power by People

Voor meer informatie kun je contact opnemen met Johan Bax, Section Head Piping: +31(0)23 5682 938
Je reactie kun je sturen aan Anke Reusken, Recruitment Officer: anke.reusken@bluewater.com

www.bluewater.com

THE NETHERLANDS UNITED KINGDOM UNITED STATES SOUTH AFRICA NIGERIA MALAYSIA