



HOGERE ZEEVAARTSCHOOL ANTWERPEN

NAUTISCHE FACULTEIT

**De opbouw en locatie-specifieke capaciteiten
van zelfheffende structuren in de maritieme
wereld**

Wietse Dens

Scriptie voorgedragen tot het behalen
van de graad van
Master in de Nautische Wetenschappen

Promotor: Dhr. Christophe Sensen

Academiejaar: 2019 - 2020



HOGERE ZEEVAARTSCHOOL ANTWERPEN

NAUTISCHE FACULTEIT

**De opbouw en locatie-specifieke capaciteiten
van zelfheffende structuren in de maritieme
wereld**

Wietse Dens

Scriptie voorgedragen tot het behalen
van de graad van
Master in de Nautische Wetenschappen

Promotor: Dhr. Christophe Sensen

Academiejaar: 2019 - 2020

Voorwoord

Tijdens de opleiding Nautische Wetenschappen word je helemaal ondergedompeld in de maritieme wereld. Het reilen en zeilen van deze wereld heeft me dan ook altijd mateloos geïnteresseerd. Ik heb voor dit onderwerp gekozen omdat de werking van grote en kleine voorwerpen mij altijd geïnteresseerd heeft. Ik vind het interessant om iets te ontleden en te ontdekken hoe het opgebouwd is. Toen ik tijdens het scrollen tussen de verschillende openstaande thesisonderwerpen ‘De opbouw en locatie-specifieke capaciteiten van zelfheffende structuren in de maritieme wereld’ zag staan, was mijn keuze snel gemaakt. Tijdens het opzoeken en schrijven van deze thesis heb ik dan ook inzichten verworven over dit onderwerp. Ik heb mij verdiept in de materie en geprobeerd mijn nieuw verworven kennis hier zo interessant mogelijk uit te leggen. Ik had dit natuurlijk niet alleen kunnen verwezenlijken en daarom lijkt het mij gepast om een aantal personen te bedanken.

Ik zou graag mijn promotor Christophe Sensen hartelijk danken voor zijn geduld, hulp en vertrouwen. Ook wil ik graag François Vranken, Geoffrey Haine en Mark Hayward danken voor de tijd die ze vrijmaakten om mij inzichten te verschaffen tijdens hun interviews. Daarnaast wil ik ook mijn ouders en vriendin bedanken die mij gesteund hebben tijdens het schrijven van deze thesis en me ook geholpen hebben met de commentaren die ze hadden bij het nalezen.

Veel leesplezier toegewenst.

Wietse Dens

Antwerpen, 30 mei 2020

Samenvatting

In deze thesis is er gepoogd antwoord te krijgen op de vragen: *‘Hoe is een zelfheffende structuur opgebouwd?’* en *‘Welke locatie-specifieke capaciteiten van de zelfheffende structuur worden voorafgaand een project afgetoetst en hoe wordt zo ’n beoordeling opgesteld?’*.

Dit wordt gedaan aan de hand van een uitgebreide literaire studie en door de afname van interviews. De eerste onderzoeksvraag schetst een verklarende kader die nodig is bij het beantwoorden van de tweede onderzoeksvraag. De evolutie, die de structuur heeft doorgemaakt, wordt aangehaald. Ook de documentatie die van toepassing is op de structuur komt aan bod. Als antwoord op de eerste onderzoeksvraag wordt stap voor stap uitgelegd hoe een zelfheffende structuur opgebouwd is. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen de verschillende componenten waaruit een zelfheffende structuur bestaat.

De inspecties en het onderhoud van deze speciale maritieme structuren komen ook aan bod. Dit gevolgd door de operationele risico’s die eigen zijn aan projecten uitgevoerd door zelfheffende structuren.

Na het beantwoorden van de eerste onderzoeksvraag, wordt er onderzocht welke locatie beoordelingen er voorafgaand aan een project uitgevoerd worden. Tijdens deze beoordeling wordt er gecontroleerd of de locatie-specifieke capaciteiten van de zelfheffende structuur volstaan om het gespecificeerde project uit te voeren.

Deze thesis eindigt in een conclusie.

Abstract

This thesis aims to answer the following questions: *‘How is a jack-up structure constructed?’* and *‘Which location specific capacities of a jack-up structure are tested prior to a project and how is such an assessment made?’*.

This is done on the basis of an extensive literary study and by conducting interviews. The first research question outlines an explanatory framework that is needed when answering the second research question. The evolution, through which the structure has gone, is cited. The documentation that applies to the structure is also discussed. As an answer to the first research question, it is explained, step by step, how a jack-up structure is constructed. A distinction is made between the different components that a jack-up structure consists of.

The inspections and maintenance of these special maritime structures are also discussed. Followed by the operational risks inherent to projects carried out by jack-up structures.

After answering the first research question, it was investigated which location assessments are carried out prior to a project. During this assessment, it will be checked whether the location-specific capabilities of the jack-up structure are sufficient to carry out the specified project.

This thesis ends in a conclusion.

Inhoudsopgave

Voorwoord	I
Samenvatting	III
Abstract	V
Lijst van figuren	XIII
Inleiding	1
1 Het begrip ‘zelfheffende structuur’	3
1.1 Wat is een zelfheffende structuur?	3
1.2 Waarvoor worden deze zelfheffende structuren gebruikt?	4
2 Geschiedenis van de zelfheffende structuur	5
2.1 Eerste mobiele drileenheid (vanaf nu MDE) in de offshore	5
2.2 Van de eerste zelfheffende structuur tot op heden	6
2.2.1 Het ‘Delong-type’ platform	6
2.2.2 De Scorpion, eerste zelfheffend platform met drie poten	7
2.2.3 Daaropvolgende veranderingen	7
3 Documentatie van toepassing op de zelfheffende structuren	9
3.1 Design, werking & veiligheid	9
3.1.1 MODU code	9
3.1.1.1 Ontstaan	9
3.1.1.2 Inhoud	10
3.1.2 Limitatie van het design	10
3.1.3 Regels opgesteld door het IMO	10
3.1.3.1 SOLAS	11
3.1.4 Project-afhankelijke regels	11
3.2 Personeel	11
3.2.1 BOSIET	11
3.2.2 GWO	12

4 Opbouw van de zelfheffende structuren	13
4.1 De scheepsromp	13
4.2 De Maritieme uitrusting	14
4.2.1 De accommodatie ruimte	14
4.2.2 De machinekamer	15
4.2.3 Veiligheidsvoorzieningen	15
4.2.4 Voortstuwning	15
4.2.5 Ballasttanks	16
4.3 De project uitrusting	17
4.3.1 Algemene project uitrusting ongeacht het ontwerpdoel	17
4.3.1.1 Het helikopter platform	17
4.3.1.2 Het DP Systeem	17
4.3.1.3 Moonpools	18
4.3.1.4 Weerstation aan boord	18
4.3.1.5 Het 'voorlaad-systeem'	19
4.3.1.6 Aanzuigingssysteem van het koelwater	20
4.3.2 Uitrusting voor het winnen van grondstoffen	21
4.3.2.1 De boortoren	21
4.3.2.2 De eruptieafsluiter	22
4.3.2.3 Gasdetectors	22
4.3.2.4 Modder systeem	22
4.3.2.5 De boorstang en boor	23
4.3.3 Uitrusting voor herstellings- en installeringswerken	23
4.3.3.1 Kranen	23
4.4 De uitrusting om de structuur op te krikken	24
4.4.1 Het pin en holte mechanisme	24
4.4.2 Het tandheugelsysteem	26
4.4.3 Besturingssysteem	28
4.4.4 De poten	28
4.4.4.1 Zuilvormige poten	28
4.4.4.2 Poten met een open kader	29
4.4.4.3 Structuur met drie of vier poten	29
4.4.4.4 Jetting lijnen	30
4.4.5 De 'schoenen' van de poten	30
4.4.5.1 De spudcan	31
4.4.5.2 De mat-ondersteunde poten	32
4.4.5.3 Zonder 'schoen'	33

5 De verschillende standen van de zelfheffende structuur	35
5.1 De reis-stand	35
5.2 De 'aangekomen op de bestemming'-stand	35
5.3 De voorlaad-stand	36
5.4 De operationele-stand	36
6 Inspecties	37
6.1 Algemene inspecties	37
6.2 Boven water inspecties	38
6.3 Onderwater inspecties	38
7 Onderhoud	39
7.1 Schoonmaken na project	39
7.2 Corrosie	40
8 Risico's	41
8.1 Gesitueerd onder water	41
8.1.1 Punchthrough	41
8.1.2 De nabijheid van een andere voetafdruk	43
8.1.3 Modderstromen	44
8.1.4 Scouring	45
8.1.5 Verschuiven van poten	45
8.1.6 Dieper wegzakken door extreme weersomstandigheden	45
8.2 Gesitueerd boven water	46
8.2.1 De getijden	46
8.2.2 Het weer	46
8.2.3 Positioneren dicht tegen bestaande structuren	47
9 Specifieke locatie beoordeling	49
9.1 Verzamelen van data	49
9.1.1 Topografie van de zeebodem	50
9.1.1.1 Echo sounder met enkele straal	50
9.1.1.2 Echo sounder met meerdere stralen	51
9.1.1.3 Zij-scan sonar	52
9.1.2 Morfologie van de zeebodem	53
9.1.2.1 Sub-bottom profiler	54

9.1.2.2	<i>Stalen van de zeebodem</i>	55
9.1.2.3	<i>Magnetometer</i>	56
9.1.3	Data van de zelfheffende structuur	57
9.1.4	Project afhankelijke data	57
9.1.5	Meteorologische en oceanografische data	58
9.1.5.1	<i>In situ</i>	59
9.1.5.2	<i>Genereren van data</i>	59
9.2	<i>Berekenen van de verticale weerstand (penetratie van de poten) van de zeebodem</i>	60
9.2.1	Afmetingen van de <i>spudcan</i> bepalen	60
9.2.2	Het effect van het invallen en terugstromen van bodemsegmenten op de penetratie van de <i>spudcan</i>	62
9.2.2.1	<i>Invallen en terugstromen in een zandbodem</i>	63
9.2.2.2	<i>Invallen en terugstroming in een kleibodem</i>	64
9.2.2.3	<i>Berekening van de massa van het invallen en terugstromen van de bodem</i>	65
9.2.3	Het berekenen van ‘het maximale bruto verticale draagvermogen’ (Q_v)	68
9.2.3.1	<i>Q_v berekenen in een kleibodem</i>	68
9.2.3.2	<i>Q_v berekenen in een silica zandbodem</i>	71
9.2.3.3	<i>Bodem die bestaat uit verschillende lagen</i>	72
9.2.4	Omzetten van ‘het maximale bruto draagvermogen’ naar ‘de beschikbare structurele <i>spudcan</i> reactie (VL)’	74
9.2.5	De penetratiecurve	75
9.3	<i>De horizontale weerstand van de zeebodem</i>	77
9.3.1	De horizontale weerstand in een kleibodem	77
9.3.2	De horizontale weerstand in een zandbodem	78
9.4	<i>De weerstand van de zeebodem tegen het glijden van de <i>spudcan</i></i>	79
9.4.1	De weerstand tegen het glijden van de <i>spudcan</i> in een zandbodem	79
9.4.2	De weerstand tegen het glijden van de <i>spudcan</i> in een kleibodem	80
9.5	<i>De specifieke geschiktheid controles van de zelfheffende structuur</i>	81
9.5.1	De controle van het bodemfundament	81
9.5.1.1	<i>Het opstellen van de bodemfundament enveloppe</i>	81
9.5.1.2	<i>De bodemfundament enveloppe in de praktijk</i>	85
9.5.2	De geometrische controle	88
9.5.3	De controle van de structurele sterkte	89
10	De opkrik-procedure	91
10.1	<i>Het positioneren</i>	92
10.2	<i>Het zakken van de poten</i>	93
10.3	<i>Verminderen van de diepgang</i>	93

<i>10.4 Het voorladen</i>	93
<i>10.5 Het opkrikken van de romp</i>	94
Conclusie	95
Bibliografie	97
Lijst van bijlagen	113
<i>Bijlage 1</i>	115
<i>Bijlage 2</i>	117
<i>Bijlage 3</i>	119
<i>Bijlage 4</i>	131
<i>Bijlage 5</i>	136

Lijst van figuren

Figuur 1: Marktaandeel van de zelfheffende structuur in de oliesector	4
Figuur 2: ‘Mr Charlie’	5
Figuur 3: Bovenaanzicht van de romp van een zelfheffende structuur	13
Figuur 4: Zelfheffend platform verplaatst door half-afzinkbaar schip	16
Figuur 5: Wisseling van de crew	17
Figuur 6: Stroomvis	19
Figuur 7: Aanzuiging van het koelwater aan boord van de Neptune	20
Figuur 8: Zelfheffend platform met boortoren op een draagarm	21
Figuur 9: Pinsysteem	24
Figuur 10: Pin en holte mechanisme	24
Figuur 11: Poot met open holten	25
Figuur 12: Samendrukkingsrubbers	25
Figuur 13: Zelfheffende structuur met tandheugelsysteem	26
Figuur 14: De overstaande versus de radiale tandwielen	26
Figuur 15: Tandfixatie systeem	27
Figuur 16: Console op de brug	28
Figuur 17: Back-up console	28
Figuur 18: De verschillende chord-configuraties	29
Figuur 19: Aankoppeling jetting systeem	30
Figuur 20: Design van spudcans	31
Figuur 21: Gerokte spudcan	32
Figuur 22: Zelfheffende platform met onafhankelijke poten met spuds (links) en met mat-ondersteunende poten (rechts)	33
Figuur 23: Punchthrough	42
Figuur 24: Programma van DEME	44
Figuur 25: Zelfheffende structuur met scour monitor	45
Figuur 26: Operationele limieten van zelfheffende structuur	46
Figuur 27: Invloed zelfheffende structuur op naburige poten	47
Figuur 28: Echosounder met meerdere stralen	52
Figuur 29: Zij-scan sonar	53
Figuur 30: Visuele voorstelling van sub-bottom profiler	54

Figuur 31: Resultaat sub-bottom profiler	54
Figuur 32: Resultaat magnetometer	57
Figuur 33: Equivalent model spudcan	61
Figuur 34: Kegelhoek van spudcan	61
Figuur 35: Invallen en terugstroming van bodemsegmenten	62
Figuur 36: Hoek van inwendige wrijving	64
Figuur 37: Verschil tussen VD en Vspud	65
Figuur 38: Visuele voorstelling van de formule die de massa van het invallen en terugstromen berekend	66
Figuur 39: Spudcan volledig gepenetreerd in zeebodem	69
Figuur 40: Spudcan deels gepenetreerd	69
Figuur 41: Theoretisch gevolg en curve van de faling van de algemene afschuifsterkte	72
Figuur 42: Faling van de bodem in de realiteit	72
Figuur 43: Penetratiecurves	75
Figuur 44: Theoretische presentatie van punchthrough op een penetratiecurve	76
Figuur 45: Penetratiecurve met risico op punchthrough	76
Figuur 46: Ongedraineerde schuifsterkten	78
Figuur 47: Enveloppe van het bodemfundament	82
Figuur 48: Lading op de windwaartse poten	83
Figuur 49: Bodemfundament enveloppen van een klei (links) en zandbodem (rechts)	85
Figuur 50: Penetratiecurve met verhoogde voorlading	87
Figuur 51: Geometrie van de zelfheffende structuur	88
Figuur 52: Computermodel van een zelfheffende structuur	89
Figuur 53: Opkrikprogramma's aan boord van de Neptune	91
Figuur 54: Interface van opkrikconsole aan boord van de Neptune	92

Inleiding

Vanuit mijn opleiding nautische wetenschappen heb ik bewust gekozen voor het onderwerp van de zelfheffende structuur omdat het me persoonlijk intrigeerde dat er weinig (in het Nederlands) te vinden was over dit onderwerp. Een zelfheffende structuur is een unieke combinatie van een vaartuig en een platform. Dit unieke karakter is in de eerste plaats terug te vinden in de opbouw van zo'n structuur. Het eerste doel van deze thesis is een antwoord formuleren op de vraag: *'Hoe is een zelfheffende structuur opgebouwd?'*

Het unieke karakter van deze structuur zorgt er daarnaast voor dat een grondige screening nodig is wanneer zo'n structuur ingezet wordt voor een project. In zo'n screening worden alle eigenschappen van de zelfheffende structuur in kaart gebracht en afgetoetst aan de vereiste capaciteiten voor het project. Deze beoordeling wordt gedaan aan de hand van een internationale standaard, ISO 19905-1 (2016). In deze internationale richtlijn wordt heel de beoordeling wiskundig verklaard. Ook hier was er in de Nederlandse taal geen document te vinden die deze standaard als onderwerp heeft. Daarnaast is het een technisch document dat veel extra opzoekwerk vereist voordat het volledig duidelijk is. In deze thesis werd deze beoordeling gekaderd door extra documenten en afbeeldingen. Dit zorgt voor een duidelijk gestructureerd geheel. Binnen het bestek van deze thesis is het onmogelijk alle componenten van deze standaard gedetailleerd te bespreken. Daarom wordt er gefocust op de beoordeling van de zelfheffende structuur met betrekking op de bodem. De reden hiervoor is dat dit het onderdeel is dat het meest eigen is aan de zelfheffende structuur. De andere beoordelingscomponenten zijn ook terug te vinden in andere sectoren, daarom worden deze korter besproken. Het tweede doel van deze thesis is een antwoord formuleren op de vraag: *'Welke locatie-specifieke capaciteiten van de zelfheffende structuur worden voorafgaand een project afgetoetst en hoe wordt zo'n beoordeling opgesteld?'*

Om deze vragen te beantwoorden is beroep gedaan op interviews, afgenomen van specialisten in het vakgebied, en op een uitvoerige literaire studie. Er zijn drie interviews afgenomen, één aan boord van een zelfheffende structuur (zie bijlage 3), één bij de geotechnische dienst van een bedrijf dat eigenaar is van zelfheffende structuren (zie bijlage 4) en één laatste bij een bedrijf dat zo'n beoordelingen opstelt (zie bijlage 5). Deze interviews belichten elk een andere component van de sector. In deze thesis is getracht de informatie, dat deze verschillende componenten hadden, te bundelen. Op deze manier werd er een uniek naslagwerk bekomen.

De thesis is als volgt opgebouwd:

In hoofdstuk 1 wordt er beschreven wat een zelfheffende structuur is en waarvoor deze gebruikt wordt. Dit wordt gedaan om de lezers, die niets over het onderwerp weten, al een eerste kennismaking te geven. Vervolgens wordt in hoofdstuk 2 de geschiedenis aangehaald. Het doel hiervan is de evolutie te schetsen die de structuur doorheen de tijd heeft doorgemaakt. Hoofdstuk 3 gaat over de documentatie die van toepassing is op de zelfheffende structuur. Hier wordt het wettelijk kader van de structuur duidelijk gemaakt aan de lezer. In hoofdstuk 4 en 5 worden de opbouw en de verschillende standen besproken. In deze hoofdstukken wordt het unieke uiterlijk van de structuur beschreven. De lezer zou na het lezen van deze hoofdstukken een antwoord moeten kunnen formuleren op de eerste onderzoeksvraag. Nadat de unieke opbouw van de structuur bekend is, worden in hoofdstuk 6 en 7 de verschillende inspecties en onderhouden aangehaald. Deze unieke opbouw heeft ook nood aan unieke inspecties en onderhouden. In deze hoofdstukken worden deze de lezer duidelijk. Voordat de beoordeling besproken kan worden, dient men eerst op de hoogte te zijn van de operationele risico's gebonden aan deze structuur. Dit om de bestaansreden van zo'n beoordeling duidelijk te maken. In hoofdstuk 9 worden dan de berekeningen die eigen zijn aan de beoordeling uitgelegd. De basis van dit hoofdstuk is de ISO 19905-1 (2016). Na dit hoofdstuk moet de lezer een duidelijk beeld hebben van wat er bij het opstellen van zo'n beoordeling allemaal gebeurt en op welke manier de capaciteiten van de structuur aan de projectvereisten afgetoetst worden. Ten slotte wordt de opkrik-procedure van een zelfheffende structuur kort besproken in hoofdstuk 10.

Dit werkstuk heeft, na het lezen ervan, het doel heeft een zekere verduidelijking en inzicht te geven in de opbouw, werking, risico's en locatie-specifieke capaciteiten van zelfheffende structuren in de sector.

1 Het begrip ‘zelfheffende structuur’

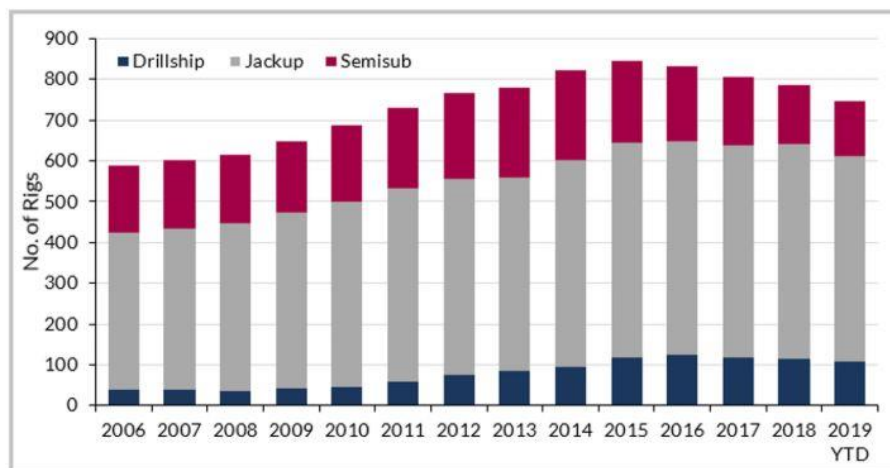
1.1 Wat is een zelfheffende structuur?

Een zelfheffende structuur is een schip/platform dat in staat is om zichzelf op te krikken met behulp van poten die op de bodem staan. Ze worden gebruikt tijdens het proces van olieboringen (Speight, 2014) en het bouwen van offshore windmolenparken (royalihc, z.d), maar ze kunnen andere doeleinden hebben. Dit komt later aan bod. Er worden twee verschillende soorten zelfheffende structuren onderscheiden, namelijk de platformen en de schepen. Het verschil tussen deze twee is de propulsie. De schepen beschikken over hun eigen propulsie en de platformen hebben hiervoor de hulp van derden nodig (sleeppoten). Dus wanneer er hieronder gesproken wordt over platformen worden, de structuren zonder eigen propulsie bedoelt en als er gesproken wordt over schepen wordt er bedoeld op de structuren die wel beschikken over eigen propulsie.

De zelfheffende structuur heeft een specifiek uiterlijk. Het meest herkenbare element zijn de poten. Deze poten zorgen ervoor dat de gehele structuur boven het wateroppervlak kan gehesen worden. De poten zakken tot op de zeebodem, waarop ze steunen. Het positieve resultaat hiervan is dat de romp dan geen invloed ondervindt van golven. De romp is nu een stabiel platform van waarop projecten kunnen uitgevoerd kunnen worden. Nadat het project op één plaats afgerond is hijst de structuur zijn poten weer omhoog. Ze toeren nu boven de romp uit. De structuur zelf drijft nu op het water en kan vervolgens met behulp van eigen propulsie of externe voortstuwing naar het volgende project verplaatst worden (Oilfield Team, 2018).

1.2 Waarvoor worden deze zelfheffende structuren gebruikt?

De zelfheffende structuur is oorspronkelijk ontworpen voor de gas en oliesector (zie hoofdstuk 2). Vandaag worden ze nog steeds gebruikt in de olie en gas sector (Aquaterra, z.d.). Zo bewijst onderstaande grafiek uit Offshore Magazine (Offshore Magazine, 2019). Hier is duidelijk te zien dat de wereldvloot van booreilanden voor het grootste deel bestaat uit zelfheffende structuren. Tussen 2014 en 2018 is het totale aantal zelfheffende structuren afgenomen. Dit komt doordat er meer structuren van de markt gehaald werden dan dat er nieuwe bijkwamen. In 2019 is er terug een uitbreiding van de markt te zien. Zo werden er 54 zelfheffende structuren geleverd in 2019. In de januari en februari was de bezettingsgraad van de olieplatformen rond de 63 en 64 procent. Maar er wordt verwacht dat deze cijfers zullen dalen door de invloed van het COVID-19 virus op de markt (Smith, 2020).



Figuur 1: Marktaandeel van de zelfheffende structuur in de oliesector

Bron: Offshore Magazine (2019)

Doorheen de jaren is echter gebleken dat het ontwerp van deze structuur zich perfect leende voor andere doeleinden.

Zo worden ze gebruikt als accommodatieplatformen (Atollo Offshore, z.d.), de werknemers van bijvoorbeeld windmolenparken verblijven hier dan op tijdens hun contract.

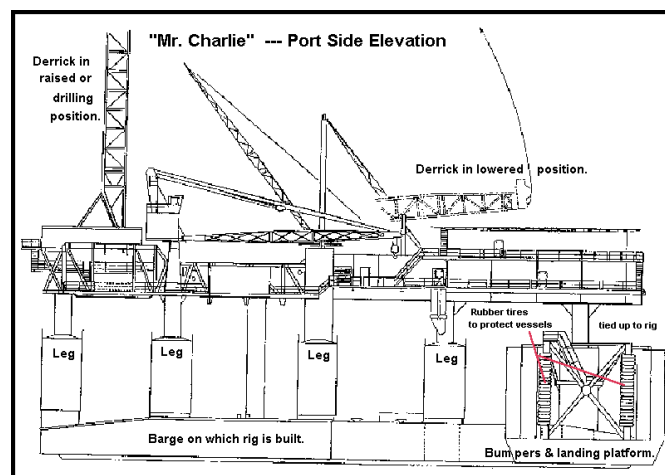
Tevens worden ze ingezet voor installatie- en herstellingswerken dichtbij de kust of aan kaden, zoals het installeren van windmolens of het maken van nieuwe terminals. Deze laatste structuren hebben dan vaak een kraan waarmee ze zware onderdelen kunnen verplaatsen (DEME, z.d.). Ze kunnen bovendien ingezet worden om bodemonderzoeken te verrichten (Fugro, z.d.).

2 Geschiedenis van de zelfheffende structuur

2.1 Eerste mobiele drileenheid (vanaf nu MDE) in de offshore

De zelfheffende structuren kennen hun oorsprong als een drillplatform. Aldon Laborde, geboren te Louisiana op 18 december 1915, kwam na enkele omzwervingen terecht in de zeemacht. Na het aflopen van de Tweede Wereldoorlog werd hij bedankt voor bewezen diensten. Hij ging aan de slag bij 'Kerr-Mcgee oil industries' en met de kennis die hij hier verwierf maakt hij de plannen voor de Mr Charlie, dit zou de eerste mobiele drileenheid worden.

Hij richtte in samenwerking met het bedrijf 'Murphy oil' een nieuw bedrijf op, 'ODECO', dat de Mr Charlie zelf bouwde. In 1954 zette het koers naar zijn eerste opdracht voor 'Shell oil'. De Mr Charlie was een afzinkbaar boorplatform en ontworpen om te opereren in een waterdiepte tot ongeveer 12,19 meter (40 voet). Net zoals de zelfheffende structuren welke vandaag gekend zijn, was deze drileenheid niet drijvend, maar op de grond gebaseerd. Ze dreef niet boven de oliebron maar hield fysiek contact met de zeebodem. De structuur bestond uit een ponton met daarop tien poten waarop het dek bevestigd was (The rig museum, z.d.).



Figuur 2: 'Mr Charlie'

Bron: The rig museum (z.d.)

In dit ponton bevonden zich ballasttanks, deze werden gevuld met zeewater wanneer het platform zich op de juiste plaats bevond. Hierdoor zonk het tot op de zeebodem en bleef het liggen op de juiste positie.

Op het dek bevond zich naast de leefruimtes, motoren, pompen, een landingsplaats voor helikopters en verder de boortoren. Wanneer de Mr Charlie verplaatst werd, lag de boortoren plat. Aangekomen op zijn locatie werd de boortoren opnieuw rechtgezet. De Mr Charlie beschikte zelf niet over voortstuwingsmiddelen. Om die reden moest het schip vooruit gesleept worden wanneer het naar een andere oliebron verplaatst moest worden. De Mr Charlie loste de verwachtingen in en werd frequent ingezet voor talloze booroperaties.

In 1986 ging de Mr Charlie met pensioen, tijdens zijn levensperiode drilde het enkele honderden oliebronnen. De opgetelde diepte van alle uitgevoerde operaties bedroeg 701 km (2.5 miljoen voet). Dit platform was de voorganger van de zelfheffende structuren zoals ze nu gekend zijn. Het beschikte eveneens over poten, maar was nog niet in staat deze poten te laten zakken of omhoog te hijsen. De eerste stap richting het ontwerp van de zelfheffende structuur was echter wel gezet (Offshore Magazine, 2007) (Society of Petroleum Engineers, 2015) (Koole, 2015).

2.2 Van de eerste zelfheffende structuur tot op heden

De eerste keer dat men te maken krijgt met een mobiele drileenheid die beschikt over verschillende poten die zichzelf op en neer kunnen bewegen, is rond 1954. Dit zijn de echte voorouders van de zelfheffende structuren, zoals ze vandaag gekend zijn. Doorheen de jaren is men erin geslaagd om steeds complexere structuren te ontwikkelen waardoor deze steeds op grotere diepten konden ingezet worden. Hieronder worden de verschillende types besproken die geleid hebben tot het ontstaan van de zelfheffende structuren die op heden gekend zijn.

2.2.1 Het 'Delong-type' platform

De heer Leon B. Delong kwam in 1950 als eerste met het idee om een platform te ontwikkelen met buisvormige poten. Wanneer het platform op de juiste plaats gepositioneerd was, zakten de poten tot op de zeebodem. Hier werden ze verankerd en zo zorgden ze ervoor dat het platform stabiel was. Dit ontwerp was initieel bedoeld voor radartorens van het Amerikaanse leger.

Het feit dat deze platformen zo gemakkelijk te verplaatsen waren trok al snel de aandacht van de offshore sector. Het bedrijf 'Magnolia' gebruikte het 'Delong-type' platform als eerste in de petroleum industrie. Dit platform beschikte over zes poten.

Het platform werd echter nog niet echt verplaatst. De jaren nadien mengden steeds meer offshore bedrijven zich op de markt van het zelfheffend platform. Zo ontwikkelden ‘The offshore company’ (opgericht door Delong) en ‘Glasscock Drillings’ platformen met als doel het drillen in water tot 30,48 meter (100 voet) mogelijk maakte (Oceanstaroec, z.d.).

2.2.2 De Scorpion, eerste zelfheffend platform met drie poten

In 1955 werd de bouw van de Scorpion gestart. Het platform werd ontwikkeld en geproduceerd door ‘Le Tourneau Inc.’. Het was een groot risico dat ze namen aangezien dit soort ontwerp zich nog nooit bewezen had. Dit zelfheffend platform verschilde met de voorgaanden door het feit dat het enkel drie poten had. Het platform kon sneller dan de voorgaande platformen verplaatst worden. Het was namelijk in staat om het platform sneller omhoog te hijsen en de poten moesten minder diep in de zeebodem dringen voor dezelfde stabiliteit. Daarna werd er voor het eerst gewerkt met poten die gevormd waren door traliewerk en onafhankelijk van elkaar konden bewegen. Het platform werd tijdens haar leven gebruikt door ‘Zapata Offshore’, voornamelijk voor de oostkust van Noord en Midden Amerika. Het kon gebruikt worden in waters met een diepte tot 24,38 meter (80 voet). Het platform zonk in 1969 toen het gesleept werd (Energy Global News, 2017) (Infield, z.d.) (Price, 2018) (Koole, 2015).

2.2.3 Daaropvolgende veranderingen

De Scorpion leek reeds sterk op de zelfheffende structuren die vandaag gekend. De voordelen van het werken met een zelfheffende structuur werd ook opgemerkt door de andere sectoren (zie hoofdstuk 1.2). De structuren werden gemodificeerd naar de noden van deze sectoren. De hedendaagse uitrustingen die aan boord te vinden zijn worden besproken in hoofdstuk 4. Een andere evolutie, die je ook bij andere schepen ziet (bijvoorbeeld containerschepen), is het groter worden van de structuren. De Scorpion had poten met een respectievelijke lengte van 42,98 meter (141 voet) en kon opereren tot een waterdiepte van 24,38 meter (80 voet) (InfieldRigs, z.d.). De grootste zelfheffende structuur op heden heeft daarentegen poten met een lengte van 206,65 meter (678 voet) en kan opereren tot een waterdiepte van 150 meter (492 voet) (InfieldRigs, z.d.) (Koole, 2015).

3 Documentatie van toepassing op de zelfheffende structuren

3.1 Design, werking & veiligheid

Net zoals alle andere maritieme constructies en schepen zijn er een heleboel regels waaraan een zelfheffende structuur moet voldoen. Hieronder worden de belangrijkste regels en codes overlopen.

3.1.1 MODU code

MODU staat voor ‘mobile offshore drilling unit’. Dit wilt zeggen dat deze code enkel van toepassing is op zelfheffende structuren die gebruikt worden bij het boren naar grondstoffen. Het bevat zowel voorschriften voor zelfheffende platformen als voor zelfheffende schepen (IMO, 2001).

3.1.1.1 Ontstaan

In de begin jaren van de zelfheffende structuren verging er regelmatig één. Deze ongevallen werden echter nauwelijks onderzocht door de overheden. Na enkele grote vervuilende rampen kwamen er in de Verenigde Staten stemmen op om toch richtlijnen vast te leggen in de vorm van een wet. Zo kwam in 1970 de NEPA (National Environmental Policy Act) tot stand (Llewellyn & Peiser, 1973) (NEPA, 1982). Deze doelde op een harmonie tussen mens en milieu. Dit resulteerde in strengere voorwaarden voor de offshore industrie en dus ook voor het zelfheffend platform.

In 1968 publiceerde het Amerikaans Bureau of Shipping (ABS) voor het eerst de *Rules for Building and Classing Offshore Mobile Drilling Units* (ABS, 2019). In deze regels werd voor de eerste keer uitgeschreven aan welke voorwaarden offshore vaartuigen moesten voldoen. Deze publicatie bestaat uit verschillende delen. Zo geeft deel 3 de bouwregels voor de romp en de uitrustingen, deel 4 voor de machines en deel 5 voor de veiligheidsinstallaties. Ook worden de regels voor surveys en certificatie voorgeschreven. Deze regels worden steeds up-to-date gehouden en zijn op heden nog steeds van belang. Een andere belangrijke verwezenlijking van deze regels is dat ze hebben geleid tot de MODU-code van het IMO.

3.1.1.2 Inhoud

In 1979 nam het IMO de code voor de constructie en uitrusting van mobiele offshore booreenheden, kortweg de MODU-code, aan. In 1981 ging deze van kracht. Volgens de code zelf werd ze opgesteld om ervoor te zorgen dat de designcriteria, constructie standaarden, en andere veiligheidsmaatregelen kwalitatief in orde zijn. De zelfheffende structuren vallen onder deze code. Dit wordt duidelijk in het hoofdstuk 1.3 waarin de definitie wordt gegeven van de verschillende type platformen waarop de code van toepassing is: *‘platformen, met beweegbare benen, die in staat zijn om de scheepsromp boven het wateroppervlak te hijsen’*. Deze code is doorheen de jaren steeds bijgewerkt. Dit ‘dankzij’ het feit dat rampen (zoals de ramp met de Alexander Kielland die een verandering op het vlak van veiligheid inzette) (Offshore Engineer Magazine, 2020) gebreken aan het licht brachten en omdat vernieuwing ervoor zorgt dat de code steeds gemoderniseerd moet worden (IMO, 2001). Het is opgebouwd uit 14 hoofdstukken die allemaal nog verder onderverdeeld zijn. Zo gaat bijvoorbeeld hoofdstuk 2 over de constructie, de sterkte en de materialen. Hoofdstuk 7 geeft voorschriften voor de machines en elektrische installaties die voor de eigen voortstuwing zorgen bij zelfheffende schepen. In hoofdstuk 10 worden de verplichte levensreddende apparatuur beschreven. Dit hoofdstuk kan overlappen met de SOLAS. Daarenboven worden er regels gegeven met betrekking op de operationele kant van de zelfheffende structuur. Dit gebeurt in hoofdstuk 14.

3.1.2 Limitatie van het design

Na het ontwerpen en bouwen van een zelfheffend platform of schip zijn er altijd operationele grenzen aan de structuur. Denk bijvoorbeeld aan de kracht van de motor, de reikwijdte van de kraan, de *payload* (dit is het maximale gewicht dat er aan boord van de zelfheffende structuur kan geladen worden), enz.. Deze worden bepaald door de bouwer (DEME Group, z.d.).

3.1.3 Regels opgesteld door het IMO

De zelfheffende structuren moeten voldoen aan de regels opgelegd door de IMO. Naast de SOLAS waarover hieronder dieper wordt ingegaan, zijn er tal van andere conventies en codes van toepassing. Onder andere de MARPOL, STCW, COLREG, ISM, enz.. Hierop wordt er in deze thesis niet dieper ingegaan aangezien deze regels op alle schepen gelden (niet uniek aan zelfheffende structuren).

3.1.3.1 SOLAS

De volledige naam van het SOLAS verdrag is het ‘safety of life at sea’ verdrag. Deze is opgesteld door het IMO. De code zorgt ervoor dat er aan boord van schepen (en structuren) een bepaalde (minimale) standaard van veiligheid wordt gehanteerd. Zodat zeevarende voldoende beschermd zijn tijdens de uitoefening van hun werk. Aangezien de MODU in hoofdstuk 9 en 10 reeds gaat over veiligheidsmiddelen, kan er dus voor structuren door de administratie een uitzondering op de SOLAS worden toegestaan (SOLAS, 2010.).

3.1.4 Project-afhankelijke regels

Bij elk project gelden er andere regels. Het zelfheffende platform/schip past zich voor elke opdracht aan de noden van de klanten aan. Deze klanten hebben ook zeggenschap in de operationele beperkingen van de structuur. Tijdens het interview aan boord van de Neptune (bijlage 3) kwam aan bod dat bij het installeren van windmolenparken de klanten konden beslissen hoeveel onderdelen er maximaal op elk moment aan boord mochten zijn en bij welke weersomstandigheden de werken moeten stoppen. Daarnaast dient de structuur zich steeds te houden aan de regionale (en nationale) regels. Dit kunnen regels zijn van de lokale overheden maar alsook van bijvoorbeeld de eigenaar van het windmolenpark. Zo worden er in de nationale wateren van het Verenigd Koninkrijk door de HSE regels opgelegd. Dit gaat van regels over de structuren zelf tot gezondheids- en veiligheidsregels (HSE, z.d.).

3.2 Personeel

Naast de standaard STCW certificaten moet het personeel aan boord beschikken over bepaalde attesten die eigen zijn aan de offshore sector. Hieronder worden de belangrijkste certificaten waarover het personeel moet beschikken opgelijst (RenewableUK, 2013).

3.2.1 BOSIET

BOSIET staat voor ‘Basic Offshore Safety Induction & Emergency Training’. Wanneer iemand gaat werken op een offshore installatie in de gas- en oliesector is die persoon verplicht om in het bezit te zijn van dit certificaat. Tijdens deze opleiding wordt er onderwezen over brandbestrijding, eerste hulp, acties tegen onderkoeling, overlevingstechnieken op zee en het gebruik van perslucht komt eveneens aan bod. Een onderdeel van deze cursus is de HUET opleiding, dit is een veiligheidskursus met betrekking op helikopters. Het HUET attest is

vereist indien men werkt op een zelfheffende structuur dat beschikt over een helikopterplatform. Het certificaat is vier jaar geldig (Opito, 2016) (STC, z.d.).

3.2.2 GWO

De volledige naam van de GWO is 'Global Wind Organisation'. Het is een non-profit organisatie die opgericht is door de eigenaars en bouwers van windmolenparken. De GWO werd opgericht omdat er nood was aan een standaard opleiding voor mensen in de windmolen sector. Deze organisatie biedt cursussen aan die het personeel de risico's van de windmolen sector leert herkennen en elimineren. De cursus onderwijst over werken op hoogte, eerste hulp, overlevingstechnieken op zee, brandveiligheid en het gebruik van handleidingen. Het certificaat is twee jaar geldig. Als men het certificaat wilt verlengen dient men een opfrissingscursus te volgen. De 'Neptune' is bijvoorbeeld actief in deze sector en daarom moet de bemanning verplicht een GWO training volgen (GWO, z.d.).

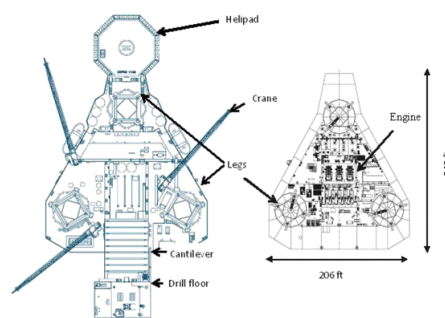
4 Opbouw van de zelfheffende structuren

De weg vinden op een zelfheffende structuur is niet vanzelfsprekend, daarom wordt in dit hoofdstuk systematisch (van boven naar beneden) uitgelegd hoe een zelfheffende structuur opgebouwd is.

4.1 De scheepsromp

De romp van een platform is vaak driehoekig, in elk van de hoeken bevindt zich dan een poot, maar vierkante of rechthoekige rompen bestaan eveneens. Deze vormen zijn uitsluitend voor de structuren die niet beschikken over een eigen voortstuwing. De zelfheffende schepen beschikken doorgaans over minstens vier poten aangezien het minder gemakkelijk is om ze stabiel op te krikken. Ze moeten zelf door het water kunnen voortbewegen en daardoor is een gestroomlijnd design aanbevolen. In dit deel komt enkel de romp van het zelfheffende platform aan bod. De zelfheffende schepen zijn minder interessant qua romp omdat ze minder uitgesproken vormen hebben dan de platformen. Zo zal je bijvoorbeeld nooit een schip zien met een driehoekige romp. Ze zijn meestal ontworpen als een hybride vorm tussen de romp van een gewoon schip en de rechthoekige romp van platformen.

Op de driehoekige romp wordt één kant, die puntiger is, onderscheiden. Deze kant wordt de voorkant van het platform genoemd en de overstaande kant is de achterzijde (Kaiser & Snyder, 2013).



Figuur 3: Bovenaanzicht van de romp van een zelfheffende structuur

Bron: Kaiser & Snyder (2013)

Op de vierkante romp is het moeilijker om een voor- en achterkant te onderscheiden van elkaar.

De romp vormt een waterdicht geheel waarop alle uitrustingen bevestigd zijn. Wanneer het platform drijvend is, zorgt de romp er voor dat het blijft drijven. Het moet dus in staat zijn om het gewicht van de poten, boortoren en alle uitrusting te dragen. Als algemene regel geldt dat hoe groter het platform is, hoe meer gewicht dus hoe meer voorzieningen het aankan. Dit komt natuurlijk door het feit dat het dan een groter drijvend vermogen heeft (wet van Archimedes). Nadeel hiervan is dat er meer kracht nodig is om deze platformen de lucht in te krijgen. Tevens kan het zijn dat er meer poten nodig zijn om dezelfde stabiliteit te voorzien. De mate waarin de structuur invloed ondervindt van de meteorologische invloeden hangt natuurlijk sterk samen met de grootte van de romp. Dit kan leiden tot extra risico's. Deze afweging moet dus steeds gemaakt worden bij het ontwerpen van een structuur. Het is belangrijk steeds te kijken naar de specifieke plaatsen en taken waarvoor het gebruikt gaat worden. Dit leidt tot het feit dat elke zelfheffende structuur uniek is omdat ze allemaal ontwikkeld zijn voor een ander soort project (Sadeghi, Al-Koily, & Nabi, 2017).

4.2 De Maritieme uitrusting

Onder de maritieme uitrusting wordt elke uitrusting bedoeld die het gemeenschappelijk heeft met schepen.

4.2.1 De accommodatie ruimte

Net zoals op elk ander schip leeft de crew aan boord tijdens hun contract. Meestal bestaat dit uit één of twee blokken. In dit blok vindt men verschillende dekken. Meestal beschikt de structuur over een accommodatie blok dat boven het dek uittorent. Het gebeurt echter dat er een volledig andere structuur wordt ingezet dat moet fungeren als woongedeelte. Leven en werken is in dit geval gescheiden. Ook als dit niet het geval is, krijgt een zelfheffende structuur meer volk aan boord dan een normaal schip. Het gebeurt regelmatig dat ingenieurs van het eigen bedrijf of afgezanten van de klant het project komen bekijken. Voor al deze mensen dient men dan een slaapkamer en eventuele werkplaats te voorzien.

Deze blokken beschikken over kamers voor alle crew en eventuele bezoekers, een keuken en een eetzaal, badkamers en ontspanningsruimten. Het belang van dit laatste mag zeker niet onderschat worden. Je zit met verschillende nationaliteiten te werken.

Het kan een eenzaam leven zijn en als je gedurende je volledige contract enkel met het werk bezig bent zouden veel mensen dit niet volhouden. Het woongedeelte bevat tevens de controlepost van waaruit de werken in de gaten worden gehouden. Daarnaast zijn de werkruimten en vergaderzalen hier gelegen.

4.2.2 De machinekamer

Net zoals op gewone schepen beschikt de structuur over een machinekamer waar naast de aandrijving van de eventuele propulsie zich ook de generatoren, aandrijving van de kraan, eventuele elektrische motoren, et cetera bevinden (Charlton, 2014).

4.2.3 Veiligheidsvoorzieningen

Het verleden, denk bijvoorbeeld aan de ‘Deepwater Horizon’ (Umair, z.d.), heeft geleerd dat het leven op een drillplatform niet enkel hard maar ook gevaarlijk kan zijn. Een ongeluk kan steeds gebeuren en dus is het belangrijk dat men hierop voorbereid is. Hierdoor worden reddingsboten, reddingsvesten en MOB-kits teruggevonden aan boord (verplicht via de SOLAS en de MODU). Of de structuren voldoen aan deze regels wordt gecontroleerd door vlaggenstaten en classificatie maatschappijen. Vanaf het personeel aan boord komt krijgen zij een uitgebreide veiligheidsbriefing (Raunek, 2019). Ze worden gefamiliariseerd met het schip en de veiligheidsvoorschriften. Dit is net zo op alle andere schepen. Op structuren die bezig zijn met het boren naar olie is roken ten strengste verboden. Daar waar men bezig is met andere projecten is roken op het dek wel toegelaten. Op deze structuren is men steeds aan het werk, het is dan belangrijk dat de crew ten allen tijden goed beschermd is, wanneer ze op het dek komen. Dit doen ze aan de hand van persoonlijke bescherming, waarmee een veiligheidshelm, een veiligheidsbril, een overall, handschoenen en veiligheidsschoenen bedoeld wordt (ABS, z.d.).

4.2.4 Voortstuwing

Hier kan een groot onderscheid gemaakt worden tussen twee verschillende soorten zelfheffende structuren. Op de eerste plaats zijn er de schepen. Deze zijn in staat volledig autonoom naar de nieuwe bestemmingen te varen. Ze beschikken dus over een volledig navigatiesysteem, aandrijving en eventuele roer(en). Vaak worden de *thrusters* die gebruikt worden voor de DP gebruikt als voortstuwing. Deze *thrusters* kan men 360 graden draaien. Daarmee vervalt de nood voor een roer. Bij de modernste zelfheffende schepen kiest men

voor dit systeem (zoals aan boord van de Neptune) (DEME, z.d.). Het is mogelijk om een zelfheffend platform om te bouwen tot een zelfheffend schip. Dit komt door de installatie van dergelijke *thrusters* (J-UB, z.d.). Met andere woorden alles wat er nodig is voor een veilig navigatie is hier aanwezig.

Daarnaast zijn er de platformen. Om deze platformen te verplaatsen heeft men meer middelen nodig. Bij kleine afstanden maakt men gebruik van sleepboten (die geschikt zijn om op zee te varen) (IADC, 1991) (Rachain & Coleman, 2018).



Figuur 4: Zelfheffend platform verplaatst door half-afzinkbaar schip

Bron: Cosco (z.d.)

Voor langere afstanden gebruikt men een half-afzinkbaar schip (GOE, z.d.). Deze schepen zijn speciaal ontworpen voor het transport van grote en zware ladingen. Bij dit schip kan men een deel van het dek onder water zetten. De ‘cargo’, in dit geval het platform, drijft en wordt dan over het onder water liggende dek gesleept. Het schip komt dan terug omhoog waardoor de zware cargo nu op het dek ligt.

4.2.5 Ballasttanks

Net zoals andere schepen beschikken deze structuren over ballasttanks. Deze worden gebruikt om het drijven te controleren wanneer de structuur in zijn drijvende toestand is. Dit kan bijvoorbeeld belangrijk zijn wanneer het platform op een half-afzinkbaar schip moet worden geladen. De ballasttanks kunnen daarenboven gebruikt worden tijdens het voorladen (zie 4.3.1.4) (Randolph & Gourvenec, 2011).

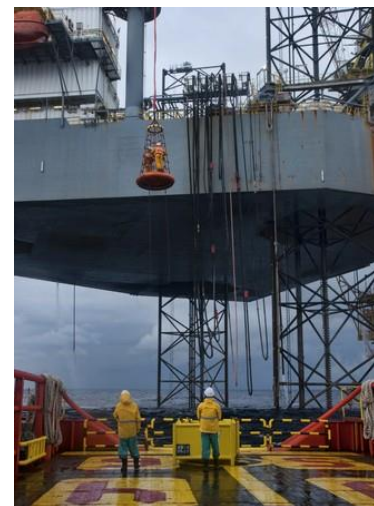
4.3 De project uitrusting

De project uitrusting is de uitrusting die nodig is om ervoor te zorgen dat de zelfheffende structuren de projecten goed kunnen uitvoeren. Deze verschillen van structuur tot structuur aangezien deze niet allemaal gebouwd zijn om hetzelfde project uit te voeren (Azar & Robello Samuel, 2007) (Charlton, 2014).

4.3.1 Algemene project uitrusting ongeacht het ontwerpdoel

4.3.1.1 *Het helikopter platform*

Het helikopterplatform bevindt zich meestal op de voorkant van het dek, vrij van alle obstakels zodat de helikopter er zonder problemen kan landen (zie figuur 3). Op boorplatformen wordt de helikopter vaak gebruikt als belangrijkste transportmiddel van de crew, dit is niet anders op een zelfheffende structuur. Lang niet alle structuren (de kleinere) beschikken over een helikopter platform, het wisselen van de crew gebeurt hier op een andere manier. Ze beschikken over een mandje dat met een kraan over boord kan gehangen worden en waarin de crew dan kruipt. Op deze manier worden ze dan naar boven en beneden gevoerd (Charlton, 2014).



Figuur 5: Wisseling van de crew

Bron: ClipDealer (z.d.)

4.3.1.2 *Het DP Systeem*

Het DP systeem zorgt ervoor dat een schip of platform een vaste positie kan aanhouden. Hiervoor worden *thrusters* gebruikt die de externe krachten die op het schip werken tegengaan. Het schip wordt dus op de gewenste positie gehouden door *thrusters* die elke niet gewenste verplaatsing tenietdoen (Offshore engineering, z.d.). Er zijn verschillende soorten van DP. Je hebt DP1, DP2 en DP3. Het verschil tussen deze DP systemen onderling is de mate van redundantie. Zo zal het DP1 systeem geen redundantie hebben. Dit betekent dat in geval van een storing, het systeem kan uitvallen. DP2 heeft dan wel redundantie en DP3 heeft een sterke graad van redundantie (Pearson, 2008).

Dit systeem is belangrijk aan boord van de zelfheffende structuren. Wanneer men zich naar de projectlocatie begeeft, kan het belangrijk zijn dat de structuur zich exact op de vooraf bepaalde locatie kan positioneren. Dit is het geval wanneer er zich rondom de gewenste locatie risico's profileren die men beter ontwijkt, zoals reeds bestaande voetafdrukken (zie hoofdstuk 8). Naast het DP systeem kan een zelfheffende structuur zich ook positioneren met behulp van sleepboten of door het gebruik van ankers.

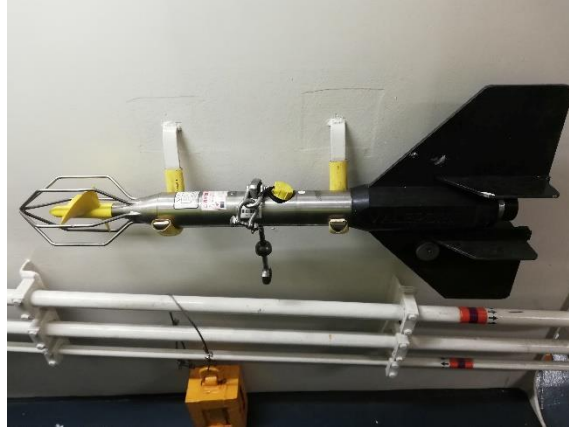
4.3.1.3 Moonpools

In de romp van de zelfheffende structuren bevinden zich vaak *moonpools*. Dit zijn openingen die door het gehele dek gaan. Ze worden voor verschillende doeleinden gebruikt. De grootste *moonpools* worden bijvoorbeeld gebruikt om voorraden aan boord te krijgen. De kleinste voor het nemen van stalen of om de locatie transducer van een ROV onder de romp neer te laten (Cerulean Sonar, z.d.). Deze *moonpools* zijn er vooral ter beschikking van de klanten. Zij kiezen voor wat ze gebruikt moeten worden tijdens de projecten (Speight, 2014).

4.3.1.4 Weerstation aan boord

Weersvoorspellingen zijn belangrijk voor zelfheffende structuren. Bij het opkrikken en het ophalen van de poten is het van groot belang om op de hoogte te zijn van het te verwachte weer. Als de weersomstandigheden te extreem zijn zal het niet mogelijk zijn om de operatie uit te voeren. Als men aan het werken is met de kraan dient men te controleren of het weer wel toelaat om de werken veilig uit te voeren. Meer informatie over de risico's ten gevolge van het weer is te vinden in het hoofdstuk 8 (Risico's). Dit is waarom men aan boord meestal beschikt over verschillende systemen die weersvoorspellingen kunnen ontvangen. Daarnaast beschikken de grote structuren vaak over een eigen (klein) weerstation om de huidige weersomstandigheden af te toetsen aan de voorspellingen die ze hebben (kleine eenheden gebruiken enkel de weersvoorspellingen aangeboden door externe weerstations) (HSE, 2001). Zo beschikken ze over golfradars en windsensoren. Ook de stroom kan vanaf de structuur gemeten worden.

De stroomvis is een apparaat dat in het water gelaten wordt, dit kan via een *moonpool*, en dan de mate van de stroming meet. Dit geeft een veel accurater beeld dan de stroomtabellen. Op figuur 6 is een foto van de stroomvis te zien.



Figuur 6: Stroomvis

Bron: Eigen werk (2019)

4.3.1.5 Het 'voorlaad-systeem'

Voordat de romp zich opkrikt op een bepaalde locatie moet er eerst bepaald worden dat de bodem voldoende weerstand kan bieden aan de ladingen die tijdens het project uitgeoefend zullen worden. Om een sterk genoeg bodemfundament te bereiken wordt er vooraf een lading op de zeebodem uitgeoefend. Deze lading moet groter zijn dan de maximale lading die op de bodem zal uitgeoefend worden tijdens de meest extreme situaties (stormen). De mate van de kracht van het voorladen wordt voorafgaand het project berekend (meestal de maximale capaciteit van de structuur (zie 9.5.1)). Men doet dit nadat alle factoren van een bepaalde locatie in kaart zijn gebracht. Zo weet men welke omstandigheden de structuur op deze locatie kan verwachten. Op deze manier kan men er zeker van zijn dat de bodem voldoende sterk zal zijn om het gewicht dat er tijdens het project op uitgeoefend wordt te dragen. Op een nieuwe bestemming aangekomen laat men de poten zakken tot op de zeebodem. Er zijn twee mogelijkheden om het voorladen uit te voeren. Als men beschikt over een sterk hydraulisch systeem om de poten te laten zakken (dit is sterker dan een elektrisch systeem), kan men de poten in de bodem duwen. Wanneer het systeem niet krachtig genoeg is om de poten de bodem in te duwen, worden de 'voorlaadtanks' gevuld met water. Deze zorgen ervoor dat de druk op de bodem onder de poten toeneemt tot de gewenste waarde. Hier dringen de *spudcans*, dit zijn het uiteinde van de poten (zie 4.4.4.1), de zeebodem binnen tot ze zich voldoende genesteld hebben en ze stevig staan. Het nadeel van de tweede manier is het feit

dat wanneer er iets fout loopt tijdens het voorladen (er is bijvoorbeeld te weinig ballast aan boord genomen) men heel de romp terug in het water moet laten zakken, de poten uit de grond trekken en de ballastoperatie opnieuw moet uitvoeren. Soms kan het gebeuren dat een *spudcan* door de bodem schiet. Hierdoor komt er extra transversale kracht op de andere poten. De poot zal dieper en dieper in de bodem penetreren tot het een ondergrond vindt die opnieuw meer weerstand biedt of totdat de romp begint te drijven op het water. Door het drijfvermogen van de romp zal de poot dan stoppen met de bodem te penetreren. Dit is natuurlijk niet goed voor de structuur en kan enorme schade tot gevolg hebben. Daarom wordt het voorladen uitgevoerd met de romp dicht tegen het wateroppervlak en is het belangrijk om vooraf voldoende onderzoek uit te voeren zodat men deze problemen kan voorzien en de risico's kan minimaliseren. Het weer kan een belangrijke rol spelen tijdens het voorladen, daarom is het belangrijk om over voldoende weersvoorspellingen te beschikken. In hoofdstuk 8 wordt er dieper ingegaan op de risico's die aan het voorladen gebonden zijn (Dutton, 2018) (RenewableUK, 2013).

4.3.1.6 Aanzuigingssysteem van het koelwater

Door het unieke karakter van de zelfheffende structuur, heeft het te maken met problemen die op andere schepen niet voorkomen. Zo zal de aanzuiging voor het koelwater uit de zee voor gewone schepen geen probleem geven. Dit koelwater wordt gebruikt voor motoren of generatoren. Er zijn minstens twee openingen in de scheepsromp van waar het schip zijn koelwater kan aanzuigen. Dit is bij de zelfheffende structuren niet anders. Zolang ze in het water liggen is er geen enkel probleem. Dan is het mogelijk om de aanvoer van zeewater via de normale openingen te doen. Maar zodra de structuur uit het water opgekrikt wordt, is dat niet meer mogelijk. Daarom zijn er aan boord van deze structuren voorzieningen om ervoor te zorgen dat de toevoer van koelwater niet stilvalt. Bij sommige structuren is het zo dat men het aanzuigstelsel niet in de romp maar in één van de poten heeft geïnstalleerd. Het probleem hierbij is dat het duur is om te installeren en dat indien er iets kapot is, het niet gemakkelijk kan worden hersteld (door de moeilijke bereikbaarheid). Een andere mogelijkheid is dat er een slang wordt neergelaten zodra de romp uit het water is.



Figuur 7: Aanzuiging van het koelwater aan boord van de Neptune

Bron: Eigen werk (2019)

De aanzuiging van het koelwater gebeurt dan via hier. Deze slang kan gewoon over boord gegooid worden of door een *moonpool* neergelaten worden (royalihc, 2012).

4.3.2 Uitrusting voor het winnen van grondstoffen

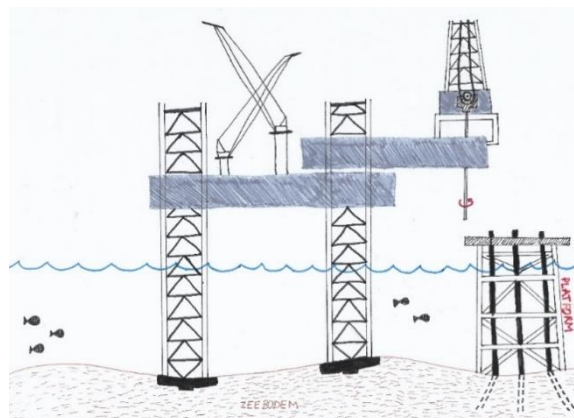
Volgende uitrustingen zijn enkel aan boord van structuren die als doel het boren naar grondstoffen hebben te vinden

4.3.2.1 De boortoren

Er zijn twee grote verschillen in de wijze waarop de boortoren op de romp bevestigd is (Rigzone, z.d.) (NETWAS Group Oil, 2018).

De eerste wijze is die waarbij de boortoren op een draagarm geplaatst is.

Bij dit type bevindt de boortoren zich op een afzonderlijk dek. Het dek kan buiten de romp geplaatst worden, dit kan op verschillende manieren. Er zijn structuren waarbij het draagarm dek naar buiten gekanteld wordt wanneer men ter plaatse is, hier heeft men dus scharnieren nodig en een kraan om de kanteling gecontroleerd te laten gebeuren. Een andere mogelijkheid is een draagarm die uitgeschoven kan worden. Hier heeft men een afzonderlijk systeem van motoren nodig. Men kan op sommige structuren dit dek zowel transversaal als longitudinaal bewegen. De laatste jaren zijn voornamelijk dit soort boortorens gebouwd, de mogelijkheid van deze bewegingen is de belangrijkste reden hiervoor. De beweegbaarheid van de boortoren is echter groter, maar toch mindert het de compactheid van de structuur niet doordat het mooi terug binnen- of neergehaald kan worden.



Figuur 8: Zelfheffend platform met boortoren op een draagarm

Bron: Eigen bewerking van Blog Templato (2014)

De tweede wijze is die waarbij de boortoren vast boven een *moonpool* geplaatst is. Deze optie is minder populair dan de vorige. Doordat men hierbij beperkter is in de bewegelijkheid van de boortoren. Hier moet men de zelfheffende structuur perfect positioneren boven de locatie waar men wilt drillen. Dit zorgt voor een extra moeilijkheid tijdens het plaatsen van de structuur. (Speight, 2014)

4.3.2.2 De eruptieafsluiter

Eruptieafsluiters zijn cruciaal bij het boren naar olie- of gasbronnen. In een olie- of gasbron heerst er een extreme druk. Wanneer de druk binnen de gedrilde buis lager is dan de druk daarbuiten ontsnapt er gas of olie met zeewater. Dit resulteert in een drukgolf, wat vervolgens kan zorgen voor een eruptie bovenaan. Schade aan de boorinstallatie, gevaar voor het personeel en vervuiling behoren tot de mogelijke gevolgen. Het is daarom belangrijk om deze drukgolven te neutraliseren. Hiervoor wordt de eruptieafsluiter gebruikt, deze zorgt ervoor dat de bron wordt afgesloten. Aan boord van het boorplatform worden er vaak meerdere in serie gebruikt om zo het risico minimaal te houden. Het kan zijn dat deze sluiters zich op de zeebodem bevinden, maar doorgaans bevinden ze zich op het dek van de zelfheffende structuur. In het verleden zijn er al rampen gebeurd als gevolg van een defecte eruptieafsluiter daarom is het belangrijk dat men deze aan boord voldoende onderhoudt en monitort (Ramsey & et al, z.d.) (Aresco LP, 2015).

4.3.2.3 Gasdetectors

Gasdetectie is belangrijk aan boord van boorstructuren. Je hebt draadloze machientjes die je op afstand kan aflezen, maar ook manuele apparaten die je meedraagt. Op deze manier kan men snel een lek detecteren voordat het een gevaar vormt (GDS Corp, 2014).

4.3.2.4 Modder systeem

Door dit systeem wordt er modder via de holle boorstang naar de boor gepompt. Daarna komt het naast de boorstang terug naar boven. Het hoeft geen modder te zijn, maar het kunnen ook andere vloeistoffen zijn die hetzelfde effect hebben.

De modderstraal die aan de boor toekomt zorgt ervoor dat de boor gesmeerd en afgekoeld wordt. Daarnaast wast het de grote brokken weg en neemt deze mee naar boven, hier worden deze gescheiden van de vloeistof en wordt de vloeistof opnieuw gebruikt.

Een andere belangrijke reden voor het gebruik van dit systeem is dat het ervoor zorgt dat de boorput niet instort en dat het een tegendruk biedt aan de vloeistoffen in de boorput. Hierdoor verhindert het de vloeistoffen om naar boven te spuiten. De modderstromen die naar bovenkomen kunnen onderzocht worden om zo meer informatie te verkrijgen over de boorput. Tot het modder systeem behoren de modder pompen, tanken, gas en modderfilter (Caenn, Darley, & Gray, 2016) (Osha, z.d.).

4.3.2.5 De boorstang en boor

Met de boorstang en boor wordt er een toegang gecreëerd naar de bronnen. Vanuit de boortoren vertrekt de boorstang, deze bestaat uit meerdere drilpijpen die aan elkaar gemonteerd worden. Wanneer het einde van de boorstang aan het einde van de boortoren komt, wordt er een extra stuk drilpijp aan vastgevoerd. Hierdoor kan men steeds dieper en dieper blijven boren. Onderaan vindt men de boor. Deze beweegt mee met de rest van de drilpijp. Er zijn verschillende boren voor de verschillende soorten ondergrond. De boorstang is flexibel en gaat dus niet in een rechte lijn naar beneden (Rijsdam & et al, z.d.) (Tanaka, Okada, & Ichikawa, 2009).

Een boorstang vindt men eveneens aan boord van zelfheffende structuren die gebruikt worden voor het uitvoeren van een bodemonderzoek.

4.3.3 Uitrusting voor herstellings- en installeringswerken

4.3.3.1 Kranen

De kranen zijn ontwikkeld zodat ze kunnen ronddraaien. Ze worden bestuurd worden vanop de kraan zelf of vanuit een cabine die zich op het dek bevindt. De grote kranen kunnen soms gehinderd worden door de poten. Dit is echter enkel het geval als de poten niet diep genoeg gepenetreerd zijn. Wanneer de romp voldoende opgekrikt is zal de kraan normaal vrij kunnen bewegen. Vaak zijn er ook kleine kranen aan boord. Deze kunnen bijvoorbeeld gebruikt worden om kleinere werken aan boord uit te voeren en de voorraden en de crew (zie figuur 5) aan boord te hijsen (aan boord van de Neptune beschikt men over een kleinere kraan op het achterdek met een capaciteit van tien ton). De kranen hebben beperkingen die vastgesteld zijn door de fabrikanten, zo kan de kraan aan boord van de Neptune maximaal een lading van 600 ton transporteren over een radius van 26 meter (royalihc, 2012). Binnen deze radius beschikt de kraan over zijn volledige capaciteit en komt de stabiliteit van de structuur niet in gevaar.

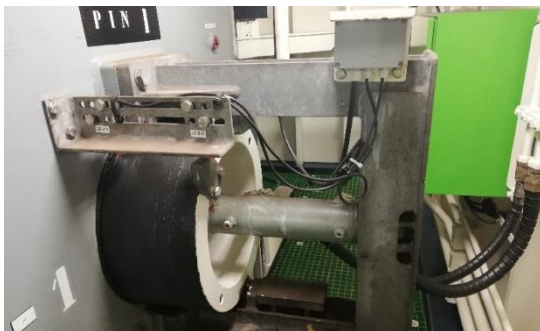
Indien er een zwaardere lading verplaatst moet worden, zal men de zelfheffende structuur zo moeten positioneren dat de kraan zich zo dicht mogelijk tegen het gewicht bevindt. Men dient dus voor elk project te onderzoeken welke structuur de werken het best zal kunnen uitvoeren.

4.4 De uitrusting om de structuur op te krikken

Er zijn twee bekende systemen om een zelfheffende structuur op en neer te halen: het pin en holte mechanisme en het tandheugel systeem. Hieronder worden beide beschreven (Rachain & Coleman, 2018) (Tirant & Pérol, 1993).

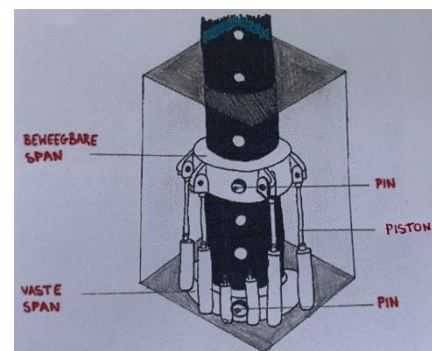
4.4.1 Het pin en holte mechanisme

Dit systeem staat bekend voor zijn sterkte. In tegenstelling tot het tandheugelsysteem is het minder onderhevig aan vervormingen en zal er bijgevolg minder onderhoud moeten gebeuren aan dit systeem. Het is wel duurder om te bouwen. Dus hier zal men moeten afwegen welk systeem het best bij hen past. De werking ervan is simpel uit te leggen. Men heeft één stationaire en één beweegbare (hydraulische) span is die zich rond de poot bevinden (royalihc, z.d.). Beide ringen zijn met elkaar verbonden door middel van een piston. Bij dit principe worden er eerst doorheen de stationaire span pinnen geschoven die door de holte in de poot gaan. Vervolgens rekt de piston zich uit tot zijn maximale stand. De pinnen van de beweegbare ring schuiven dan in de poot en zodra alle pinnen in de poot zitten worden de pinnen van de stationaire ring er uitgeschoven. Op figuur 9 is een pin te zien die in de poot geschoven is. Figuur 10 toont een voorstelling van het pin en holte systeem.



Figuur 9: Pinsysteem

Bron: Eigen werk (2019)



Figuur 10: Pin en holte mechanisme

Bron: Eigen werk (2018)

De romp wordt dan hydraulisch opgetrokken met de beweegbare span als anker (door de piston) en zodra de piston volledig ingetrokken is, worden de pinnen weer uit de beweegbare en in de stationaire ring geschoven. Dit proces blijft zich herhalen tot de gewenste penetratiediepte/platformhoogte bereikt is. Het grote nadeel van dit systeem is dat men niet kan kiezen tot op welke hoogte men de romp ophijst omdat het gebonden is aan de gaten in de palen (GustoMSC, 2018). Dit systeem blokkeert wanneer één van de pinnen niet in de holte kan binnendringen. Dit is waarom onderhoud belangrijk is. Er kan bijvoorbeeld modder in de gaten terechtkomen en dan blokkeert het systeem. De holtes kunnen gewoon een opening zijn in de poot (open holtes zoals op figuur 11) of ze kunnen gesloten holtes zijn (de holtes geven geen doorgang tot de binnenkant van de poot) (Rachain & Coleman, 2018) (Tirant & Pérol, 1993).

Wanneer de poten naar boven of beneden bewogen worden, wordt het gewicht van de poten gedragen door het drijfvermogen van de romp. Vanaf het moment dat de poten de grond raken en de romp omhoog wordt gekrikt, vindt een overdracht van gewicht plaats. Het volledige gewicht van de romp wordt nu gedragen door de poten. De plaats waar dit gewicht overgedragen wordt, bevindt zich aan van de behuizingen van de opkriksystemen. Hier zijn compressierubbers op verschillende plaatsen te vinden. Deze compressierubbers zijn de contactpunten tussen de romp en de opkriksystemen. Aangezien staal op staal negatieve gevolgen voor het materiaal zou hebben worden er hier compressierubbers gebruikt. Het is dus mogelijk om aan deze rubbers te zien of de poten de zeebodem raken (dan zullen ze samengedrukt zijn). Op figuur 11 is de binnenkant van een poot, die beschikt over open holtes, te zien. Figuur 12 toont de samendrukkingsrubbers (Van Essen, 2013).



Figuur 11: Poot met open holte

Bron: Eigen werk (2019)



Figuur 12: Samendrukkingsrubbers

Bron: Eigen werk (2019)

4.4.2 Het tandheugelsysteem

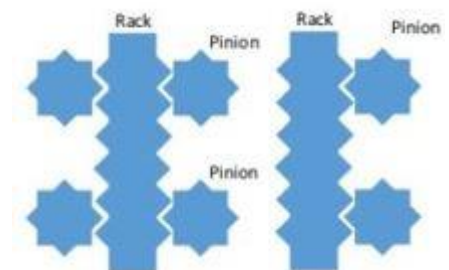
Dit systeem is opgebouwd uit twee belangrijke delen, een verticale tandlat (*rack*) die vastgemaakt is aan de poten ofwel de *chords* (zie 4.4.3.2) en uit een aantal tandwielen (*pinions*) die in deze tanden grijpen. Daarnaast beschikt het over gids-stroken ofwel *guides*, deze zijn er om ervoor te zorgen dat de poten mooi doorheen de romp worden geleid en dat de tanden steeds op de juiste plaats de tandwielen raken. Meestal beschikt de structuur enkel over boven of onder *guides*, maar bij structuren met een diepe romp kan het zijn dat er nog een *guide* tussenin zit. Sommige *guides* zorgen ervoor dat de horizontale buigmomenten van de poten tegengegaan worden. Het grote voordeel van het tandheugelsysteem is dat het een continue beweging heeft. In geval van zware stormen kan men de romp dus snel omhoog hijsen. Als de tandwielen gelijk draaien zal de romp mooi verticaal bewegen (Rachain & Coleman, 2018) (Tirant & Pérol, 1993).



Figuur 13: Zelfheffende structuur met tandheugelsysteem

Bron: Drillingformulas.com

De tandwielen kunnen op twee manieren gepositioneerd zijn. Enerzijds zijn er de overstaande tandwielen en anderzijds de radiale tandwielen. Bij de radiale tandwielen bevinden deze zich aan dezelfde kant van de poot. Bij de overstaande tandwielen bevinden ze zich aan elke kant van de *chord* (zoals op figuur 13). Het voordeel van de overstaande tandwielen is dat de lading verdeeld wordt. Daarnaast resulteert het in een compacter systeem. Een voordeel van de

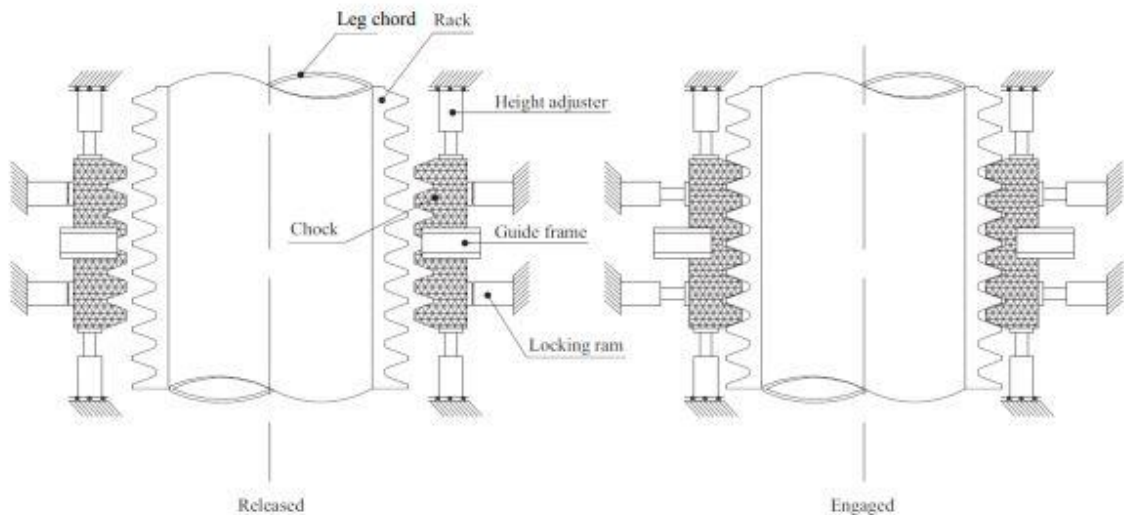


Figuur 14: De overstaande versus de radiale tandwielen

Bron: Elsayed (2013)

radiale tandwielen is dat aangezien er maar aan één kant tandwielen zijn, er minder weerstand is en dus het verlies van energie een pak lager ligt. Een ander voordeel is dat de boven en onder *guides* verder uit elkaar liggen aangezien het hele systeem langer is. Dit is positief omdat de *chord* dan voor een langere afstand geleid wordt (Nordic Ventures Group, z.d.) (Rachain & Coleman, 2018) (Elsayed, 2013). Op figuur 14 zijn de twee configuraties te zien.

Bij het tandheugelsysteem vindt tijdens de beweging (neerlaten poten/opkrikken romp) de overdracht van gewicht tussen de poten en de romp plaats via de tandwielen. Dit resulteert in grote krachten op de tanden. In sommige gevallen maakt men gebruik van een ander systeem. Dit gebeurt aan de hand van een tandfixatie systeem. Dit bestaat uit een stopblok (*chock* op figuur 15) dat in de tanden past en twee hoogte-aanpassers. Deze zorgen ervoor dat het fixatiesysteem perfect gepositioneerd wordt en zo goed past op de tanden. Wanneer de romp zich op de correcte hoogte bevindt, wordt het stopblok vastgezet in de tanden. Hieronder is een schets te zien die alle onderdelen aanduidt (DNVGL, 2014).



Figuur 15: Tandfixatie systeem

Bron: DNVGL (2014)

Bij het tandheugelsysteem zijn er twee verschillende soorten van opkrikssystemen te onderscheiden. Op de eerste plaats is er het vaste systeem, hierbij is het krikstelsel stevig bevestigd aan de romp (ze zijn rechtstreeks aan de romp gelast). Daarnaast is er ook het drijvende systeem. Bij dit systeem is het krikstelsel niet rechtstreeks aan de romp bevestigd maar wordt er gebruikgemaakt van schokdempers aan de boven en onderkant. De romp zal in

dit geval dus minder invloed ondervinden van de bewegingen van de poten (DNVGL-RP-C104, 2015) (Nordic Ventures Group, z.d.).

4.4.3 Besturingssysteem

Deze systemen worden allemaal bestuurd vanop de brug. Hier vindt men een console waarmee men de beweging van de poten kan besturen. Vaak is er een back-up systeem ter hoogte van de poten. Indien het systeem op de brug faalt dan kan men de poten (en de pinnen) nog steeds bewegen. Op figuur 16 is een voorbeeld van zo'n console op de brug te zien en figuur 17 toont de back-up console aan boord van de Neptune (Kennedy, Chen, Chan, & Adnanes, z.d.).



Figuur 16: Console op de brug

Bron: Eigen werk (2019)



Figuur 17: Back-up console

Bron: Eigen werk (2019)

4.4.4 De poten

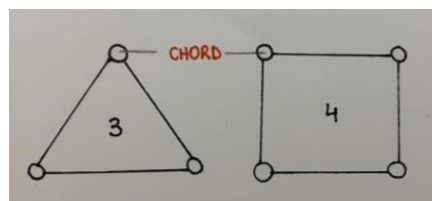
4.4.4.1 Zuilvormige poten

Het eerste type zijn de zuilvormige poten. Dit type poten zijn grote stalen buizen. Deze poten zijn gemakkelijk te maken maar aangezien er veel materiaal inkruipt zijn ze over het algemeen wel duur. Ze zijn steeds hol aangezien een massieve cilinder te zwaar is en geen meerwaarde zou bieden. Door hun gestroomlijnde vorm ondervinden ze een minimale invloed van wind en stroming. Ze zijn daarnaast ook gemakkelijker terug uit de zeebodem te trekken dan de poten met een open kader door hun gestroomlijnde vorm (NOV, z.d.).

4.4.4.2 Poten met een open kader

Deze poten vertonen een sterke gelijkenis met de palen van een elektriciteitsmast. Ze bestaan uit stalen palen die aan elkaar gelast zijn op een manier waarop ze weerstand bieden voor alle soorten buigmomenten. De poten zijn populair omdat ze goedkoop zijn om te fabriceren. Het elektrische tandheugelsysteem dat ermee samenhangt is een snel systeem. Ze zijn open waardoor zee en windkrachten minder invloed hebben.

Men ziet tevens een klein verschil tussen de verschillende poten met een open kader. Sommigen zijn namelijk opgebouwd uit drie *chords* en andere uit vier. Grote verschillen zijn dit niet, maar men kan wel stellen dat poten met vier *chords* zwaarder en steviger zijn aangezien de kracht die op deze poten werkt meer verdeeld wordt. Het extra gewicht zorgt er dan weer wel voor dat de poten dieper penetreren in de bodem (Mehnazd, 2011) (Koole, 2015).



Figuur 18: De verschillende *chord*-configuraties

Bron: Eigen werk (2020)

4.4.4.3 Structuur met drie of vier poten

Bij het ontwerpen van een structuren moet steeds de keuze gemaakt worden voor hoeveel poten men gaat. In de praktijk zullen voornamelijk zelfheffende schepen en platformen met drie of vier poten te vinden zijn. Dit zijn de meest voorkomende type en daarom worden deze beschreven.

Als men structuren heeft die stabiel kunnen zijn met drie poten is deze optie interessant (goedkoper om te maken en te onderhouden). De poten worden dan in een driehoek geplaatst. De romp weegt in dit geval minder en zijn er minder opkriksystemen nodig.

Een structuur met vier poten heeft eveneens voordelen. Zo zorgt het voor een grotere stabiliteit en stevigheid (Rachain & Coleman, 2018) (Sadeghi e.a., 2017).

4.4.4.4 Jetting lijnen

Via deze buis kan water naar beneden gevoerd worden. De buis die naar beneden loopt ,langsheen of door de poot, heeft op verschillende hoogten aansluitingsmogelijkheden voor het watersysteem. Zo kan men water aan een hoge druk naar beneden pompen. Dit komt er dan bij de *spudcans* uitgespoten. Ze hebben een dubbele functie. Enerzijds zorgt het ervoor dat de penetratie in de bodem vlotter verloopt. Anderzijds heeft het een positief effect op het loskomen van de *spudcans*. Bij een bodem die bestaat uit zachte klei kan het voorkomen dat de aanzuiging van de klei op de *spudcans* zo groot was dat deze het drijfvermogen van de structuur overschreed en ze de poten bijgevolg niet loskregen. Op figuur 19 is zo'n aankoppeling van de *jetting line* te zien (Gaudin, Bienen, & Cassidy, 2011).



Figuur 19: Aankoppeling *jetting* systeem

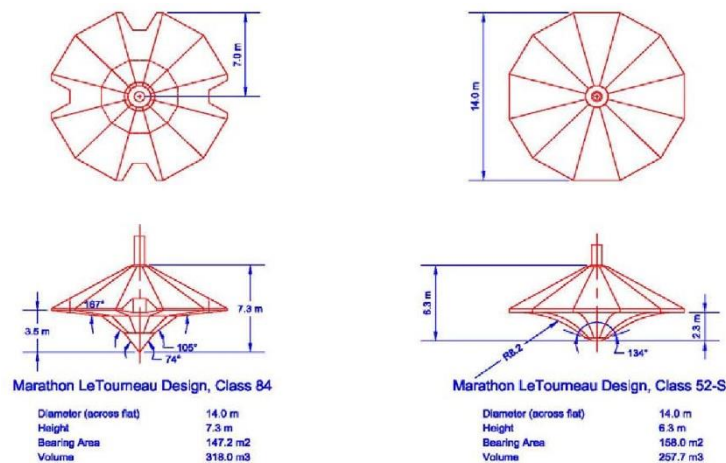
Bron: Eigen werk (2019)

4.4.5 De ‘schoenen’ van de poten

Er kan gekozen worden om de poten onderaan uit te rusten met een soort van schoen. Deze kan ontworpen zijn voor verschillende doeleinde. Zo kan het ervoor zorgen dat het gewicht dat erop uitgeoefend wordt over een grotere oppervlakte gespreid wordt (platte, grote onderkant) of kan het juist voor een vlottere penetratie zorgen door over een puntige onderkant te beschikken (bij een harde ondergrond) . Dit resulteert in een kleinere penetratie. Er bestaan drie verschillende design mogelijkheden, namelijk de *spudcan*, de mat-ondersteunde poten en de poten zonder ‘schoen’ (Rachain & Coleman, 2018) (Society of Petroleum Engineers, 2015).

4.4.5.1 De spudcan

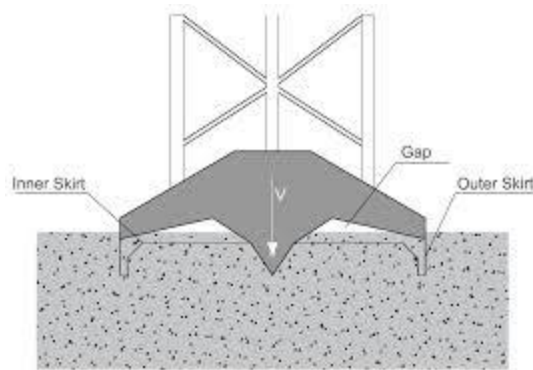
In dit geval penetreren de palen zich in de bodem door middel van *spudcans*, die op het uiteinde van elke poot te vinden zijn. Ze bestaan in verschillende soorten en vormen. Vaak hebben ze een kegelvormige onderkant. Door de puntige onderkant kunnen ze gemakkelijker een (harde) bodem penetreren. Er bestaan er echter ook met een platte onderkant. Elk design heeft zijn eigen kwaliteiten en is ontworpen met het oog op een specifieke bodemsoort(en). De bovenkant is licht hellend zodat zand of klei er gemakkelijker afglijdt wanneer de poten omhoog gehaald worden. Ze hebben echter enkele nadelen. Zo zijn ze gevoelig aan grote hellingen op de zeebodem en gaten op de zeebodem die in het verleden al door andere structuren werden gemaakt. Ze kunnen in die gaten schuiven wat resulteert in horizontale buigmomenten op de benen. Op de figuur 20 is het design van enkele *spudcans* te zien (Menzies & Roper, 2008).



Figuur 20: Design van *spudcans*

Bron: Menzies & Roper (2008)

Er bestaat zoiets als ‘gerokte’ *spudcans*. De reden voor de naam kan gevonden worden in het design want de *spudcan* lijkt een rok te hebben. Dit design heeft enkele voordelen, zo zal het de (effectieve) mate van penetratie verhogen. Dit heeft dan weer enkele voordelen die in hoofdstuk 9 besproken worden. Daarnaast verlaagt het de kans op *scouring* (zie 8.1.4) en op het glijden van de *spudcan* in een reeds bestaande voetafdruk (zie 8.1.2) (Kellezi, Koreta, & Sundararajan, 2017).



Figuur 21: Gerokte *spudcan*

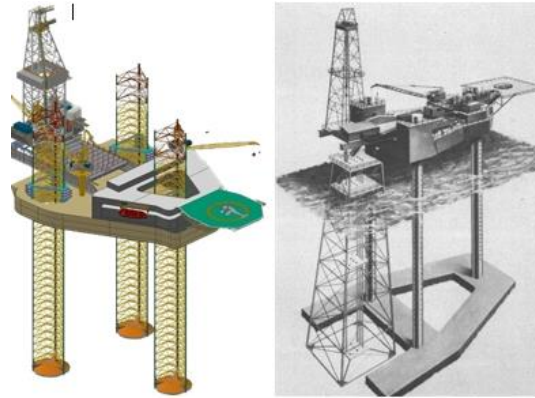
Bron: Kellezi, Koreta, & Sundararajan, (2017)

4.4.5.2 De mat-ondersteunde poten

Een ander design is die van de mat-ondersteunende poten. Hierbij zijn alle poten onderaan bevestigd op een dezelfde stalen plaat of stalen ruimte. Meestal is deze plaat/ruimte zowel vanboven als vanonder plat. Het is deze platte onderkant die rust op de zeebodem. In het geval van een ruimte kan deze gevuld worden met water. Indien ze leeg zijn, geven ze de structuur extra drijfvermogen. Hierdoor kan het zwaardere ladingen vervoeren. Wanneer men de poten naar de bodem laat zakken, worden de ruimten gevuld met water, dit zorgt voor extra stabiliteit (verlagen van GM & zwaartepunt). De mogelijkheid tot het penetreren van de bodem is bij dit design veel minder dan bij de *spudcans*. Voor zachte bodems is dit wel een goed systeem.

De mat-ondersteunde poten hebben hun nadelen. Dit type van ‘schoen’ kan niet gebruikt worden bij zeebodems met een grillig reliëf. De stalen plaat zou zich hier gaan vervormen om te proberen op alle plaatsen de zeebodem te vinden. Om dit tegen te gaan zou de bodemplaat zwaar versterkt moeten worden. Anderzijds kan het niet gebruikt worden boven gebieden met onderwaterstructuren (denk bijvoorbeeld aan pijpleidingen) want dat zou resulteren in schade aan deze structuren.

Ten slotte zijn er extra voorzieningen nodig om de ruimten te vullen en legen van het water, denk maar aan pompen, leidingen en dergelijke. Vandaag de dag worden dit soort ‘schoenen’ niet meer gebruikt (Tirant & Pérol, 1993) (Gerwick, 2007) (Fang, 2013).



Figuur 22: Zelfheffende platform met onafhankelijke poten met spuds (links) en met mat-ondersteunende poten (rechts)

Bron: bewerkt van Drillingformulas.com

4.4.5.3 Zonder ‘schoen’

Als laatste moet vermeld worden dat het niet nodig is om de poten uit te rusten met *spudcans* of een mat. Dit zorgt doorgaans voor een grotere penetratie aangezien de oppervlakte van de ‘schoen’ kleiner is dan bij het gebruik van een *spudcan* of mat-ondersteunde poten. Bij een harde of middelzachte bodem is dit mogelijk. Bij een zachte zeebodem is dit systeem echter niet geprefereerd. Aangezien de penetratie in een zachte bodem groot zijn. Dit kan ervoor zorgen dat de geometrische capaciteiten van de structuur overschreden worden (zie 9.5.2). Men dient wel op te merken dat het enkel cilindervormige poten zijn waar dit design bij gebruikt wordt. Deze lay-out wordt gebruikt bij de poten van de Neptune en de Vagant (royalihc, 2012) (Raymackers, 2013).

5 De verschillende standen van de zelfheffende structuur

De structuur kan zich op verschillende standen bevinden tijdens zijn reis en tijdens de uitvoering van het project. De verschillende standen worden hieronder overlopen (Vikas Suryavanshi, 2011).

5.1 De reis-stand

Voordat men aan de reis begint, moet men eerst een paar dingen controleren. Zo moet men zeker zijn dat de poten voldoende opgetrokken zijn. Het is echter niet nodig dat de poten volledig opgetrokken zijn. Dit kan interessant zijn omdat volledig ingetrokken poten een grote invloed ondervinden van de wind maar door de kracht van de sleep kunnen de poten horizontale buigingsmomenten ondervinden. Te hoog uitstekende poten verhogen het metacenter en verlagen ze de beginstabiliteit van de structuur. Men moet er gewoon zeker zijn dat ze vrij zijn van de zeebodem. Vervolgens moet men zeker zijn dat de romp volledig waterdicht en in staat om te drijven is. Hoe verder de reis hoe meer rekening men moet houden met het weer tijdens hun reis. Alles aan dek zal beter vastgemaakt moeten worden en bij lange reizen kan er geopteerd worden om het platform met een half-afzinkbaar schip te laten vervoeren. Een zelfheffend schip bereidt de zeereis hetzelfde voor als op andere schepen (Vikas Suryavanshi, 2011).

5.2 De ‘aangekomen op de bestemming’-stand

Wanneer de structuur net aangekomen is op de bestemming wordt alles voorbereid op de poten neer te laten. Tijdens de reis kan het zijn dat men wiggen heeft gebruikt om de poten vast te maken, deze dienen dan verwijderd te worden (Tirant & Pérol, 1993). Alle systemen worden opgestart. Men overlegt met de naburige sleepboten over de manoeuvres die ze gaan uitvoeren om de structuur op de juiste plaats te krijgen. Indien de structuur beschikt over een DP systeem kan het zelfstandig op de juiste locatie blijven liggen.

5.3 De voorlaad-stand

Voordat de romp naar boven wordt gehesen moet er op de poten en dus op de bodem reeds een lading worden uitgeoefend die groter is dan het maximale verwachte gewicht dat in operationele modus op de poten uitgeoefend zal worden. Tijdens dit proces bevindt de romp zich dicht tegen het zeeoppervlak. Dit is om ervoor te zorgen dat wanneer één van de poten door de bodem zou zakken, de schade aan de structuur niet te groot is. Men blijft het voorladen uitvoeren totdat de poten gepenetreerd zijn tot een diepte waar ze voldoende weerstand hebben om het gehele project uit te voeren. De mate van het voorladen hangt af van verschillende factoren zoals het design van de *spudcan* en van de omgevingsfactoren zoals de aanwezige bodemsoort. Het personeel op de brug ontvangt een penetratiecurve zodat men kan inschatten hoever men zal penetreren bij een bepaalde voorlading (zie hoofdstuk 9). De mat-ondersteunde poten zullen niet diep in de bodem kunnen penetreren en een korte voorlading volstaat hier dus (Dutton, 2018).

5.4 De operationele-stand

Vanaf dat het voorladen afgerond is, wordt de romp gehesen tot op zijn operationele hoogte. Tijdens dit proces moet alles goed gemonitord worden om zeker te zijn dat geen krachten de ontwerplimieten overschrijden. Zodra het zich op de juiste hoogte bevindt, worden de poten geblokkeerd. Over de procedure die gevolgd wordt tijdens het opkrikken naar de operationele stand wordt verder uitgeweken in hoofdstuk 10.

6 Inspecties

6.1 Algemene inspecties

In de MODU staan enkele inspecties opgelijst in paragraaf 1.6.2.. Deze komen overeen met de verplichte inspecties die aan boord van andere schepen ook plaatsvinden (IMO, 2013). Zo is er op de standaard schepen in de eerste plaats de klasse survey. Hier wordt gekeken of een schip in een bepaalde klasse kan blijven. Men onderscheid drie categorieën van klasse surveys: de regelmatige (zoals *annual*, *intermediate*, *renewal*), de occasionele (na bijvoorbeeld het wisselen van eigenaar of een grote verbouwing) en daarnaast kan men nog kiezen voor een continue survey systeem. Hierbij wordt het schip continue gecontroleerd zodat de andere regelmatige inspecties op willekeurige momenten kunnen plaatsvinden (Heylbroeck, 2019). In de MODU spreekt men enkel van de regelmatige surveys maar het is voor de hand liggend dat ook de andere twee surveys van toepassing zijn op de MODU's (IMO, 2001). Al deze inspecties vinden dus plaats op zowel de zelfheffende platformen als op de zelfheffende schepen. Deze inspecties worden uitgevoerd door classificatie maatschappijen.

Ook zijn de zelfheffende structuren onderhevig aan de eventuele *port state controls* wanneer ze nationale wateren betreden. De *flag state control* voert (of laat uitvoeren) controles uit om te controleren of de schepen voldoen aan de internationale en nationale opgelegde regels. In sommige landen worden deze controles uitbesteed aan classificatie maatschappijen. Zo worden deze controles in Saint Vincent en de Grenadines uitbesteed aan Bureau Veritas (Heylbroeck, 2019) (svg, z.d.).

6.2 Boven water inspecties

Hier worden de poten en de hydraulische of elektrische systemen bedoeld. Op de eerste plaats zijn er de operationele inspecties. Dit zijn visuele inspecties die door de bemanning zelf worden uitgevoerd. Deze worden wekelijks uitgevoerd en maandelijks volgt een uitgebreidere inspectie. Daarnaast zijn er de gedetailleerde inspecties. Deze worden uitgevoerd door de bouwer van de systemen zelf. Jaarlijks komen er dan specialisten aan boord (bij de Neptune waren dit mensen van IHC, zie bijlage 3). Deze mensen maken een volledig rapport op van de slijtage. Zij maken dan eventuele aanpassingen aan het hydraulische of elektrische systeem en stellen alles opnieuw af (DNVGL, 2014). De classificatiemaatschappijen voeren speciale surveys voor de opkriksystemen uit. Hierbij worden de systemen en al zijn nevensystemen goed onderzocht. Deze speciale surveys vinden om de vijf jaar plaats. In de normale gevallen worden alle tandwielkasten (van alle poten) dan onderzocht. Er zijn echter gevallen waarbij de tandwielen in een gesloten systeem zitten. Dit wilt zeggen dat men er niet bij geraakt door enkel een simpele verplaatsbare inspectiecover te verwijderen. In deze gevallen kan er worden afgesproken om enkel het versnelling systeem van één poot te controleren elke vijf jaar. Er kan wel beslist worden om meerdere tandwielkasten te onderzoeken wanneer het systeem het zwaar te verduren had. Wanneer ze kiezen welke versnellingsbak (in het geval dat ze er maar één onderzoeken) ze zullen opendoen houden ze rekening met de voorgaande belastingen (ABS, 2016) (AqualisBraemar, 2019).

6.3 Onderwater inspecties

Onder water bevindt zich een groot deel van de poten en de *spudcans* van de zelfheffende structuren. Het is dus belangrijk dat hier inspecties worden uitgevoerd. De structuur tijdens een droogdok onderzoeken is één manier om deze onderwaterinspectie uit te voeren. Aangezien het vrij duur is om de structuur elke keer naar een droogdok te verplaatsen kan deze inspectie gewoon onder water gedaan worden. Dit gebeurt dan door middel van duikers of met een ROV (*remote operated vehicle*). Tijdens deze inspectie controleren ze voornamelijk de toestand van de poten en *spudcans* en de verbindingen tussen alle onderdelen (Hydrex magazine, 2010). De onderkant van de romp wordt onderzocht wanneer deze opkrikt is. De inspecteurs varen hier dan onder (zo kan de romp ook geschilderd worden).

7 Onderhoud

Net zoals aan boord van andere schepen zullen ook op de zelfheffende structuren de alledaagse onderhoudswerken worden uitgevoerd. Naast het gewoonlijke onderhoud, dat eigen is aan de maritieme wereld en waar hier niet dieper op in gegaan wordt, hebben ze aan boord van deze constructies ook te maken met extra onderhoud van het ophefsysteem. Dit onderhoud wordt hieronder beschreven.

Het onderhoud dat uitgevoerd wordt door de bemanning bestaat vooral uit het smeren van de systemen, het onderhouden van de poten (reinigingswerken) en het uitvoeren van kleine herstellingen. Bij grote herstellingen laten ze externe bedrijven komen (ABS, 2016) (DNVGL, 2014) (Kaushik, 2019) (IMO, 2001) (IMO, 2013).

7.1 Schoonmaken na project

Het proper houden van de poten is in sommige gevallen een tijdrovende klus. Als de poten opgetrokken worden uit een bodem die voornamelijk uit klei bestaat dan zal in het geval van een cilindrische, holle poot (zoals op de Neptune)(royalihc, 2012) deze vol zitten met klei. Dit kan men direct zien aangezien de druk op het systeem groter dan gewoonlijk zal zijn. Dit is in wezen geen probleem, het zal het systeem gewoon trager maken. Wanneer de poten dan volledig opgehaald zijn moet men deze handmatig schoonmaken, dit kan in het slechtste geval enkele dagen in beslag nemen. Soms kan men kiezen om de poten niet volledig op te halen maar een deel ervan onder de romp te laten uitsteken. Men zal vervolgens met lage snelheid naar de volgend stop varen en op deze manier, door de doorstroming van het water door de gaten, de poten vrijmaken van grond residu.

Er zijn echter constructies met cilindrische poten waarvan de gaten volledig afgeschermd zijn (bij de Thor). Er is dus geen doorgang van de buitenkant naar de binnenkant van de poot. Je kan het vergelijken met een vingerhoed waar de pinnen dan ingaan. Bij dit soort poten heb je dus niet het probleem dat de modder of klei in de poot kruipt. Je hebt daarentegen wel een ander probleem. Het kan gebeuren dat deze gaten zich vullen met bodem residu en dat de pin niet meer volledig in het gat kan. Dan stopt het hele systeem en zal dit gat eerst vrijgemaakt moeten worden. Een ander nadeel van deze poten is dat er veel afgesloten ruimten zijn in de poten. Dit maakt het niet gemakkelijk om dit soort poten volledig te inspecteren (ABS, 2016) (DNVGL, 2014) (Kaushik, 2019) (IMO, 2001) (IMO, 2013).

7.2 Corrosie

Ten slotte valt het op te merken dat de poten zelden geschilderd zijn. De romp van schepen worden geschilderd om corrosie tegen te gaan. Men kan zich afvragen waarom dit bij de poten niet gedaan wordt. Bij cilindrische poten is dit niet nodig. Deze zijn gemaakt uit hoog kwalitatief staal en hebben een grote dikte (3 cm bij de Neptune). Daarnaast worden ze telkens schoongemaakt wanneer ze op en neer worden gehaald door hun passage doorheen de ringen. Men merkt bij deze poten soms wel schilderwerk op aan de top van deze poten. Dit heeft echter niets te maken met de strijd tegen corrosie maar dit is slechts een indicatie van de maximale hoogte tot waar de constructie kan opgekrikt worden. Bij de poten met het open kader worden de poten wel beter beschermt tegen de corrosie. Dit komt omdat het oppervlakte dat blootgesteld is aan corrosie vele malen groter is dan dat van de cilindrische poten. Daarnaast is de reinigingscomponent van het tandheugelsysteem (door het op en neer halen) is zo goed als onbestaande. Deze poten en dit systeem zijn brozer dan bij de cilindrische poten en er zullen dus vaker herstellingen en/of vervangingen moeten gebeuren (ABS, 2016) (DNVGL, 2014) (Kaushik, 2019) (IMO, 2001) (IMO, 2013).

8 Risico's

Zelfheffende structuren zijn onderworpen aan verschillende risico's. Deze worden hieronder opgelijst (Tirant & Pérol, 1993) (Sharples, Bennett Jr, & Trickey, 2003) (Fu-Ping, Jinhui, Wen-Gang, & Cun, 2015).

8.1 Gesitueerd onder water

Hieronder worden de verschillende risico's met betrekking op de interactie van de structuur met de zeebodem besproken (Dier, Carroll, & Abolfath, 2004).

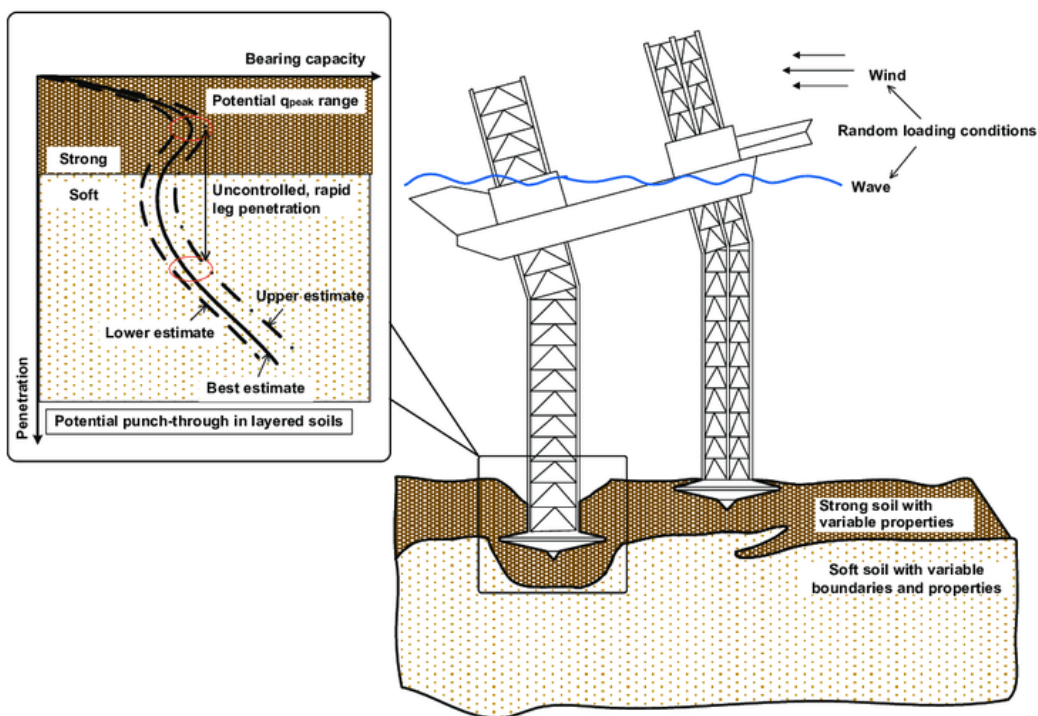
8.1.1 Punchthrough

Dit is een fenomeen dat kan plaatsvinden tijdens het penetreren van een poot in de zeebodem. Het vindt plaats wanneer een relatief sterke bodem boven een zachte bodem ligt. Men oefent druk uit op de bodem en in eerste instantie biedt deze voldoende weerstand. Men denkt dus een goede laag bereikt te hebben. Wanneer er echter meer druk (gewicht) op de poten komt penetreert de poot alsnog deze laag. Aangezien er zich hieronder een zwakke laag bevindt, zal de poot sneller dan normaal de bodem penetreren. In de slechtste gevallen gebeurt dit wanneer men reeds opgekrikt is en zal de structuur inclineren. Dit is een gevaarlijke situatie. Men kan in dit geval proberen de poot zo snel mogelijk dieper te laten penetreren in de hoop een nieuwe sterke bodemlaag te vinden waarop de poot kan steunen om vervolgens de romp terug naar het zeeniveau te laten zakken. In de meeste gevallen ontdekken ze dit tijdens het voorladen. In dit stadium wordt er een grote druk uitgeoefend op de bodem onder de poten. Als men dan door de bodem schiet moet men die poot zo snel mogelijk laten zakken. Dit kan bijvoorbeeld voorvallen wanneer een structuur zich gaat opkrikken in een bestaande voetafdruk van een structuur die in het verleden op dezelfde locatie geweest is. Dit komt omdat elke structuur anders is en ze allemaal met een andere druk op de bodem drukken. Als er op een bepaalde plaats reeds een andere structuur is geweest dan zal de bodem op de plaatsen waar de poten stonden, samengedrukt zijn. Deze plaatsen zullen dus initieel een grotere weerstand bieden dan verwacht op deze plaats. Dit zorgt ervoor dat wanneer een poot zich op exact deze plaats bevindt, er zich een verhoogde kans op een *punchthrough* voordoet.

Om dit te vermijden is het dus belangrijk om goede gegevens van de bodem te hebben. Indien men veel dieper de bodem penetreert dan voorzien was door de berekeningen kan het

aangewezen zijn om nieuwe boringen te doen zodat men de bodemsamenstelling beter in kaart kan brengen. Het is belangrijk dat men het voorladen zo dicht mogelijk tegen het zeeniveau uitvoert. Als er dan een *punchthrough* plaatsvindt zal deze maar minimale schade/ongemak veroorzaken.

Het gebeurt tegenwoordig nog steeds, maar door de uitvoerige testen en onderzoeken die voorafgaand aan een project gedaan worden, kan men hier op voorhand op anticiperen. Op figuur 23 wordt het principe van een *punchthrough* visueel voorgesteld. Het is duidelijk op de foto dat het risico bestaat dat de *spudcan* door de sterke bodemlaag penetreert en dan in de zachtere laag terecht komt en daardoor sneller penetreert tot het moment dat de *spudcan* zich weer op een laag bevindt die voldoende weerstand kan bieden (Tirant & Pérol, 1993) (Sharples e.a., 2003).



Figuur 23: *Punchthrough*

Bron: Fu-Ping e.a. (2015)

8.1.2 De nabijheid van een andere voetafdruk

Dit risico wordt elk jaar groter en groter. Aangezien er steeds meer zelfheffende structuren projecten uitvoeren, worden er steeds meer voetafdrukken achtergelaten op de zeebodem. In 8.1.1 werd het verhoogd risico op *punchthrough*, dat hierdoor veroorzaakt wordt, uitgelegd. Dit is echter niet het enige risico dat hieraan gekoppeld is.

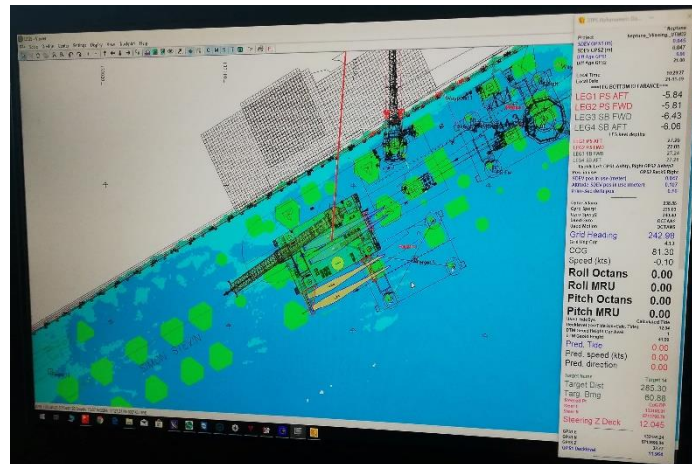
Als een structuur zich wilt opkrikken in de nabijheid van een bestaande voetafdruk dan bestaat het risico dat de poot tijdens het opkrikken in deze voetafdruk schuift. Dit kan tot grote schade aan de poten leiden. Bij het opkrikken verwacht men echter louter een verticale verplaatsing van de *spudcan*, maar wanneer deze in de andere voetafdruk glijdt, ondervinden de poten horizontale verplaatsing. Deze kan resulteren in een blijvende vervorming in de poot. Als gevolg hier van kan het onmogelijk worden om de poten terug op te halen.

Het is dus van groot belang dat men deze situaties probeert te vermijden. Daarom is het belangrijk dat er een nauwkeurig plaatsbepalingssysteem aan boord is. Zo kan men zich precies positioneren en ervoor zorgen dat men de bestaande voetafdrukken vermeden worden.

Men dient op te merken dat in sommige gevallen deze situatie niet vermeden kan worden, denk maar aan het installeren van windmolenparken (weinig speling op de locatie door de beperkte radius van de kraan). In dit geval is het aangewezen een identieke zelfheffende structuur (afmetingen *spudcan*, massa,...) te gebruiken en zich exact in de reeds bestaande voetafdruk op te krikken (Moa, Zhang, Zhang, Duan, & Song, 2015).

Het kan voorkomen dat een voetafdruk na verloop van tijd gevuld wordt door bodemsedimenten. Het risico dat gekoppeld is aan de voetafdrukken blijft dan bestaan maar het is moeilijker om de voetafdrukken op te sporen bij het topografisch onderzoek van de bodem. Het is dus altijd interessant om informatie in te winnen over de historiek (van projecten) van een bepaalde locatie.

Hieronder is een foto te zien van het programma dat DEME aan boord van zijn zelfheffende structuren voorziet. Hierop kan men de reeds bestaande voetafdrukken (groene zones) zien en die zo vermijden.



Figuur 24: Programma van DEME

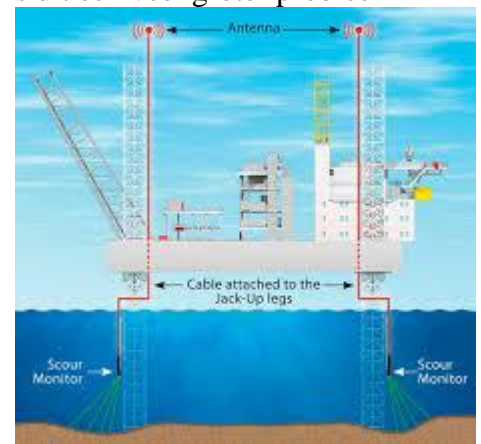
Bron: Eigen werk (2019)

8.1.3 Modderstromen

Modderstromen zijn een fenomeen dat vaak genegeerd wordt door de eigenaars van zelfheffende structuren. Ze kunnen echter tot grote schade leiden. Dit was reeds te zien in 2004 in de Golf van Mexico waar door een modderstroom een platform vernield werd en daardoor kwamen er 700 vaten olie per dag gedurende een decennium in de zee terecht (Casey, 2019). Ze worden veroorzaakt door buitengewoon krachtige natuurfenomenen zoals aardbevingen en orkanen. Deze fenomenen veroorzaken landverschuivingen onder water waardoor er een modderstroom ontstaat onder water. Deze raken dan de poten van de zelfheffende structuren en dat kan resulteren in enorme schade met het eventuele verlies van de structuur als gevolg (MacDonald, 2019).

8.1.4 Scouring

Bij een zeebodem die gemakkelijk erodeerbaar is, zoals zand, en waar sterke stromingen heersen kan dit fenomeen voorkomen (FEMA, 2009). Dit verschijnsel is vooral gekend bij brugpijlers. Het vindt plaats onderaan de poten die in de zandbodem gepenetreerd zijn. Door de stroming worden de kleine zandpartikels weggevoerd en ontstaat er een soort van uitgraving rondom de poot. Vooral in het geval van een kleine penetratie in de bodem kan dit kan leiden tot verzakkingen of het kantelen van poten. Dit heeft dan weer schade aan de poten, het ophefsysteem of de structuur als gevolg. Bij bruggen is dit een veel groter probleem dan bij de zelfheffende structuren. Dit komt omdat het de projecten van de structuren doorgaans kortstondig zijn. Toch moet men voor elk project het mogelijke risico hiervan bestuderen en eventuele maatregelen nemen. Het dumpen van gravel aan de poten bleek in het verleden reeds een goede oplossing. In langlopende projecten kan men een monitor beneden aan de poten plaatsen om de mate van de *scouring* in het oog te houden (Nortek, z.d.). Figuur 25 toont een zelfheffende structuur met een *scour* monitor.



Figuur 25: Zelfheffende structuur met *scour* monitor

Bron: Nortek (z.d.)

8.1.5 Verschuiven van poten

Dit is een probleem dat kan voorvallen wanneer de structuur zich boven een harde zeebodem bevindt en er geen diepe penetratie heeft plaatsgevonden. Onder invloed van hevige meteorologische omstandigheden kan de structuur zich verplaatsen over de zeebodem. Dit kan leiden tot het verwringen van de poten. Deze schade kan nefast zijn wanneer men later de poten terug wilt opkrikken (Fu-Ping e.a., 2015).

8.1.6 Dieper wegzakken door extreme weersomstandigheden

In sommige gevallen kan het fundament onder de poten niet sterk genoeg blijken. Bij een grote storm kunnen de krachten die werken op de structuur groot worden. Als dan het voorlading niet adequaat is uitgevoerd kunnen de poten door hun fundament zakken. Dit gebeurt dus als de stormlading de voorlading overschrijdt (Dier e.a., 2004).

8.2 Gesitueerd boven water

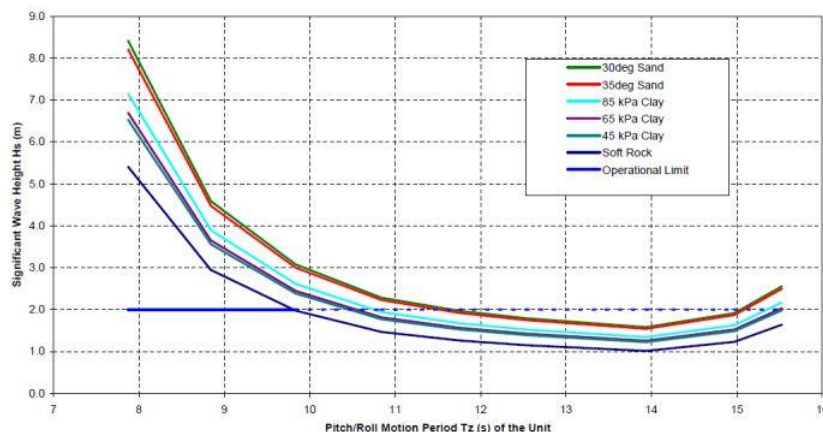
8.2.1 De getijden

Hier moet zeker rekening mee gehouden worden wanneer men het ophefproces plant. Het kan namelijk steeds gebeuren dat het systeem blokkeert tijdens dit proces. Als men begonnen is bij laag water en het systeem is buiten strijd voor een lange tijd waardoor men kan de benen niet meer ophalen, dan loopt men de kans dat het schip overstroomt. Daarom moet men zien dat men het proces steeds begint bij hoog water.

8.2.2 Het weer

Beschikken over de correcte weersvoorspelling is van cruciaal belang aan boord van de zelfheffende structuren. Daarom gebruiken ze meerdere weersvoorspellingen. Ze gebruiken vaak niet enkel voorspellingen maar ook apparaten om de actuele meteorologische omstandigheden te meten. Zo is het bijvoorbeeld niet aan te raden om een ophefoperatie te starten in hevige golven. Wanneer de poten naar beneden gelaten worden, wilt men niet dat het schip of platform begint te rollen of pitchen. Deze bewegingen worden immers doorgegeven aan de poten en die zullen dan beginnen te botsen tegen de ondergrond. Als dit een harde ondergrond is kan het resulteren in trillingen doorheen heel de structuur. Dit kan enorme schade tot gevolg hebben.

Voor elk ophefproces wordt er samengezeten met de kapitein, de klant en de ingenieurs om te beslissen of het wijselijk is de ophefprocedure door te laten gaan. De bouwer voorziet ook een operationele limiet. Dit kan in de vorm een grafiek zijn zoals op figuur 26 (White, 2016).



Figuur 26: Operationele limieten van zelfheffende structuur

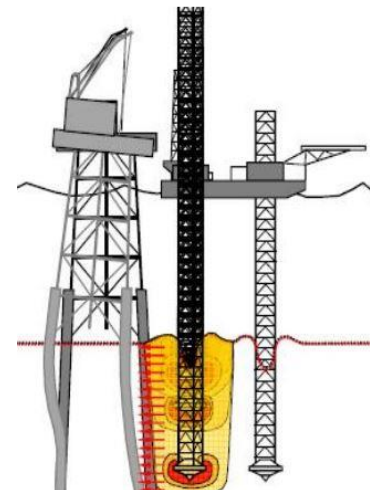
Bron: White (2016)

Als de zelfheffende structuur gebouwd is met een grote kraan aan boord en gebruikt wordt om windmolens te bouwen dan is windsnelheid van groot belang. Het kan gebeuren dat de structuur zich 100 meter in de lucht bevindt. Als men dan de kraan wilt gebruiken moet men er zeker van zijn dat er niet te veel wind staat (limieten van de bouwer). Dit zou anders een negatief effect kunnen hebben op de veiligheid. Zo kan men de kraan aan boord van de Innovation niet gebruiken bij een windsnelheid hoger dan 18 m/s (Crist, z.d.). Om het risico besproken in 8.2.3 te verkleinen is het eveneens belangrijk om een uitgebreide weersvoorspelling te hebben.

8.2.3 Positioneren dicht tegen bestaande structuren

Wanneer men een zelfheffende structuur gebruikt om een windmolenpark te installeren/herstellen of om olie op te pompen via een bestaande structuur, moet men de structuur dicht tegen de windmolen of offshore structuur positioneren. Dit houdt zowel een risico onder als boven water in. Onder water bestaat het risico dat de poten van de zelfheffende structuur de poten van de offshore structuur beïnvloeden. Dit kan leiden tot schade aan de offshore structuur maar kan eveneens het fundament van de zelfheffende structuur aantasten waardoor deze minder stevig in de bodem zal zijn gevestigd (Pedersen, z.d.). Boven water is het natuurlijk vanzelfsprekend dat er geen contact gemaakt wordt met deze windmolens of offshore structuren. Aan boord van de zelfheffende structuur bevinden zich in de meeste gevallen dure onderdelen van de windmolens en deze kunnen niet goed tegen eventuele schokken. Een goed DP systeem hebben is hier dus van groot belang, dit betekent dat er voor deze projecten vaker zelfheffende schepen dan platformen worden ingezet (RenewableUK, 2013).

Er zijn richtlijnen opgesteld over hoe men best op en afvaart wanneer men zich naast een bestaande structuur moet positioneren. Deze richtlijnen geven verschillende situaties en manieren om hier op een veilige manier mee om te gaan. Een bekende richtlijn is de *IMCA guidelines* (IMCA, 2013). Op figuur 27 wordt weergegeven hoe de poten van de zelfheffende structuur invloed kan hebben op de offshore structuur.



Figuur 27: Invloed zelfheffende structuur op naburige poten

Bron: Pedersen (z.d.)

9 Specifieke locatie beoordeling

Voor elk project wordt een beoordeling gedaan. Hierin bekijkt men alle variabele van de locatie waar het project plaatsvindt. Dit kan door de eigenaars (bedrijven) van de zelfheffende structuren zelf gedaan worden of dit kan uitbesteed worden (aan bedrijven zoals DNV GL). Men kijkt hier of een bepaalde structuur in staat is om op deze locatie het project uit te voeren (White, 2016).

Waarom worden specifieke locatie beoordelingen gemaakt? Het antwoord op deze vraag heeft meerdere antwoorden. In de eerste plaats doet men deze beoordeling om de operationele limieten af te toetsen aan de parameters die eigen zijn aan de locatie. Daarnaast is het nodig voor de verzekeraar. Een project kan niet verzekerd worden als er geen beoordeling gedaan is. Het is een belangrijke tool om op voorhand de risico's te bepalen en zo het milieu, de mensenlevens en de structuur zelf te beschermen (White, 2016).

De specifieke locatie beoordeling wordt opgesteld volgens een internationale standaard (ISO/FDIS 19905-1:2012) (ISO, 2016). De basis voor de ISO/FDIS 19905-1 is de SNAME 5-5A. Dit was de internationale standaard voordat die van de ISO bestond (Frieze, Lewis, & Stiff, 2012). In dit gehele hoofdstuk wordt de ISO dan ook als leidraad (White, 2016). Hieronder wordt alles begrijpbaar uitgelegd. Dit wordt gedaan aan de hand van extra bronnen en zelf verworven inzichten. Ze worden verduidelijkt met eigen en externe tekeningen.

Hieronder worden de verschillende stappen die bij een specifieke locatie beoordeling uitgevoerd worden opgelijst.

9.1 Verzamelen van data

Voor men aan de berekeningen kan beginnen dient men natuurlijk eerst alle gegevens de vergaren. Het gaat over verschillende soorten van data die nodig zijn om de beoordeling op een goede manier te voltooien. Vaak zijn er verschillende manieren om aan deze data te komen (ISO, 2016) (White, 2016).

9.1.1 Topografie van de zeebodem

Zoals reeds besproken in hoofdstuk 8 is het belangrijk om over een nauwkeurige bathymetrie (studie van de topografie van de bodem) uit te voeren. Op deze manier kunnen reeds bestaande voetafdrukken worden herkend, maar ook de aanwezigheid van een eventueel reliëf wordt hierbij opgemerkt. Dit is voornamelijk belangrijk bij een zelfheffende structuur met mat-ondersteunende poten, aangezien het voor dit soort structuur onmogelijk is om te werken op een zeebodem die niet vlak (of nagenoeg vlak) is. Ook voor de onafhankelijke poten is dit echter belangrijk. Het blijft steeds mogelijk om het project op een grillige zeebodem uit te voeren, maar men moet wel rekening houden met het diepteverschil wanneer men de poten laat zakken. Men laat dan de poten zakken zodoende dat het diepteverschil gecompenseerd wordt en het platform gewoon mooi horizontaal blijft. Het detecteren van pijpleidingen en wrakken kan men ook op deze manier doen (sommige wrakken zijn niet in kaart gebracht) (Marsahala, 2015) (Bai & Bai, 2019).

Het is belangrijk dat men beschikt over een goed plaatsbepalingssysteem. Op deze manier kan men ervoor zorgen dat de verkregen gegevens van de bodem kunnen toegeschreven worden aan de juiste locaties.

Hieronder worden de meest voorkomende manieren om een bathymetrie op te stellen beschreven (Elhassan, 2015) (Wöfl e.a., 2019).

9.1.1.1 Echo sounder met enkele straal

Het principe hiervan is vrij eenvoudig uit te leggen. Er worden geluidsgolven gegenereerd en uitgezonden vanuit de echosounder. In de meeste gevallen worden de geluidsgolven uitgezonden en de echo hiervan ontvangen door hetzelfde apparaat dan wordt er gesproken over een transducer (deze kunnen ook van elkaar gescheiden zijn). De diepte wordt dan berekend aan de hand van de tijd tussen het uitzenden van het signaal en het ontvangen van de echo. De berekening gaat als volgt:

$$d = 0,5 \times V \times \Delta t$$

met:

- d = de waterdiepte;
- V = de snelheid van het geluid in zeewater (hangt af van het zoutgehalte);
- Δt = de tijd tussen de uitzending van het signaal en de ontvangst van de echo;

Deze berekening gebeurt in de transducer en dit genereert dan de diepte op een bepaalde plaats.

De naam van het systeem maakt al duidelijk dat er maar één verticale puls verstuurd wordt. Daardoor kan er maar een kleine zone van de zeebodem per keer onderzocht worden. De straal kan een grotere breedte hebben maar dit resulteert dan in een slechtere beeldkwaliteit. Hoe smaller de straal, hoe gedetailleerder dat het beeld is maar hoe langer dat het duurt om een bepaalde zone te onderzoeken.

Men kan kiezen voor het gebruik van een hoge of een lage frequentie. Zo zal een lage frequentie dieper doordringen in de bodem maar een lagere resolutie hebben. Een hogere frequentie daarentegen zal dan weer minder diep doordringen maar de resolutie ligt wel hoger. Dit is een afweging die men zal moeten maken en men kan hiermee spelen tijdens het onderzoek.

Het is belangrijk dat men de resultaten corrigeert voor het deinen van het schip aangezien dit zou kunnen leiden tot foute resultaten. Omwille van deze reden is het aangewezen dat de transducer zo dicht mogelijk tegen de middellijn van het schip geplaatst wordt. Daar is de invloed van de bewegingen van het schip minimaal. Daarnaast wordt er getracht de transducer zo ver mogelijk te plaatsen van bronnen van geluid, zoals bijvoorbeeld propellers of motoren. Dit systeem heeft wel enkele nadelen. Zo ontbreken details op het resultaat en kan het een onnauwkeurig beeld van de zeebodem bieden. Daarnaast is het logisch dat het lang zou duren op een groot gebied te onderzoeken op deze manier. Hoe langer iets duurt hoe duurder het wordt. Daarom wordt dit systeem niet vaak meer verkozen boven de volgende systemen (VLIZ, z.d.).

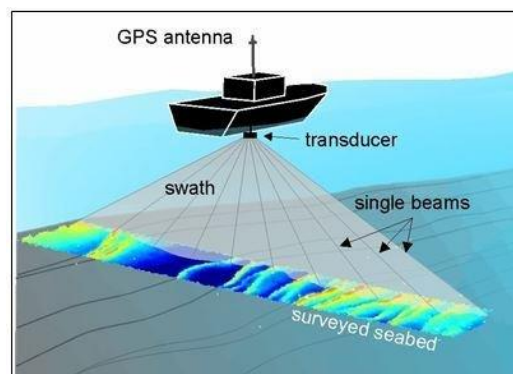
9.1.1.2 Echo sounder met meerdere stralen

De werking hiervan is volledig hetzelfde als de werking van de echo sounder met enkele straal. Het verschil met de echo sounder met enkele straal zit hem vooral in het feit dat deze echosounder meerdere stralen kan uitzenden. Daardoor kan het de diepte berekenen van een volledige rij die loodrecht is aan de vaarrichting van het schip. De lengte van deze rij hangt af van het soort echosounder.

Hier moeten er eveneens correcties voor het rollen, stampen en het gieren uitgevoerd worden. Deze bewegingen kunnen foute resultaten geven qua diepte en locatie.

De morfologie kan met dit systeem primitief onderzocht worden. De hoeveelheid teruggestuurde energie kan iets vertellen over de samenstelling van de bovenste laag van de zeebodem. Zo zullen de harde bodemsoorten minder energie absorberen en zal het verschil met de uitgezonden energie dus kleiner zijn. Voor zachte bodemsoorten telt net het omgekeerde, daar zal er een grote hoeveelheid van de energie geabsorbeerd worden.

Het voordeel van deze echosounder is dat er een groter deel van de zeebodem onderzocht kan worden per keer. Hierdoor duurt het minder lang om een bepaald gebied in kaart te brengen. Dat maakt het dan logischerwijs goedkoper (VLIZ, z.d.). Op figuur 28 is de lay-out van een echo sounder met meerdere stralen aan boord van een schip te zien. Ook de rij die loodrecht is aan de vaarrichting is goed zichtbaar.



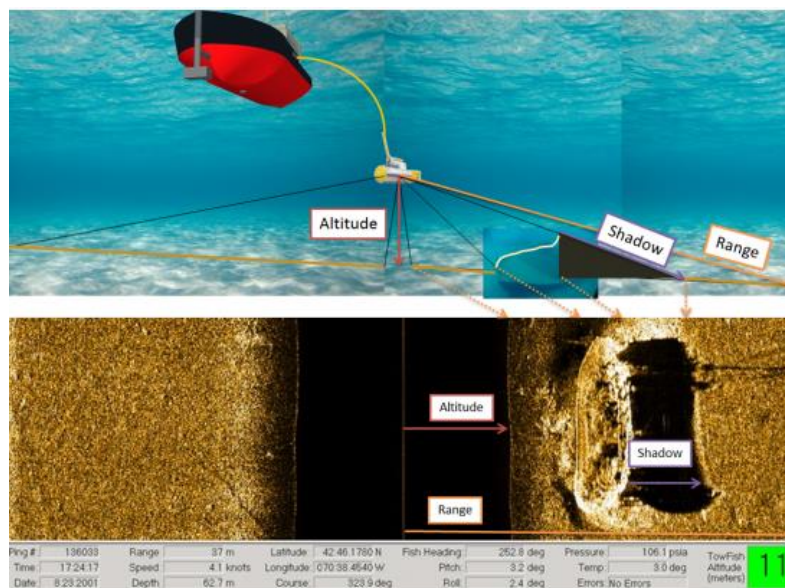
Figuur 28: Echosounder met meerdere stralen

Bron: (Marsahala, 2015)

9.1.1.3 Zij-scan sonar

Hierbij is de sonar niet onderaan de scheepsrump geplaatst. Het geheel bestaat uit een sonarvis waarop twee transducers gemonteerd zijn. Deze twee transducers geven een beeld van de zeebodem loodrecht op de vaarrichting. Deze sonarvis zendt per minuut honderden akoestische golven uit. De transducers zijn geplaatst op de zijkant van de sonarvis. Dit zorgt ervoor dat er op de beelden, die resulteren uit een onderzoek met een zij-scan sonar, er steeds een typische blinde zone zal zijn. Deze blinde zone correspondeert met de zone dat zich recht onder de sonarvis bevindt. De ontvangen gegevens worden door de transmissie kabel, die de sonarvis met het schip verbindt, naar een verwerkingseenheid gestuurd. Deze zet dan de gegevens om in een beeld. Het resultaat van deze sonar is een gedetailleerd beeld van de zeebodem. Hierop kan men goed obstructies onder water herkennen.

Net zoals bij de echo straal met meerdere stralen kan men hiermee vrij simplistisch de samenstelling van de bodem bestuderen. Dit is het resultaat van het verschil in absorptie van energie door verschillende bodemsoorten (Bai & Bai, 2019). Op figuur 29 is bovenaan een visuele voorstelling van hoe een zij-scan sonar gebruikt wordt, te zien. Onderaan wordt het beeld dat verkregen is de zij-scan sonar getoond. Merk de kenmerkende blinde zone op. Daarnaast wordt de schaduw die op zo'n beeld kan verschijnen hier duidelijk afgebeeld. De schaduwzones zijn meestal het gevolg van een grillige zeebodem.



Figuur 29: Zij-scan sonar

Bron: HydroInternational (2016)

9.1.2 Morfologie van de zeebodem

Met de morfologie van de zeebodem wordt de samenstelling van de bodem bedoeld. Dit is wederom belangrijk om te weten voordat men begint aan operaties met zelfheffende structuren. Men onderzoekt de verschillende bodemsoorten, lagen en de afmetingen hiervan. Met de resultaten van dit onderzoek gaat men aan de slag in een programma (dit kan gewoon uitgewerkt zijn in Excel) waarin men alle gegevens invoert zoals de afmetingen en het soortelijk gewicht van de structuur. Op deze manier kan men inschatten wat de penetratie van de poten ongeveer zal zijn. Maar deze berekening wordt in hoofdstuk 9.2 nog uitgebreider geschreven.

De meest voorkomende manieren om de morfologie van de zeebodem te onderzoeken zijn hieronder te vinden (Marsahala, 2015) (Bai & Bai, 2019).

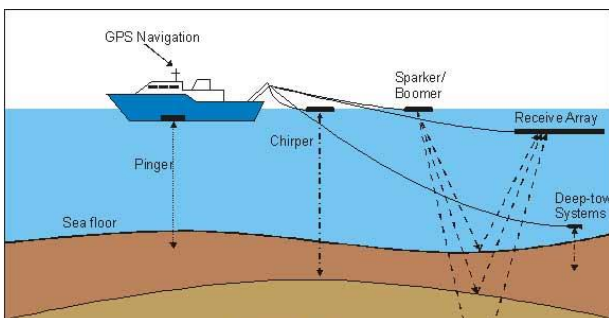
9.1.2.1 Sub-bottom profiler

Dit is een techniek die gebruikt wordt om de verschillende bodemsoorten van de zeebodem te onderzoeken. Er wordt gebruik gemaakt van akoestische golven. Deze worden uitgezonden door een *sparker* en opgevangen door een ontvanger (*receive array*). Indien het uitzenden en ontvangen signaal door eenzelfde apparaat gebeurt spreken we van een transducer. Deze golven worden naar beneden gezonden. Een deel van deze golven zal teruggekaatst worden wanneer ze de zeebodem bereiken. Een ander deel penetreert de zeebodem wel en weerkaatst wanneer ze op een grenslaag van twee verschillende bodemsoorten botst, een deel van de stralen zal bij deze grenslaag nog verder penetreren en eventueel op de volgende grenslaag terugkaatsen, enzovoort. Alle golven die teruggekaatst worden, komen terug in de transducer terecht en met behulp van een software wordt deze informatie omgezet in een beeld. Het geeft een beetje informatie over de aard van de verschillende bodemsoorten. Dit doet het door de uitgezonden energie te vergelijken met de teruggekaatste (net zoals bij de echo stralen). Dit is buiten de boring, één van de meest doeltreffende manieren om 'in de bodem te kijken'. Hier zal men dezelfde afwegingen moeten maken, zoals bij de echo stralen, wanneer men kiest voor een hogere of lagere frequentie.

Deze golven worden uitgezonden terwijl het schip aan het varen is. Ze geven dus als het ware een doorsnede van de bodem van een bepaalde plaats.

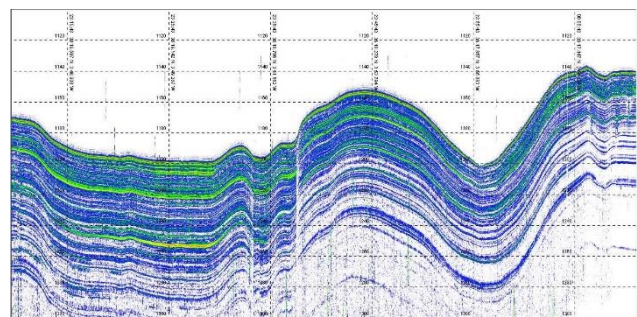
Deze techniek kan wel enkel gebruikt worden bij de bovenste lagen van de zeebodem. Doorgaans bereikt het een diepte van enkele tientallen meters. Dit kan in sommige gevallen te weinig zijn om de totale penetratie van de poten te voorspellen. Daarom kan men ook andere manieren gebruiken (Rui, Changzheng, & Xiaofei, 2018).

Op figuur 30 is een visuele voorstelling van het werkingsprincipe te zien en figuur 31 toont het resultaat van een onderzoek met een *sub-bottom profiler*.



Figuur 30: Visuele voorstelling van *sub-bottom profiler*

Bron: GeoScience Australia (1997)



Figuur 31: Resultaat *sub-bottom profiler*

Bron: Kongsberg (z.d.)

9.1.2.2 Stalen van de zeebodem

Wanneer men over geen data (via voorafgaande projecten) beschikt dan zal men aan de hand van een boring de samenstelling van de bodem onderzoeken. Met een boring kan men de samenstelling tot op een grotere diepte bestuderen. Deze onderzoeken worden meestal uitgevoerd voordat de zelfheffende structuur ter plaatse is, maar in sommige gevallen is dit nog niet gebeurd. In dit geval is het mogelijk op de boringen vanaf de structuur te nemen (dit is enkel mogelijk als de zelfheffende structuren die gebruikt worden een kleine penetratie hebben en daardoor aan een bodemprofiel opgesteld aan de hand van een *sub-bottom profiler* voldoende informatie hebben). Er bestaan vandaag de dag twee manieren om te boren in de zeebodem en stalen te nemen. De eerste manier is de oudste. Hierbij wordt er vanop een schip een boorpijp naar beneden gelaten. Het nadeel hiervan is dat je eerst de diepte van de waterkolom moet overbruggen. Daarnaast zullen de bewegingen van het schip (door de externe krachten die erop werken) invloed hebben op het drillproces en kan het zijn dat het proces onderbroken wordt bij slecht weer (Gatti, 2018). Dit doet men om een zo klein mogelijke afwijking ten opzichte van de realiteit te krijgen. De tweede manier is vrij nieuw. Hierbij maakt men gebruik van een op afstand bestuurbaar drillsysteem (Freudenthal & Wefer, 2013). Het voordeel hiervan is dat de deining geen invloed heeft. Een ander voordeel is het feit dat drillschepen duur zijn en vaak reeds geboekt zijn. Dit op afstand bestuurbaar systeem kan vanop verschillende soorten schepen naar beneden gelaten en bestuurd worden.

Tijdens het boren gebruikt men boorkoppen met een gat in het midden. Op deze manier kan men stalen nemen van de lagen waardin men boort. Deze stalen worden dan later in laboratorium getest op sterkte, samenstelling, weerstand, ... Het is belangrijk voor de representativiteit van deze stalen dat de volledige boring op eenzelfde plaats gedaan wordt. Dit is soms onmogelijk (omwille van obstructies) en dan moet men trachten de verschillende boringen zo dicht mogelijk bij elkaar te doen (Marsahala, 2015) (Bai & Bai, 2019).

Naast de gewone boring kan men ook de kegelpenetratie test doen op de bodem. Dit soort test wordt eveneens uitgevoerd in het labo op de verkregen stalen maar wanneer deze test op grote schaal wordt uitgevoerd (direct op de zeebodem) dan zullen de resultaten veel beter de realiteit weerspiegelen. De test op grote schaal is beter om het effect van de overgangen tussen de verschillende lagen op de penetratie te zien. De laboresultaten zullen wel steeds vergeleken worden met de bevindingen op grote schaal. Met deze test wordt de penetratie

weerstand van de bodem ter hoogte van de tip en de frictie op de huls bestudeerd. Aan de hand van deze gegevens kan men de bodemsoort achterhalen. Een bepaalde weerstand correspondeert met een bepaalde bodemsoort. Bijvoorbeeld wanneer men tijdens de kegelpenetratie test geconfronteerd wordt met een hoge QC (kegelweerstand) en een lage frictie ratio dan weet je dat het zand is. Omgekeerd geldt dat wanneer je een lage QC en een hoge frictie ratio hebt, je te maken hebt met een kleiachtige ondergrond (Ishibashi & Hazarika, 2015).

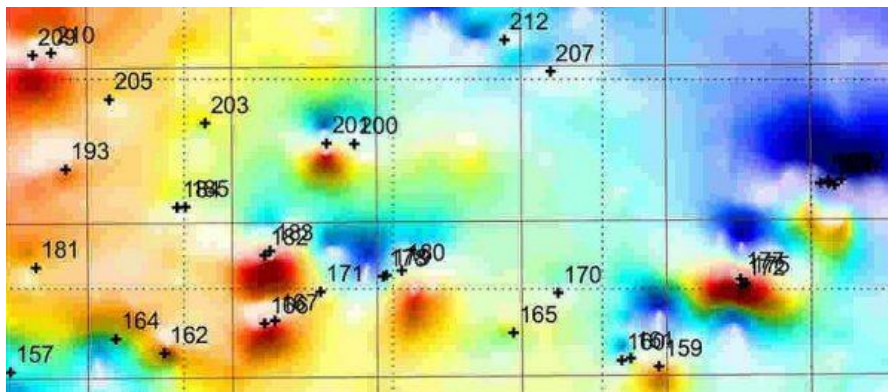
Per locatie dient men minstens één boring te voltooien. Als men reeds over voldoende recente informatie over een bepaalde locatie beschikt, dan is dit echter niet nodig. Het kan gebeuren dat men in de resultaten van de eerste boring een te grote variatie ziet. In dit geval zal men meestal ervoor kiezen om nog meerdere boringen uit te voeren.

Men dient diep genoeg te boren om ervoor te zorgen dat alle bodemsoorten waardoor de *spudcans* zouden kunnen penetreren in kaart gebracht zijn. In de richtlijnen van ABS (ABS, 2017) wordt bijvoorbeeld vermeld dat de diepte van de boring ofwel 30 meter ofwel 1,5 keer de diameter van de *spudcan* opgeteld bij de maximale penetratie van de poten bij het maximale voorladen bedraagt, afhankelijk welk van de twee de grootste is.

9.1.2.3 Magnetometer

Dit toestel kan eveneens gebruikt worden bij het in kaart brengen van de zeebodem. De magnetometer is een apparaat dat gebruikt wordt om variaties in het aardmagnetisch veld te ontdekken. De verhoogde magnetisatie in een bepaalde zone wordt meestal veroorzaakt door de aanwezigheid van ijzerhoudend materiaal. Dit kan interessant zijn om de aanwezigheid van wraken en pijpleidingen in de zeebodem prijs te geven. Dit is interessant voor de opkrikoperatie van de zelfheffende structuren, aangezien het risico bestaat dat wrakken en pijpleidingen die opgeslokt zijn door de bodem niet opgemerkt worden door boringen of door de echo stralen. Ze kunnen echter wel voor grote problemen zorgen als één van de poten

hierop steunt (Gordon, z.d.). Figuur 32 laat zien hoe het resultaat van een onderzoek met een magnetometer eruitziet.



Figuur 32: Resultaat magnetometer

Bron: (Gordon, z.d.)

9.1.3 Data van de zelfheffende structuur

Tijdens het opstellen van een locatie beoordeling moet men ook beschikken over de gegevens van de zelfheffende structuur die gebruikt zal worden tijdens het project. Deze informatie wordt dan aangeboden door de eigenaars van de zelfheffende structuren (als de beoordeling wordt uitgevoerd door een extern bedrijf). Onder deze data wordt het type van zelfheffende structuur, de lengte van de poten, de voorlading capaciteit, eventuele belangrijke aanpassingen, limitaties van de *spudcans*, ... verstaan. Deze gegevens worden verderop in de specifieke locatie beoordeling gebruikt. Naast de karakteristieken van de structuur is het belangrijk dat de huidige toestand van de structuur geweten is. Na verloop van tijd zal de toestand verslechteren en het is belangrijk dat de makers van de beoordeling op de hoogte zijn van de laatste stand van zaken om de capaciteiten van de structuur in te schatten. Voor deze informatie gaat men naar de classificatiemaatschappij (White, 2016) (ISO, 2016).

9.1.4 Project afhankelijke data

Dit is de informatie die verschilt van project tot project. Het gaat over de locatie en datum van het project. Daarnaast kunnen de klanten allerlei zaken kiezen. Ze zijn in staat om de indeling van de structuur te veranderen. Het doel van het schip bij een bepaald project wordt gekozen door de klanten (accommodatie, drillen, onderzoek,...). Al deze gegevens dienen gedeeld te worden met de opstellers van de beoordeling (White, 2016) (ISO, 2016).

9.1.5 Meteorologische en oceanografische data

In hoofdstuk 8 is het al duidelijk geworden dat weerfenomenen een belangrijke invloed kunnen hebben op de projecten. Daarom is het belangrijk dat men deze data op voorhand voldoende in kaart brengt. Er is een hele lijst van data die nodig is bij het opstellen van de beoordeling. Deze lijst is terug te vinden op pagina's 25 tot 27 in de ISO/FDIS 19905-1 (ISO, 2016). De zelfheffende structuur zijn geschiktheid voor een bepaald project moet beoordeeld worden aan de hand van de extreme storm.

Om deze extreme storm te modelleren worden, voor bemane zelfheffende structuren, ofwel de individuele extremen over 50 jaar ofwel de waarden van de gezamenlijke waarschijnlijkheid over 100 jaar gebruikt. Bij de individuele extremen over 50 jaar kijkt men naar een periode van 50 jaar en neemt men uit deze periode afzonderlijk de grootste waarden voor alle meteorologische en oceanografische verschijnselen. Bij de methode van de gezamenlijke waarschijnlijkheid over 100 jaar gaat men iets anders te werk. Hier kijkt men naar de grootste waarde van één van de componenten (wind, golven en stroming) over een periode van 100 jaar en neemt men de waarden van de andere componenten die op dat moment heersten. Dus als men de windcomponent neemt dan kijkt men naar de hoogste waarde die deze component bereikt in 100 jaar en neemt men de waarde van de andere componenten op dat moment. Daarna wordt hetzelfde voor de stromingscomponent en voor de golfcomponent gedaan. Het is dus duidelijk dat alle extreme waarden niet op dezelfde moment plaatsvinden. Bij deze maximale waarden wordt nog een veiligheidsfactor bijgeteld. Deze factor heet de partiële actie factor. De maxima worden hier mee vermenigvuldigd en de verkregen waarden worden afgetoetst aan de mogelijkheden van de zelfheffende structuren (ISO, 2016).

De partiële actie factor van de individuele extremen over 50 jaar bedraagt 1,15 en die van de gezamenlijke waarschijnlijkheid over 100 jaar bedraagt 1,25.

De geschiedenis heeft uitgewezen dat in sommige gebieden deze manier niet volstaat voor de golfcomponent. Bijvoorbeeld in de Noordzee is het gebleken dat de minimale afstand tussen romp en het zeeoppervlak, die berekend wordt door de bovenstaande manieren, soms onvoldoende blijkt. Dit is ernstig aangezien de romp van een zelfheffende structuur niet

gebouwd is om inslagende golven te kunnen weerstaan. In dit geval baseert men de minimale waarde van deze afstand (*airgap*) op de maximale waarde over een periode van 10.000 jaar.

De richting van de wind, stroom, golven kunnen in rekening gebracht worden. Dit mag wel enkel als er betrouwbare gegevens beschikbaar zijn. Aan de hand van deze gegevens kan men de structuur op zo een manier positioneren dat de invloeden van de verschillende componenten minimaal zijn.

Als een zelfheffende structuur maar voor een geringe periode op een bepaalde locatie blijft, is het toegelaten om in plaats van de jaarlijkse gegevens enkel de gegevens van het seizoen waarin het project uitgevoerd zal worden te gebruiken. Dit kan resulteren in minder extreme meteorologische en oceanografische omstandigheden. Hierdoor zullen er minder strenge voorwaarden voor de zelfheffende structuur van kracht zijn.

Hieronder worden de verschillende stappen die doorlopen moeten worden om een goede meteorologische en oceanografische data analyse op te stellen beschreven (Imarest, 2018) (Van Os, Caires, & R.A., 2011).

9.1.5.1 In situ

In de eerste plaats is het belangrijk om data te hebben van de locatie waar het project gaat worden uitgevoerd. Dit kan op verschillende manieren gebeuren. Zo worden satellieten ingeschakeld om data te verzamelen. Ook op boeien die stromings- en golfwaarden opslaan wordt beroep gedaan. Het is natuurlijk hoogst onwaarschijnlijk dat op elke locatie zo'n boeien aanwezig zijn. Om ervoor te zorgen dat men toch accurate gegevens kan verkrijgen van de exacte locatie waar het project zal doorgaan, maakt men gebruik van modellen. Dit zijn computermodellen die aan de hand van data van de boeien en satellieten de meteorologische en oceanografische situatie van een hele regio op elk specifiek moment kunnen weergeven. Doorheen verschillende jaren worden deze gegevens verzameld. En daarmee kan men door naar de volgende stap (Imarest, 2018) (Van Os, Caires, & R.A., 2011).

9.1.5.2 Genereren van data

Het spreekt natuurlijk voor zich dat men geen gegevens heeft van de laatste 100 jaar (laat staan 10.000 jaar). De gegevens waarover men beschikt, dit dient voldoende data te zijn (bij DNVGL gebruiken ze 30 jaar aan data; zie bijlage 5), worden in een software gestoken. Deze

genereert de data voor een periode van 100 en 10.000 jaar (Imarest, 2018) (Van Os, Caires, & R.A., 2011).

9.2 Berekenen van de verticale weerstand (penetratie van de poten) van de zeebodem

Dit is de volgende schakel in het proces. Men gebruikt de resultaten van het bodemonderzoek. Dit kunnen resultaten zijn die reeds beschikbaar waren omdat er op die plaats al projecten met zelfheffende structuren zijn uitgevoerd of dit kunnen nieuwe resultaten zijn die verkregen zijn door de manieren die in hoofdstuk 8 besproken werden.

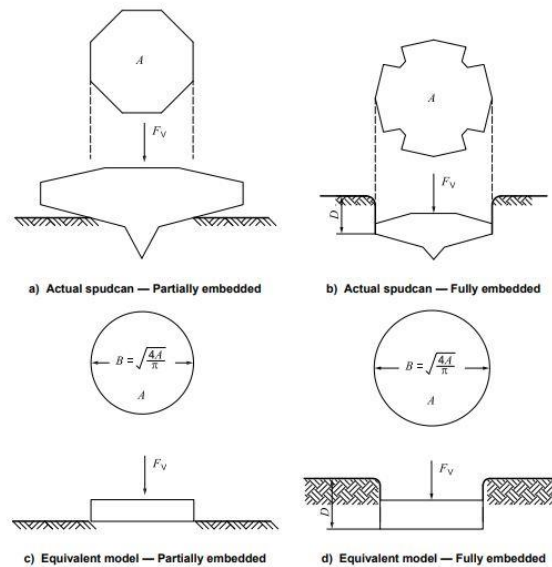
De geotechnische gebruiken een gespecialiseerde software. Deze software genereert dan een *spudcan* penetratie voorspelling. Deze experten kunnen extern zijn of tot hetzelfde bedrijf behoren dat de zelfheffende structuren bezit. Deze software is opgebouwd volgens de internationale standaarden. Om voorspellingen te maken dient men te beschikken over de volgende zaken: de afmetingen van de *spudcan* en een profiel van de zeebodem.

Het opstellen van de curve, die de verhouding geeft tussen de geleverde kracht op de *spudcans*/poten enerzijds en de grootte van de penetratie anderzijds, gebeurt in verschillende stappen. De verschillende stappen worden hieronder opgelijst. Als leidraad hierbij wordt de ISO/FDIS 19905-1 gebruikt (ISO, 2016).

9.2.1 Afmetingen van de *spudcan* bepalen

In de gebruikelijke berekeningen worden de afmetingen van de *spudcans* vaak simplistisch voorgesteld als een ronde schijf. De diameter van deze ronde schijf kan verschillende afmetingen hebben naargelang de mate van penetratie van de *spudcan* in de zeebodem. Wanneer de *spudcan* nog maar gedeeltelijk is gepenetreerd in de zeebodem, correspondeert de diameter met de dwarsdoorsnede van de *spudcan* ter hoogte van de zeebodem. Bij een volledige penetratie is de diameter van de schijf gelijk aan de grootste dwarsdoorsnede van de *spudcan*. Daarnaast wordt er verondersteld dat deze schijf geen flexibiliteit heeft. Dit wil dus zeggen dat men er in de theorie van uitgaat dat de schijf niet vervormt tijdens de penetratie in de bodem en tijdens zijn levensloop. Natuurlijk is dit in de realiteit niet waar. Door de grote druk die via de *spudcans* wordt uitgeoefend op de bodem en de zijdelingse wrijving, kan er wel een kleine vervorming plaatsvinden maar het is theoretisch gemakkelijker om er vanuit te gaan dat dit niet het geval is.

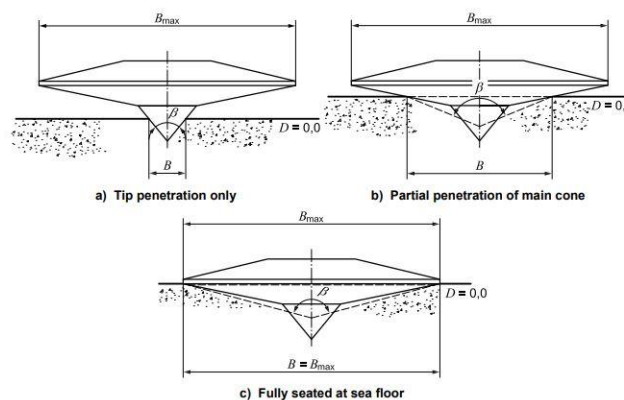
Op figuur 33 is te zien hoe het equivalent model (de schijf) van de *spudcan* wordt opgemaakt. Merk op dat de diameter van de schuif overeenkomt met de breedte van het grootste snijvlak van de *spudcan* met de bodem.



Figuur 33: Equivalent model *spudcan*

Bron: ISO/FDIS 19905-1 (2016)

In sommige formules, tijdens het opstellen van de penetratiecurve, worden er waarden gebruikt die corresponderen met de kegelvormige onderkant van de *spudcan*. Daarom moet men voor elke diepte de effectieve kegelhoek berekenen. Met elke diepte wordt hier de diepte te beginnen bij een penetratie die gelijk is aan nul tot een diepte waarbij de *spudcan* zich volledig onder de zeebodem bevindt bedoelt. Figuur 34 toont hoe de kegelhoek (β) wordt berekend. Het is op deze foto duidelijk dat β groter wordt naarmate de penetratie toeneemt en



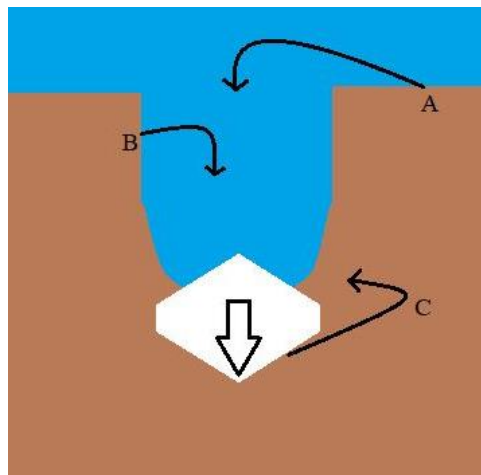
Figuur 34: Kegelhoek van *spudcan*

Bron: ISO/FDIS 19905-1 (2016)

zijn maximale waarde bereikt heeft vanaf het moment dat de grootste breedte van de *spudcan* de bodem heeft gepenetreerd (ISO, 2016).

9.2.2 Het effect van het invallen en terugstromen van bodemsegmenten op de penetratie van de *spudcan*

De druk, die een *spudcan* uitoefent op de bodem, komt niet louter van de lading die de zelfheffende structuur uitoefent. Wanneer de totale druk op de bodem berekend wordt, is er nog een fenomeen dat in kaart gebracht moet worden. Dit fenomeen is het invallen en terugstromen van bodemsegmenten.



Figuur 35: Invallen en terugstroming van bodemsegmenten

Bron: Eigen werk (2020)

Op de foto hierboven is het fenomeen voorgesteld. C correspondeert met het terugstromen van de segmenten en A & B met het invallen. Er zijn dus twee manieren van invallen mogelijk. De eerste manier (A) gebeurt door sedimenten die bovenop de *spudcan* terechtkomen vanaf de bovenkant van de zeebodem. Door stromingen worden deze deeltjes als het ware op de *spudcan* geduwd. De tweede manier (B) gebeurt door het invallen van de wand die gegenereerd is tijdens het penetreren van de zeebodem. Het invallen van de wand gebeurt bij elke bodemsoort anders maar daarover straks meer. Met de pijl bij A doelt men op de sedimenten die bovenop de *spudcan* terechtkomen vanaf de bovenkant van de zeebodem. Door stromingen worden deze deeltjes als het ware op de *spudcan* geduwd.

Het valt vrij simpel uit te leggen waarom dit fenomeen invloed heeft op de penetratie van *spudcan*. Dit komt namelijk door het feit dat deze sedimenten een massa hebben. Het invallen

kan tijdens het penetreren of erna plaatsvinden maar het zal er altijd voor zorgen dat er meer gewicht op de *spudcan* terechtkomt en dit kan leiden tot extra penetratie.

Een neveneffect is dat het resulteert in een grotere opwaartse weerstand bij het opkrikken van de poten.

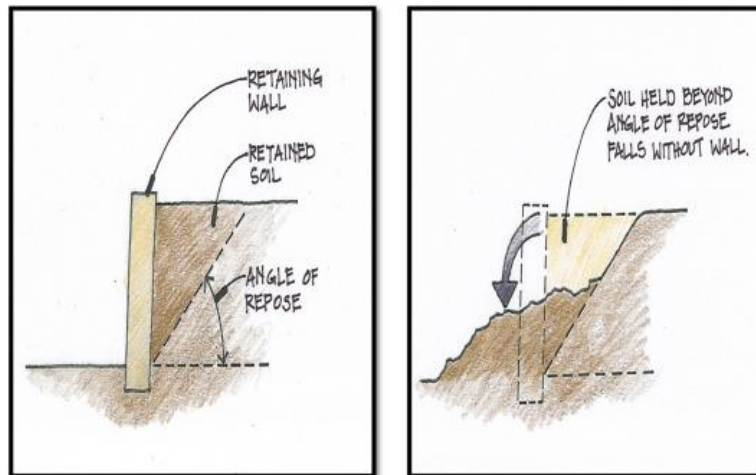
Een onderscheid wordt gemaakt tussen de sedimenten die invallen en terugstromen tijdens het voorladen (waarvan de massa wordt aangeduid met $W_{BF,o}$) en de sedimenten die invallen en terugstromen nadat de maximale voorlading reeds bereikt is (hiervan wordt de massa aangeduid met $W_{BF,A}$). De waarde van $W_{BF,A}$ is onzeker. Daarom wordt de waarde hiervan voorspelt op basis van vroegere ervaringen. De totale massa is simpelweg W_{BF} .

Hierboven werd reeds vermeld dat de manier waarop dit fenomeen plaatsvindt afhangt van de bodemsoort waarin de *spudcan* penetreert. Daarom wordt hieronder het onderscheid tussen een klei- en zandbodem gemaakt (respectievelijk de gedraineerde en ongedraineerde bodem) (ISO, 2016).

9.2.2.1 Invallen en terugstromen in een zandbodem

Het invallen en terugstromen van de bodem worden apart besproken. Als eerste wordt het terugstromen besproken. Bij een pure zandbodem wordt een kleine of zelfs onbestaande terugstroming verwacht. Vergeleken met de hoeveelheid van invallen, zal de invloed van het terugstromen miniem zijn, daarom wordt er geen rekening mee gehouden.

Bij een zandbodem heeft men echter wel te maken met een grote hoeveelheid van sedimenten die invallen op de *spudcan*. Er wordt bij een zandbodem een kleine penetratie verwacht maar indien de *spudcan* toch dieper penetreert dan zijn grootste breedte, begint het invallen van het zand meteen. Deze invalling stopt vanaf het moment dat de hoek van inwendige wrijving (ϕ') bereikt is, dit is de hoek waarbij de weerstand die het zand inwendig ondervindt groter is dan de kracht die het zand laat invallen. De grote van deze hoek hangt van de samenstelling van het zand af. De waarde ervan is te berekenen tijdens het bodemonderzoek. Op figuur 36 is te zien dat vanaf het moment dat de weerstand naast een zandkolom wegvalt, door het penetreren van een *spudcan* in dit geval, het zand zal invallen tot de hoek van inwendige wrijving (*angle of repose*) bereikt is (ISO, 2016) (Al-Hashemi & Al-Amoudi, 2018).



Figuur 36: Hoek van inwendige wrijving

Bron: (Al-Hashemi & Al-Amoudi, 2018)

9.2.2.2 Invallen en terugstroming in een kleibodem

Zachte kleibodems hebben te maken met een bijna volledige terugstroming van de sedimenten. Harde kleien hebben, net zoals bij zand, een bijna onbestaande terugstroming.

Bij kleibodems zal het instorten van de wand pas plaatsvinden vanaf dat een bepaalde diepte bereikt is, de cavitatiediepte (H_{cav}). Wanneer een *spudcan* penetreert in een kleibodem zal er een soort van put ontstaan. Op het moment dat de diepte van deze put de cavitatiediepte bereikt heeft, zal de instabiliteit van de wanden zo groot zijn dat ze invalt. Dit is theoretisch, natuurlijk zal het in de realiteit niet zo zijn dat er absoluut geen instorting is voor dat deze diepte bereikt is. De overgang van geen inval naar wel een inval zal niet zo abrupt gebeuren als men theoretisch veronderstelt. Het kan snel of traag gebeuren, een snelle instorting van de wand zal resulteren in een abrupte stijging van de penetratiediepte. Dit is echter gemakkelijker voor de berekeningen (ISO, 2016).

9.2.2.3 Berekening van de massa van het invallen en terugstromen van de bodem

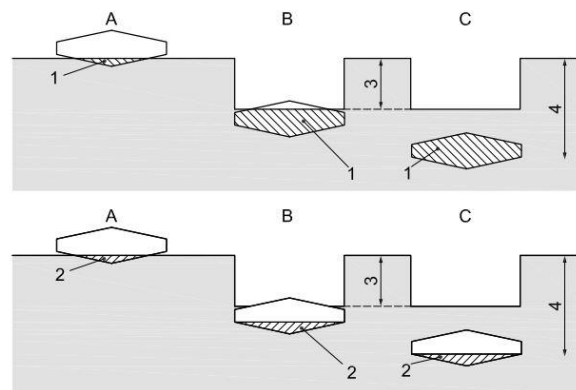
Voor het verdere verloop van het opstellen van de penetratiecurve dient men te beschikken over de massa ($W_{BF,o}$) van de extra bodemsedimenten die op de *spudcan* terechtkomen tijdens het voorladen. De formule ziet er als volgt uit:

$$W_{BF,o} = \gamma' [A(D - H_{cav}) - (V_{spud} - V_D)]$$

In de formule is:

- γ' = het volume gewicht onder water, deze waarde hangt af van het soort van bodem waarin de *spudcan* penetreert. Aan de hand van de kegelpenetratie test bekomt men deze waarde;
- A = de oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de *spudcan* ter hoogte van de grootste breedte (kan voorgesteld worden als een cirkel, zie 9.2.1);
- D = de diepte van de grootste breedte van de *spudcan* ten opzichte van de bovenkant van de zeebodem;
- V_{spud} = het totale volume van de *spudcan* dat zich onder de zeebodem bevindt;
- V_D = Dit is het volume van de *spudcan* onder de grootste breedte dat gepenetreerd is in de bodem

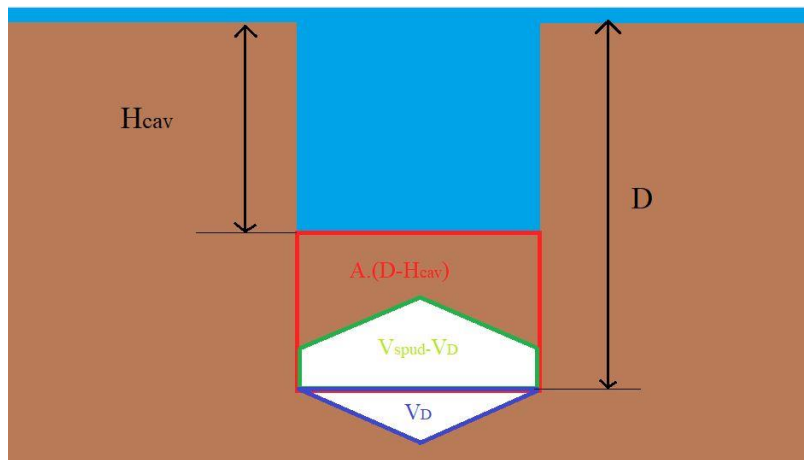
Op figuur 37 wordt het verschil tussen V_D en V_{spud} duidelijk gemaakt. Het cijfer 1 correspondeert met V_{spud} en het cijfer 2 met V_D .



Figuur 37: Verschil tussen V_D en V_{spud}

bron: ISO/FDIS 19905-1 (2016)

Hieronder wordt de formule visueel voorgesteld. Op deze manier is het gemakkelijker te begrijpen waar alle delen van de formule voor staan.



Figuur 38: Visuele voorstelling van de formule die de massa van het invallen en terugstromen berekend

Bron: Eigen werk (2020)

Het berekende volume (tussen de vierkante haakjes) wordt dan nog vermenigvuldigd met de soortelijke massa van de bodem (γ'). Zo verkrijgt men de massa van het invallen en terugstromen van de bodem. In deze formule wordt de cavitatiediepte gebruikt. Deze diepte hangt af van de soort van bodem. Daarom dient de cavitatiediepte steeds berekend te zijn voordat de massa berekend kan worden.

In de eerste plaats is het reeds duidelijk dat de cavitatiediepte voor een zandbodem nul is aangezien het terugstromen onmiddellijk begint nadat de grootste breedte van de *spudcan* in de bodem gepenetreerd is.

Bij een kleibodem dient de H_{cav} geschat te worden aan de hand van onderstaande formules. De eerste formule wordt gebruikt bij kleibodems die bestaan uit één laag van dezelfde soort klei, de tweede formule wordt gebruikt voor kleibodems met meerdere lagen waar er maar kleine veranderingen in sterkte plaatsvinden (vergelijking van Hossain en Randolph) (ISO, 2016).

$$1) H_{cav} = (S^{0,55} - 0,25S) \cdot B$$

$$2) H_{cav} = \left[\left(\frac{su_H}{\gamma' B} \right)^{0,55} - 0,25 \left(\frac{su_H}{\gamma' B} \right) \right] \cdot B$$

met:

- $S = \left(\frac{sum}{B\gamma'} \right)^{(1-\frac{\rho}{\gamma'})}$, Sum is de ongedraineerde schuifsterkte aan de zeebodem (zie 9.2.3.1);
- Su_H is de ongedraineerde schuifsterkte op een diepte (gelijk aan de cavitatie diepte) onder de zeebodem (men neemt de schuifsterkte van op een diepte die men verwacht dicht tegen de cavitatie diepte te liggen);
- ρ is de factor waarmee de ongedraineerde schuifsterkte toeneemt bij toenemende diepte (zie 9.2.3.1);

Nu zijn alle gegevens om WBF te berekenen bekend.

9.2.3 Het berekenen van ‘het maximale bruto verticale draagvermogen’ (Q_v)

Hiermee wordt het maximale draagvermogen, dat de bodem op een bepaalde diepte kan bieden tegen een verticale kracht, bedoeld. Het verticale draagvermogen van de bodem op verschillende diepten dient berekend te worden. Er zijn verschillende formules die gebruikt worden om de waarde van Q_v te berekenen. Deze zijn het resultaat van onderzoeken die doorheen de tijd door verschillende wetenschappers zijn uitgevoerd. Het is belangrijk om te begrijpen dat wanneer men tijdens een bodemonderzoek bijvoorbeeld bepaald dat de zeebodem een kleibodem is, dit niet wilt zeggen dat de klei in deze bodem op elke diepte over dezelfde eigenschappen bevindt. In zo’n kleibodem zullen echter verschillende soorten klei aanwezig zijn. Wanneer deze kleisoorten onderling niet te extreem van eigenschappen verschillen kunnen de formules voor een uniforme kleibodem gebruikt worden. Op die manier is het dan mogelijk om een onder en bovengrens van de penetratiediepte te berekenen. Voor de bovengrens van de penetratie gebruikt men in de formules dan de waarde voor S_u (zie volgend hoofdstuk) van de bodemsoort die de grootste weerstand biedt. Voor de ondergrens wordt net het omgekeerde gedaan. Op deze manier bekomt men dan een ondergrens en bovengrens op de curve (Gourvenec & Cassidy, 2005). Het gemiddelde van deze twee wordt dan eveneens op de curve gezet, hier houdt men rekening met de concentraties van de verschillende bodemsoorten. Hieronder worden enkel de formules voor uniforme klei- en zandbodems besproken. Dit om een idee te geven van de werkwijze. De berekening van Q_v voor een bodem die opgebouwd is uit verschillende lagen behoort niet tot de inhoud van deze thesis (ISO, 2016).

9.2.3.1 Q_v berekenen in een kleibodem

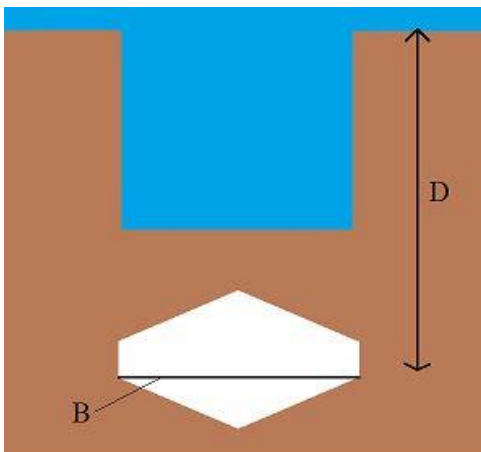
Tijdens het berekenen van Q_v gaat men er altijd van uit dat de kleibodem ongedraineerd is. Een ongedraineerde bodem is een bodem waaruit dat er (op een korte termijn) geen poriewater (water tussen de bodemsedimenten) kan stromen wanneer deze bodem onderhevig is aan een stijgende druk. Met andere woorden zolang de *spudcan* op deze massa aarde duwt. Dit zorgt voor een verhoging van de poriënwaterspanning. Dit is de reden waarom er bij het berekenen van de waarde van Q_v er een andere formules gebruikt worden voor een kleibodem dan voor een zandbodem (gedraineerd, zie 9.2.3.2). Een ongedraineerde bodem heeft andere kenmerken en dus een andere formule (ISO, 2016).

Het berekenen van Q_v in een ongedraineerde bodem (zoals klei) kan gedaan worden aan de hand van de volgende formule:

$$Q_v = (S_u \cdot N_c \cdot S_c \cdot d_c + p'_o) \frac{\pi B^2}{4}$$

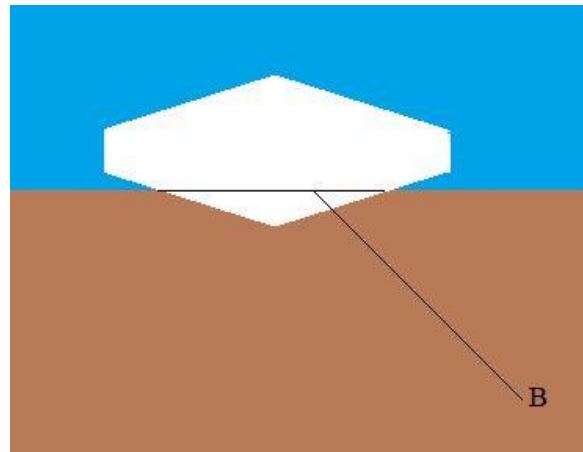
Met:

- p'_o = lithostatische druk. Dit is de druk op een bepaald punt in de bodem door het bovenliggende gesteente en water, wordt berekend tijdens kegel penetratie test;
- d_c = de diepte factor van de draagkracht. Deze waarde stijgt naarmate de *spudcan* dieper in de bodem gepenetreerd is ($d_c = 1 + 0.2 (D/B)$) (B is de diameter van de *spudcan* ter hoogte van de grootste dwarsdoorsnede die in contact is met de bodem en D is de diepte van de grootste dwarsdoorsnede, zie afbeeldingen hieronder);



Figuur 39: *Spudcan* volledig gepenetreerd in zeebodem.

Bron: Eigen werk (2020)



Figuur 40: *Spudcan* deels gepenetreerd

Bron: Eigen werk (2020)

- S_u = ongedraineerde schuifsterkte. Dit is de (interne) weerstand die de bodem kan bieden tegen een vervorming veroorzaakt door afschuiving (de Brito, Dhir, Ciaran, & Rui, 2018);
- N_c = draagkrachtfactor; S_c = draagkracht vorm factor; voor cirkelvormige *spudcans* (daar wordt in deze berekeningen van uitgegaan) neemt men voor het product van N_c en S_c de waarde 6;
- $\frac{\pi B^2}{4}$ (=A) = de oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de *spudcan* ter hoogte van de grootste breedte (wordt voorgesteld als een cirkel, zie 9.2.1);

De waarde van S_u stijgt naarmate de diepte toeneemt. Zo zal de schuifsterkte op de zeebodem minder groot zijn dan de schuifsterkte ter hoogte van de grootste breedte van de *spudcan* (onder voorwaarde dat de *spudcan* volledig gepenetreerd is). Deze toename gebeurt volgens een constante die verschilt van bodemsoort tot bodemsoort. Men kan dus in principe de ongedraineerde schuifsterkte op een bepaalde diepte berekenen door de volgende formule uit te rekenen:

$$S_u = S_{um} + \rho D$$

In deze formule is S_{um} de schuifsterkte op de zeebodem en ρ is de toenemingsfactor waarmee de schuifsterkte verhoogt bij toenemende diepte (verschilt van bodem tot bodem en wordt bepaald aan de hand van de verkregen bodemstalen). D is nog steeds de diepte van de grootste breedte. Men kan de waarde van de schuifsterkte op een bepaalde diepte theoretisch bepalen door bovenstaande formule of door het testen van de bodemstalen in het laboratorium. Het valt in de basisformule dus eenvoudig te zien dat hoe dieper de *spudcan* zich in de zeebodem bevindt hoe groter de waarde van Q_v zal zijn.

Met de totale draagfactor wordt het product van N_c , S_c en d_c bedoeld. Deze draagfactor is theoretisch bepaald en in tabellen opgelijst. In de ISO worden er twee verschillende tabellen gebruikt voor het bepalen van de totale draagfactor in een kleibodem.

Eenzijds bestaat er een tabel voor cirkelvormige *spudcans* met een kegelvormige onderkant die opgesteld is door Houlsby en Martin. In bijlage 1 is een voorbeeld van zo'n tabel te zien. Om de waarde te kunnen aflezen dient men eerst te beschikken over de kegelhoek (β), hoe deze berekend wordt kan bekeken worden in hoofdstuk 9.2.1. Daarnaast heeft men de verhouding tussen de diepte van de maximale breedte en de effectieve breedte nodig (D/B) in combinatie met het resultaat van onderstaande formule.

$$\rho B / S_{um}$$

De betekenis van al deze symbolen zijn hierboven reeds uitgelegd. Ten slotte dient men de ruwheidsfactor (a) van de *spudcan* te weten, deze kan bepaald worden aan de hand van de volgende formule:

$$a = a_u / S_u$$

Hoe men S_u kan berekenen is hierboven reeds uitgelegd. a_u wordt gedefinieerd als de maximale schuifspanning die gevormd kan worden aan de oppervlakte van het kegelvormige

deel van de *spudcan*. De waarde van a_u is een eigenschap van de *spudcan* en is dus op voorhand geweten.

Anderzijds is er een tabel te vinden die opgesteld is voor ruwe cirkelvormige *spudcans*. In deze tabel kan men via de waarde van D/B , de waarde van de totale draagfactor vinden. Het is belangrijk te vermelden dat deze tabel met minder factoren rekening houdt (zoals de mate van ruwheid) en dat de tabel daarom minder nauwkeurig is. Deze tabel is daarom van minder belang dan de tabel in bijlage 1 (ISO, 2016).

9.2.3.2 Q_v berekenen in een silica zandbodem

Bij zandbodems gaat men in de berekeningen ervan uit dat de bodem gedraineerd is. Dit wil zeggen dat wanneer er een stijging in lading op een stuk bodem plaatsvindt, het poriewater er wel kan uitstromen. Het berekenen van Q_v in een gedraineerde bodem (zoals zand) gebeurt aan de hand van onderstaande formule:

$$Q_v = \gamma' d_\gamma N_\gamma \frac{\pi B^3}{8} + p' o \cdot d_q N_q \frac{\pi B^2}{4}$$

Met:

- d_γ = de aanvullende diepte factor bij gedraineerde bodems, $d_\gamma = 1$;
- d_q = de diepte factor van een gedraineerde bodem;
 $d_q = 1 + 2 \tan \phi' (1 - \sin \phi')^{2 \tan^{-1}(D/B)}$. In deze formule staat nog één symbool dat nog niet besproken is namelijk " ϕ' ". Dit is de hoek van inwendige wrijving (zie 9.2.2.1), in een pure kleibodem (ongedraineerd) is de deze hoek gelijk aan 0° . Dit verklaard het feit dat dit symbool niet te vinden is in de formule voor gedraineerde bodems;
- N_γ en N_q zijn de draagvermogens factoren. Dit zijn dimensieloze getallen. De waarden voor deze getallen worden uit tabellen gehaald. Deze tabellen zijn in bijlage 2 terug te vinden ;

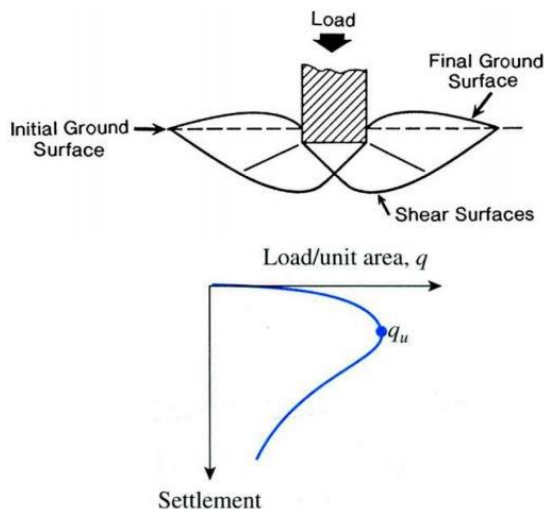
De waarden van N_γ en N_q worden dus verkregen via een tabel. De eerste tabel (Martin) geeft de waarden van deze dragende factoren voor vlakke, ruwe, cirkelvormige *spudcans*. Men kan de waarde aflezen aan de hand van de hoek van inwendige wrijving. Er bestaan tabellen die een meer gedetailleerde waarde voor N_γ geven (zie bijlage 2). In deze tabellen maakt men een onderscheid aan de hand van de kegelhoek (β) en dient men de ruwheidscoëfficiënt (α) van de

spudcan te kennen om de waarden van N_γ te kunnen aflezen. De ruwheidscoëfficiënt is een waarde die eigen is aan de *spudcan* en dus op voorhand geweten is (ISO, 2016).

9.2.3.3 Bodem die bestaat uit verschillende lagen

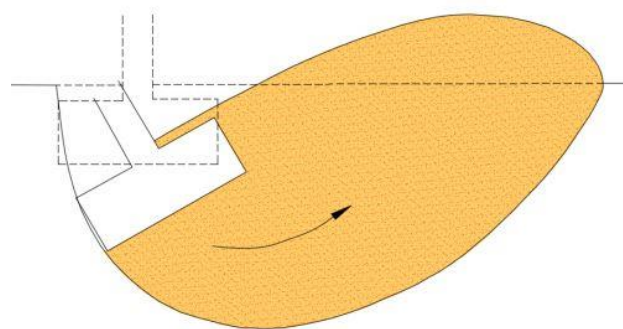
Zoals hierboven reeds vermeld is, horen de formules om Q_v voor een bodem met verschillende lagen te berekenen niet tot de inhoud van deze thesis. De formules voor een pure zand en kleibodem zijn wel volledig uitgelegd zodat er een duidelijk beeld gevormd wordt van hoe men een penetratiecurve opstelt. Bij een bodem met verschillende lagen, die verschillende sterkten hebben, moet er voor de berekening van Q_v rekening gehouden worden met drie verschijnselen.

Als eerste is er de faling van de algemene schuifsterkte. Dit vindt plaats wanneer de afschuifkrachten die uitgeoefend worden op de bodem de schuifweerstand van de bodem overschrijdt. Dit heeft een totale breuk van de onderliggende bodem als gevolg. Dit falen wordt gekenmerkt door de ophoping van de zeebodem langs beide (in laboratorium) of langs één kant (in de realiteit vaker het geval) van de *spudcan*. Op de foto's hieronder worden de typische ophoping en de manier waarop dit fenomeen eruitziet op de uitgeoefende lading versus penetratie diagram (links) en de wijze waarop dit fenomeen zich vaak in de realiteit voordoet (rechts) getoond (Al-Agha, 2015).



Figuur 41: Theoretisch gevolg en curve van de faling van de algemene afschuifsterkte

Bron: (Al-Agha, 2015)



Figuur 42: Faling van de bodem in de realiteit

Bron: (Al-Agha, 2015)

Dit fenomeen komt voor als de verschillende lagen van de bodem niet hard verschillen van sterkte. Bijgevolg kan men, bij het berekenen van de Q_v van de bodem, gebruikmaken van een gemiddelde waarde voor de sterkte van de bodem (S_u of ϕ). Deze gemiddelde waarde kan dan gewoon gebruikt worden in één van de hierboven (in 9.2.2.1 & 9.2.2.2) reeds besproken formules. Welke formule gebruikt moet worden hangt af van het feit of de bodem gedraineerd of niet is.

Als tweede fenomeen is er het persen van de klei. Dit fenomeen zal plaatsvinden in een zachte kleilaag op het moment dat de *spudcan* zich dichtbij een harde kleilaag bevindt. Het knijpen van klei wordt gekenmerkt door een laterale beweging van de zachte klei. Men kan het eigenlijk het best vergelijken met een persoon die plasticine (zachte klei) in zijn hand houdt en dan deze balt tot een vuist. Door te toenemende druk zal de plasticine langs de vingers ontsnappen. Hetzelfde gebeurt onder de *spudcan*. De druk in de zachte kleilaag zal toenemen doordat de *spudcan* dichterbij de harde kleilaag terechtkomt. Hierdoor zal de zachte klei lateraal langsheen de *spudcan* ontsnappen. Dit fenomeen heeft invloed op de waarde van Q_v van een bodem. Dit heeft als gevolg dat er in de ISO een andere formule wordt voorgeschreven die gebruikt dient te worden in bodems waar dit fenomeen kan voorkomt (Ullah, Stanier, Hu, & White, 2017).

Als derde en laatste fenomeen is er de *punchthrough*, dit verschijnsel werd reeds besproken in hoofdstuk 8.1.1. Voor dit fenomeen worden er in de ISO verschillende formules gegeven om Q_v te berekenen. Het verschil bij deze formules zit in het feit dat een *punchthrough* kan plaatsvinden bij de scheidingslijn tussen verschillende bodemsoorten. De enigste vereiste is dat er een harde laag boven een zachte laag gelegen is. Zo wordt er in de ISO een formule gegeven voor een bodem waar de *punchthrough* plaatsvindt bij de scheidingslijn van een zand en kleibodem, een andere wordt gegeven voor de scheidingslijn tussen een zachte en hard kleibodem. Deze formules verschillen van elkaar omdat de waarde van Q_v verschilt wanneer de bodemsoorten die leiden tot de *punchthrough* verschillen (ISO, 2016).

9.2.4 Omzetten van ‘het maximale bruto draagvermogen’ naar ‘de beschikbare structurele spudcan reactie (VL)’

Op de penetratiecurve wilt men eenvoudig kunnen aflezen hoe diep de *spudcan* theoretisch zal penetreren bij het uitoefenen van een bepaalde lading. Deze lading is de beschikbare structurele *spudcan* reactie. Om de beschikbare structurele *spudcan* reactie te berekenen wordt van het maximale bruto draagvermogen de accumulatie van het invallen en de terugstroming van de bodem (W_{BF}) (indien van toepassing) afgetrokken en het ondergedompeld gewicht van de bodemsedimenten die verplaatst zijn door dat deel van de *spudcan* dat zich (onder de bodem) onder de grootste dwarsdoorsnede bevindt (B_s) bijgeteld. B_s is dus eigenlijk het gewicht van de aarde die weggeduwd is door de punt van de *spudcan* (V_D , zie 9.2.2.3). Als de *spudcan* geen punt heeft, is B_s gelijk aan 0.

In formules ziet dat er als volgt uit:

$$V_L = Q_v + B_s \text{ (zonder invallen en terugstroming)}$$

$$V_L = Q_v - W_{BF} + B_s \text{ (met invallen en terugstroming)}$$

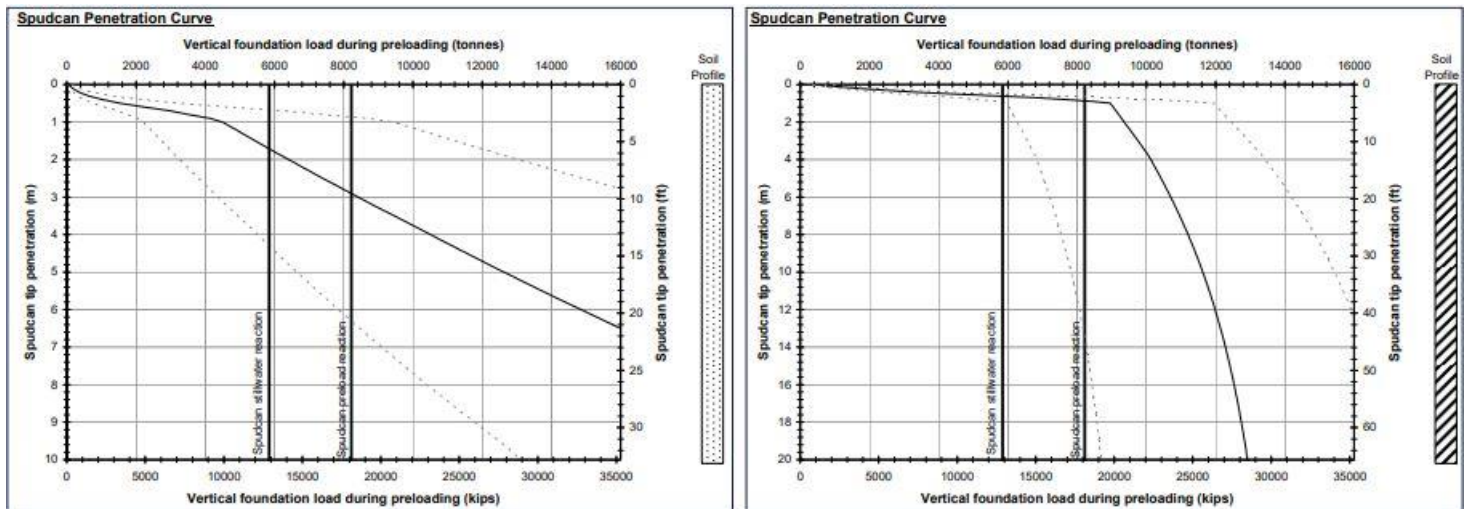
Met:

$$- B_s = \gamma' V_D$$

De waarde van Q_v werd berekend voor verschillende diepten. Er wordt steeds per diepte een onder en bovengrens berekend. Aan de hand van bovenstaande formules is het dan mogelijk om de beschikbare structurele *spudcan* reactie voor verschillende diepten te berekenen (ISO, 2016).

9.2.5 De penetratiecurve

Door bovenstaande berekeningen beschikt men nu over alle nodige informatie om een penetratiecurve op te stellen. Op de x-as wordt de beschikbare structurele *spudcan* reactie in ton, newton of kip weergegeven. Op de y-as is het mogelijk om de penetratiediepte af te lezen. Hieronder zijn enkele voorbeelden te vinden en wordt er uitgelegd hoe de penetratiecurve afgelezen wordt.



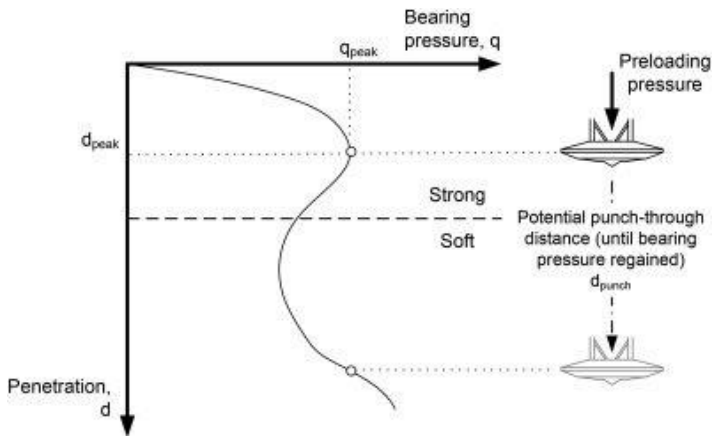
Figuur 43: Penetratiecurves

Bron: White (2016)

De bovenstaande penetratiecurves corresponderen beide met een bodem die opgebouwd is uit één dezelfde bodemsoort. Links is de penetratiecurve van een zandbodem en rechts die van een kleibodem te zien

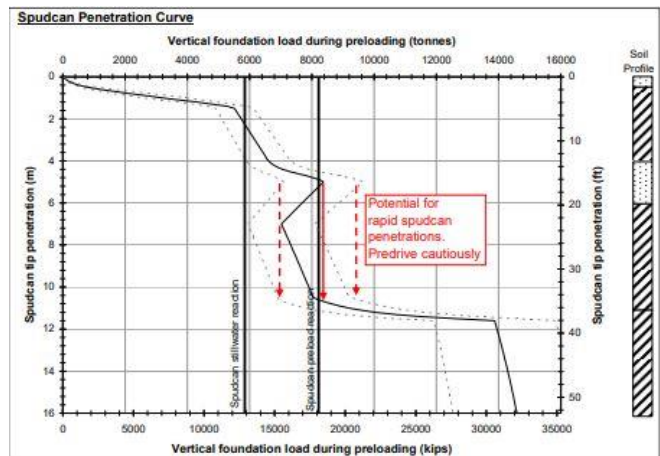
Bij deze penetratiecurves is er niets speciaals aan de hand. Ze zijn heel gemakkelijk te interpreteren en te gebruiken. Op de X-as wordt de curve betreden met de lading die uitgeoefend wordt op één poot. Op de y-as valt dan af te lezen hoe diep de poot zal penetreren in de bodem. Er zijn drie grafieken te zien, de vetgedrukte is de gemiddelde penetratie en de stippellijnen duiden de onder en bovengrens aan. In het interview met Hayward M. van DNV-GL (zie bijlage 5) vertelde hij dat er vanuit gegaan wordt dat deze onder en bovengrens niet bereikt zullen worden maar dat men er niet 100% zeker van kan zijn. Men dient er dus wel rekening mee te houden. De verticale lijnen duiden de lading aan bij stilstaand water (links) en de lading die uitgeoefend wordt tijdens het voorladen.

Op de linker curve is te zien dat bij voorladen van ongeveer 8100 ton een gemiddelde penetratie van ongeveer drie meter verwacht mag worden. De diepste penetratie (ondergrens) die bij deze lading verwacht mag worden is ongeveer 6,1 meter en de meest ondiepe penetratie bevindt zich rond de één meter. Je kan opmerken dat deze waarden ver uit elkaar liggen en je kan dus besluiten dat deze zandbodem bestaat uit een zandsoort waarvan de sterkte toch nog sterk verschilt op de verschillende diepten.



Figuur 44: Theoretische presentatie van *punchthrough* op een penetratiecurve

Bron: Cassidy, Jinhui, Hu, & Lacasse (2015)



Figuur 45: Penetratiecurve met risico op *punchthrough*

Bron: Cassidy, Jinhui, Hu, & Lacasse (2015)

Op bovenstaande foto's is duidelijk een risico op *punchthrough* te zien. Op figuur 44 wordt er theoretisch weergegeven hoe een *punchthrough* op een penetratiecurve te zien is. Bij de scheidingslijn van twee verschillende bodemsoorten, waarvan de bovenste een sterke en de onderste een zwakke laag is, is te zien dat de grafiek, nadat deze eerst weg van de y-as beweegt, terug naar de y-as beweegt. Dit wil zeggen dat wanneer er een lading van q_{peak} uitgeoefend wordt op de bodem, de *spudcan* sneller gaan penetreren. Dit komt doordat de zwakke bodemlaag op deze diepte niet in staat is om voldoende weerstand te bieden tegen de uitgeoefende lading. De *spudcan* zal blijven penetreren totdat er een bodemlaag bereikt wordt die voldoende weerstand kan bieden. Op de curve is dit het punt waarop de verticale rechte die vertrekt vanuit het q_{peak} punt op de x-as en loodrecht naar beneden loopt terug snijdt met de grafiek. Op de rechtse grafiek is duidelijk, door middel van de rode pijl, aangeduid hoe diep de *spudcan* aan een verhoogde snelheid zal penetreren (ISO, 2016).

9.3 De horizontale weerstand van de zeebodem

Er is reeds geschreven over de verticale weerstand van de zeebodem (zie 9.2), maar de bodem biedt ook weerstand tegen horizontale krachten. De zelfheffende structuren zijn onderhevig aan constante horizontale krachten, denk maar aan stroming en wind. Doordat de poten gepenetreerd zijn in de bodem worden deze krachten tegengewerkt door de horizontale weerstand van de bodem. Moest de zeebodem niet in staat zijn om deze horizontale krachten tegen te werken dan zou de zelfheffende structuur horizontaal verplaatsen en dat zou nefast zijn voor de projecten waarmee de structuren bezig zijn.

De mate van horizontale weerstand zal variëren bij verschillende bodemsoorten en bij verschillende verticale weerstanden (dus verschilt van diepte tot diepte). In het kader van de specifieke locatie beoordeling dient de horizontale weerstand berekend te worden. Deze waarde is van belang bij het testen van de fundatie van de poten (zie 9.5.1.1).

Net zoals bij de verticale weerstand zijn er verschillende formules voor zand en kleibodems. Deze formules worden vermeld in de ISO/FDIS 19905 (ISO, 2016).

9.3.1 De horizontale weerstand in een kleibodem

De horizontale weerstand van de zeebodem (Q_H) van een kleibodem wordt gevonden aan de hand van onderstaande formule:

$$Q_H = C_H \left(Q_V - p'_o \frac{\pi B^2}{4} \right)$$

In deze formule is:

- Q_V , p'_o en $\frac{\pi B^2}{4}$ (=A) zijn reeds uitgelegd in de voorgaande hoofdstukken;
- C_H is de horizontale capaciteitscoëfficiënt. Hiervoor geldt:

$$C_H = C_{H\text{diep}} + (C_{H\text{diep}} - C_{H\text{diep}}) D/B \quad \text{Als } D < B$$

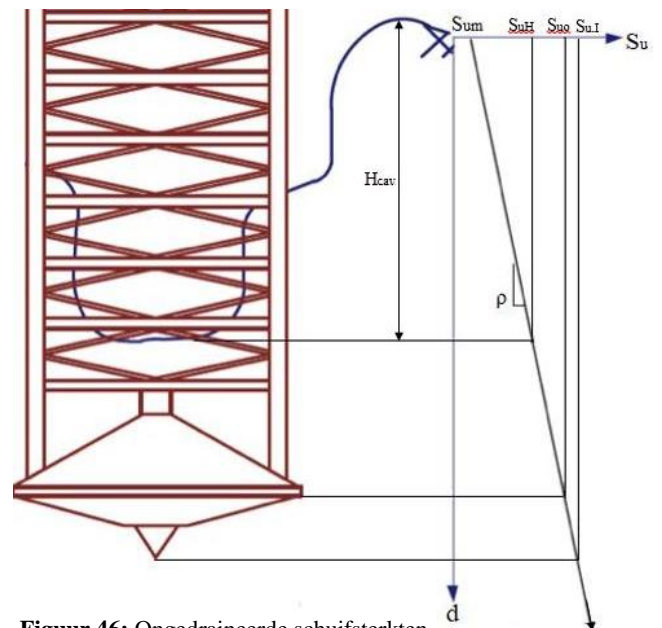
$$C_H = C_{H\text{diep}} \quad \text{Als } D \geq B;$$

Met:

- $C_{H\text{diep}} = \frac{s_{uo} A + (s_{uo} + s_{u,l}) A s}{Q_V - p'_o \frac{\pi B^2}{4}};$
- $C_{H\text{diep}} = \left(1 + \frac{s_{u,a}}{s_{uo}} \right) \left(0,11 + 0,39 \frac{A s}{A} \right);$

In deze formules staan een paar onbekende symbolen:

- $s_{u,0}$, $s_{u,a}$ en $s_{u,l}$ zijn allemaal ongedraineerde schuifsterkten maar gemeten op een andere diepte. Zo is $s_{u,0}$ de schuifsterkte van de bodem ter hoogte van de diepte van de maximale breedte. $s_{u,a}$ is dan weer de schuifsterkte van de bodemsedimenten die zijn ingevallen bovenop de *spudcan* (zie 9.2.2.2). Ten slotte is er nog $s_{u,l}$ en dit is de ongedraineerde schuifsterkte op de diepte waar de tip van de *spudcan* (indien aanwezig, bij een cilindervormige *spudcan* met een vlakke onderkant is $s_{u,l}$ gelijk aan $s_{u,0}$). Op de afbeelding hiernaast worden de verschillende ongedraineerde schuifsterkten schematisch weergegeven (Dirkzwager, 2017);



Figuur 46: Ongedraineerde schuifsterkten

Bron: Eigen bewerking van Dirkzwager (2017)

- A_s is dan nog het enige symbool dat niet verklaard is. Waar A de oppervlakte van de grootste breedte van de *spudcan* is, is A_s de oppervlakte van de doorsnede van de *spudcan* die in contact staat met de zeebodem (de oppervlakte berekend met diameter B , zie 9.2.3.1). Deze waarde neemt toe zolang de grootste breedte van de *spudcan* nog niet gepenetreerd is. Vanaf het moment dat de grootste breedte gepenetreerd is, is A_s gelijk aan A (ISO, 2016).

9.3.2 De horizontale weerstand in een zandbodem

De formule voor de horizontale weerstand in een zandbodem is opgesteld als volgt:

$$Q_H = 0,12 \left(Q_V - p'_o \frac{\pi B^2}{4} \right)$$

Alle symbolen van deze formule zijn reeds uitgelegd in de bovenstaande hoofdstukken (ISO, 2016).

9.4 De weerstand van de zeebodem tegen het glijden van de spudcan

Naast de horizontale en verticale weerstand dient men tijdens het opstellen van een specifieke beoordeling te beschikken over de capaciteit van de bodem tegen het wegglijden van de *spudcan* (Q_{HS}). Bij een kleibodem is er doorgaans genoeg horizontale weerstand die de kans op het wegglijden tenietdoet. Bij een zandbodem wordt er echter een kleine penetratie en bijgevolg een kleine horizontale weerstand verwacht. De poot die naar de wind gericht is heeft een kans op wegglijden. Daarom is het belangrijk dat voor de windwaartse poten de capaciteit die de zeebodem kan bieden tegen glijden niet overschreden wordt. De weerstand wordt berekend aan de hand van formules. Er wordt bij deze formules wederom een onderscheid gemaakt tussen klei en zandbodems (ISO, 2016) (Gourvenec & Cassidy, 2005).

9.4.1 De weerstand tegen het glijden van de spudcan in een zandbodem

De formule voor een zandbodem gaat als volgt:

$$Q_{HS} = F_v \tan \delta + 0,5\gamma' (k_p - k_a) (h_1 + h_2) A_s$$

Met:

- F_v is de verticale component (kracht) van de testlading die op het bodem fundament wordt uitgeoefend. De totale testlading is F_d (zie 9.5.1). Er wordt hierbij rekening gehouden met het invallen en terugstromen van de bodem (indien van toepassing) en met B_s (zie 9.2.4);
- δ is de frictiehoek in graden van de staal (van de *spudcan*) – zeebodem interface.
 $\delta = \phi' - 0,5 (\beta - 170^\circ)$, ϕ' en β zijn reeds in vorige hoofdstukken uitgelegd (respectievelijk 9.2.2.1 en 9.2.1) (Al-Mhaidib, 2005);
- k_a is de actieve gronddruk coëfficiënt, $k_a = \tan^2(45 - \frac{\phi'}{2})$;
- k_p is de passieve gronddruk coëfficiënt, $k_p = \frac{1}{k_a}$;
- h_1 is de inbeddingsdiepte van het bovenste punt van de *spudcan*, als de *spudcan* niet volledig geopenetreerd is, is h_1 gelijk aan 0;
- h_2 is de inbeddingsdiepte van de onderste tip van de *spudcan*;
- γ' en A_s zijn reeds verklaard in vorige hoofdstukken;

In de bovenstaande formule wordt het duidelijk dat de vorm van de *spudcan* een rol speelt bij de grootte van de weerstand tegen glijden. Dit valt eenvoudig op te merken in de formule. Zo wordt Q_{HS} groter bij een grotere waarde voor δ . De waarde van δ wordt dan weer groter naarmate de waarde van β afneemt. Dit wilt concreet zeggen dat hoe puntiger de *spudcan* is, hoe groter de weerstand tegen het schijven zal zijn (ISO, 2016).

9.4.2 De weerstand tegen het glijden van de *spudcan* in een kleibodem

Zoals reeds aangehaald is bij een kleibodem de weerstand tegen het glijden hetzelfde als de horizontale weerstand. Dit komt doordat bij een kleibodem de *spudcan* doorgaans diep genoeg penetreert en zo over voldoende horizontale weerstand beschikt die ook de krachten die de *spudcan* doen wegglijden teniet kan doen (ISO, 2016).

9.5 De specifieke geschiktheid controles van de zelfheffende structuur

Nu alle informatie over de locatie en over de zelfheffende structuur geweten zijn wordt er door middel van verschillende checks gecontroleerd of een bepaalde zelfheffende structuur in staat is om het vooraf omschreven project uit te voeren. Deze controles worden uitgevoerd door programma's die alle data verwerken, bij DNV-GL gebruikt men bijvoorbeeld JUSTAS (Hoyle, z.d.) (White, 2016). In deze software worden alle gegevens ingevoerd en dan worden deze gegevens aan elkaar afgetoetst en curves (zoals de penetratiecurve) gegenereerd. Deze resultaten worden dan door personen geïnterpreteerd. Op deze manier wordt dan bepaald of de zelfheffende structuur geschikt is. De controles die uitgevoerd worden, worden hieronder opgesomd (ISO, 2016).

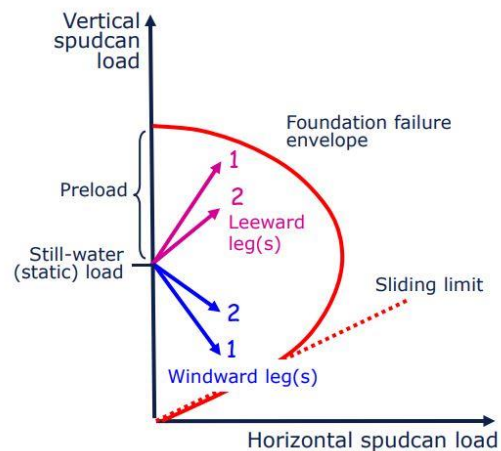
9.5.1 De controle van het bodemfundament

Deze controle zorgt er vaak voor dat een zelfheffende structuur wordt afgekeurd voor een project. Aan de hand van de maximale (theoretische) voorlading wordt gecontroleerd of het bodemfundament in staat is om de extreme stormen te overleven. Eerst wordt er besproken hoe zo'n enveloppe opgesteld wordt en dan erna worden voorbeelden uit de praktijk geïnterpreteerd (ISO, 2016) (White, 2016).

9.5.1.1 Het opstellen van de bodemfundament enveloppe

Nadat de verticale en horizontale weerstand en de weerstand tegen glijden van de bodem berekend is, wordt er een enveloppe opgesteld die het bereik van de capaciteiten van het bodemfundament weergeeft. Deze enveloppe is een halve (bij kleibodem) of een hele parabool (bij een zandbodem). Alle ladingscombinaties (verticale en horizontale krachten) die zich in de enveloppe bevinden kan het bodemfundament weerstaan. De combinaties die zich buiten de enveloppe bevinden resulteren in een falen van het fundament.

Hieronder is een simplistische voorstelling van zo'n enveloppe te vinden. Aan de hand van deze enveloppe wordt uitgelegd wat de verschillende componenten betekenen en hoe ze tot stand komen.



Figuur 47: Enveloppe van het bodemfundament

Bron: White (2016)

Zoals hierboven te zien is wordt op de y-as de verticale lading op de bodem en op de x-as de horizontale lading weergegeven. Dit is een enveloppe van een zandbodem, dit kan je zien doordat het een hele parabool is. De maximale limiet van de zeebodem tegen schuiven wordt weergegeven door de rode stippellijn. De grens van de enveloppe (dus van de capaciteiten van de bodem) wordt weergegeven door de rode volle lijn. Het snijpunt van de enveloppe met de y-as is de maximale (theoretische) voorlading. Aangezien deze enveloppe moet aangeven of de structuur in staat is om extreme stormen te weerstaan wordt de maximale (theoretische) voorlading gebruikt aangezien dit resulteert in een diepere penetratie en daardoor zorgt voor een hogere verticale en horizontale weerstand van de zeebodem. Indien de krachten die op de zeebodem werken zich buiten de enveloppe of rechts van de maximale limiet tegen het schuiven bevinden, zal het fundament van de bodem falen. Dit wilt concreet zeggen dat de *spudcan* zal verplaatsen (horizontaal, verticaal of schuiven). Het punt van waar de vectoren vertrekken is het punt van de statische lading (White, 2016). De statische lading is de lading zonder invloed van meteoceanografische invloeden (dus geen horizontale lading), zonder invloed van eventuele lading, het invallen van de bodem is hier wel bij inbegrepen.

Aangezien dit punt zich op de y-as ligt is het geweten dat de x-coördinaat gelijk is aan 0. De y-coördinaat wordt berekend aan de hand van volgende formule:

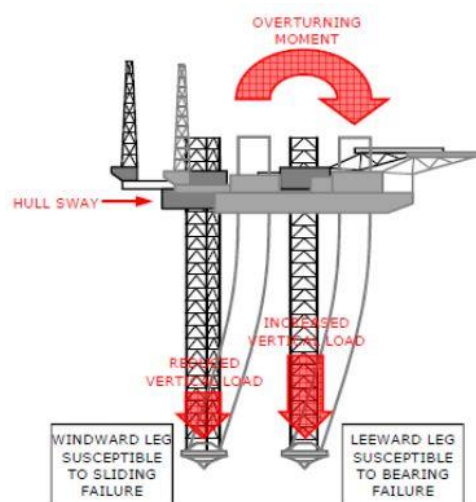
$$0,5 \left(\frac{QV}{\gamma R, VH} \right)$$

Hier is:

- $\gamma R, VH$ de weerstandsfactor van de verticale-horizontale bodemfundament capaciteit. De waarde van deze factor is steeds 1,10 (ISO, 2016).

De reden waarom de enveloppe van een zandbodem een volledige parabool is en die van de kleibodem maar een halve is, heeft te maken met een uniek kenmerk van zand. Op figuur 47 is duidelijk te zien dat de verticale weerstand maximaal is als er geen horizontale lading aanwezig is. Naarmate de horizontale lading toeneemt zal de maximale verticale lading, die het fundament kan verdragen, afnemen (volg de curve). Bij een kleibodem zal de maximale toegestane horizontale weerstand van de bodem stijgen als de hoeveelheid verticale lading afneemt. Dit gebeurt totdat de maximale horizontale capaciteit (lading) van de bodem bereikt is. Vanaf dat moment zal de curve recht naar beneden gaan. Dit is eigen aan een kleibodem. Bij een zandbodem daarentegen zal vanaf dat de verticale lading onder een bepaalde waarde komt, de horizontale weerstand afnemen. Dit is een eigenschap van cohesieloze bodems waaronder zand valt. Een cohesieloze bodem heeft een bepaalde mate van samendrukking nodig om weerstand te kunnen bieden tegen ladingen (Cherif, 2016).

De maximale toegestane lading op de poten aan de zijde verschilt ten opzichte van de poten aan de windwaartse zijde. Dit komt omdat deze poten verschillende soorten krachtencombinaties moeten verduren. De limiet van het schuiven vormt duidelijk enkel een grens voor de windwaartse poten, de reden hiervoor werd hierboven reeds besproken. Op figuur 48 is duidelijk te zien hoe het komt dat de lading op deze poten verschilt (Pedersen, z.d.).



Figuur 48: Lading op de windwaartse poten

Bron: Pedersen (z.d.)

De windwaartse poten zullen een grotere horizontale lading ervaren en daarom beschikken over een lagere verticale capaciteit. Bij de poten aan de lijszijde geldt net het tegenovergestelde. Dit is weergegeven op de enveloppe (figuur 47).

De functie van de parabool is de volgende:

$$\left(\frac{FH}{QH}\right)^2 - 16(1-a)\left(\frac{FV}{QV}\right)^2\left(1-\frac{FV}{QV}\right)^2 - 4a\left(\frac{FV}{QV}\right)\left(1-\frac{FV}{QV}\right) = 0$$

In deze vergelijking is:

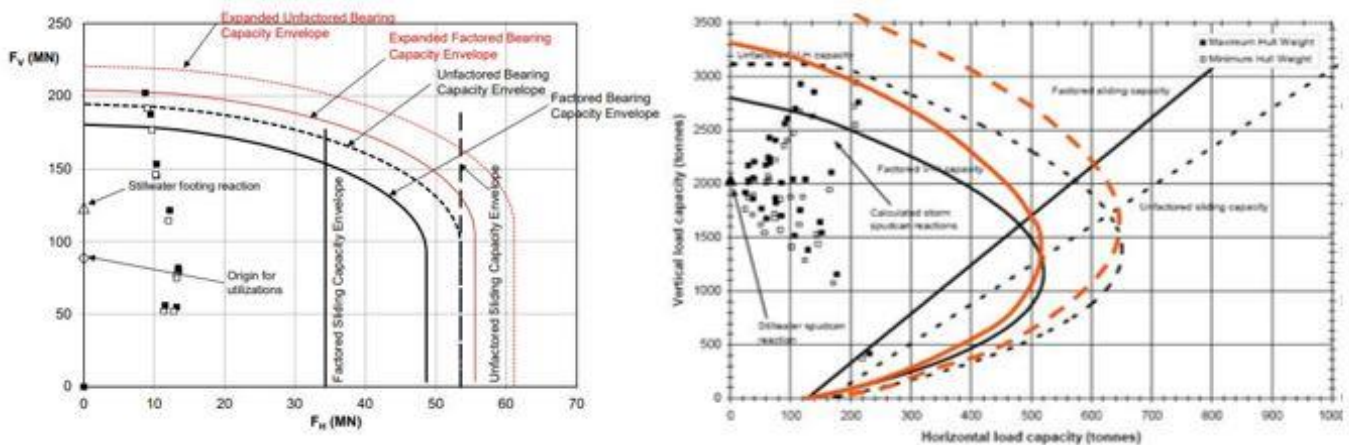
- a de diepte parameter, de waarde ervan wordt gegeven in de functie van D.
 $a = D/2,5B$ als $D < 2,5B$
 $a = 1,0$ als $D \geq 2,5B$
a is gelijk aan 0 als de *spudcan* niet voorbij zij grootste breedte gepenetreerd is;
- FH en Fv zijn de horizontale en verticale component van de krachtvector Fa. Deze krachtvector is dus de kracht (lading) die op de bodem uitgeoefend wordt. De waarde van de componenten waarvoor deze vergelijking gelijk is aan 0 vormen de rode volle lijn van de enveloppe. Wanneer het resultaat van bovenstaande vergelijking kleiner is dan 0, dan zullen de krachten die op de bodem uitgeoefend worden zich binnen het enveloppe bevinden. Als het resultaat groter is dan 0 dan zal de krachtvector zich buiten de enveloppe bevinden;

De blauwe pijlen (figuur 47) zijn dus allemaal krachtvectoren (Fa). De maximale toegelaten waarde voor deze vector is die waarbij de coördinaat van de vector (Fv, FH) zich op de parabool bevindt.

Men dient op te merken dat de enveloppe, die hierdoor verkregen wordt, de maximale capaciteit van het bodemfundament weergeeft. Deze enveloppe is echter puur theoretisch en zal niet gebruikt worden om de capaciteit mee te beoordelen. In de praktijk wordt er een veiligheidsfactor in rekening gebracht waardoor de beschikbare enveloppe kleiner zal zijn. Hier wordt in hoofdstuk 9.5.1.2 verder over uitgeweken (ISO, 2016).

9.5.1.2 De bodemfundament enveloppe in de praktijk

In de praktijk ziet de enveloppe er iets anders uit dan degene die besproken zijn in 9.5.1.2. Hieronder is een enveloppe van een klei- en zandbodem, die opgesteld zijn voor een bestaande bodem, te zien.



Figuur 49: Bodemfundamenten enveloppe van een klei (links) en zandbodem (rechts)

Bron: White (2016)

Op deze afbeelding is duidelijk te zien dat er twee verschillende enveloppen/limieten opgesteld worden voor eenzelfde bodem (zowel voor de capaciteit tegen glijden als voor de capaciteit tegen verticale-horizontale krachtparen). Dit heeft te maken met de veiligheidsfactor die in het vorige hoofdstuk reeds is aangehaald. Zo geven de zwarte stippenlijnen de absolute maximale capaciteiten van de bodem aan. Met deze maximale waarden wordt er echter in de praktijk niet gewerkt. In plaats daarvan gebruikt men waarden waarop een veiligheidsfactor toegepast is. Voor de parabool, die de capaciteit van de bodem tegen de horizontale-verticale ladingen weergeeft, is deze factor gelijk aan $\frac{1}{\gamma_{R,VH}}$. Het is reeds geweten dat de waarde van $\gamma_{R,VH}$ gelijk is aan 1,10. Elke coördinaat op de parabool wordt vermenigvuldigd met deze veiligheidsfactor. Als gevolg hiervan ontstaat er een kleinere enveloppe (zwarte volle lijn). Een zelfheffende structuur is pas in staat om een project op een bepaalde plaats uit te voeren als alle ladingen op de bodem (als gevolg van de extreme storm) (later meer) binnen deze enveloppe vallen.

Voor de maximale capaciteit tegen het wegglijden wordt er een andere veiligheidsfactor gebruikt. De veiligheidsfactor is hier gelijk aan $\frac{1}{\gamma_{R,Hfc}}$. De waarde van $\gamma_{R,Hfc}$ is voor een zandbodem (gedraineerde bodem) gelijk aan 1,25 en voor een kleibodem (ongedraineerde bodem) aan 1,56. Hier worden alle punten op de rechte zwarte stippellijn eveneens vermenigvuldigd met deze veiligheidsfactor.

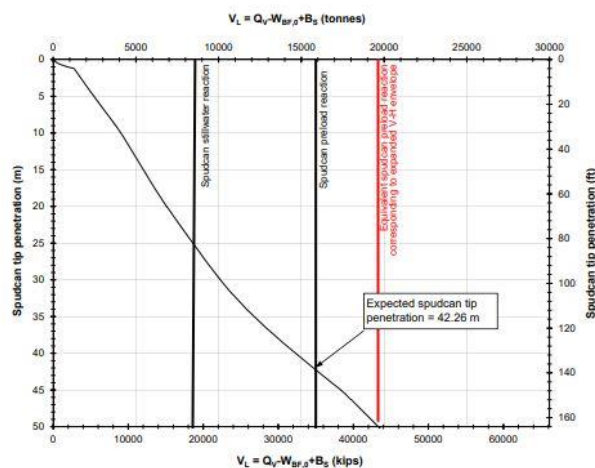
Nu de enveloppe verkregen is, wordt er gecontroleerd of de ladingen die op het fundament werken ten gevolge van (extreme) stormen binnen de capaciteiten van de bodem vallen. Deze extreme stormen worden opgesteld aan de hand van de gegevens die verzameld zijn op de locatie. (de 50 en 100 jarige maxima, zie 9.1.5). Dit wordt gedaan aan de hand van een programma (zoals JUSTAS). Ze hebben alle gegevens van de zelfheffende structuur en van de bodem. Ze maken een model van de zelfheffende structuur en dan wordt dit model onderworpen aan de extreme stormen. Het model wordt onderworpen aan verschillende stromen uit verschillende richtingen. De duur van deze stormen verschilt van wie de controle uitvoert, bij DNV GL sturen ze de storm voor acht uur door hun model (zie bijlage 5). Als resultaat worden dan krachtvectoren (F_v , F_H ; dit zijn de componenten van de kracht F_d die op de bodem werkt als gevolg van de stormen) (ofwel coördinaten) verkregen. Deze punten corresponderen met de maximale lading die op de bodem werkte tijdens de extreme storm. De zwarte punten zijn de situaties met een maximale belading, de witte punten zijn die met de minimale belading (de minimale en maximale belading waarmee de structuur te maken zal hebben tijdens zijn project). Een zelfheffende structuur is in staat om een project uit te voeren als alle punten zich binnen de grenzen van het bodemfundament bevinden (dus binnen de parabool en links van de rechte die de maximale capaciteit tegen het glijden weergeeft). Op figuur 49 is te zien dat dit (in dit voorbeeld) niet het geval is. In principe is de structuur dus afgekeurd voor het project.

Er is echter nog een extra mogelijkheid voor de structuur om toch aan de voorwaarden (van het bodemfundament) te voldoen. In het opstellen van de enveloppe is er gebruikgemaakt van de maximale theoretische voorlading. In de praktijk kan het echter zijn dat de werkelijke waarde waarmee de structuur kan voorladen hoger ligt (als het hydraulische systeem eigenlijk sterker is of wanneer men extra gewicht, bijvoorbeeld ballast, aan boord kan nemen), dit was bijvoorbeeld het geval bij de Neptune (heeft in de praktijk een sterker hydraulisch systeem dan vermeld op de fiche; zie bijlage 3).

Als dit het geval is gaan ze kijken hoe groot de enveloppe moet zijn om er toch voor te zorgen dat alle ladingsresultaten van de storm binnen de enveloppe vallen.

Op de afbeelding is dit de oranje stippellijn. De coördinaten van deze parabool worden dan gedeeld door de veiligheidsfactor $\frac{1}{\gamma_{R,Hfc}}$. Op deze manier wordt dan de oranje stippellijn verkregen. Dit is de capaciteit die de structuur moet zien te bereiken. Het is mogelijk om op de y-as de waarde van de nodige voorlading af te lezen. In de eerste plaats moet deze waarde afgetoetst worden tegen de mogelijkheden van de zelfheffende structuur. Als de structuur niet in staat is om deze mate van voorlading te bereiken, is ze niet in staat om het project te voltooien (White, 2016).

Als de structuur wel in staat is om zoveel voor te laden dan wordt er met deze waarde naar de penetratiecurve gegaan. Aangezien men moet weten hoeveel extra penetratie deze verhoogde voorlading met zich meedraagt. Figuur 50 toont de penetratiecurve opgesteld voor dezelfde kleibodem waar ook de enveloppe van figuur 49 voor opgesteld is.



Figuur 50: Penetratiecurve met verhoogde voorlading

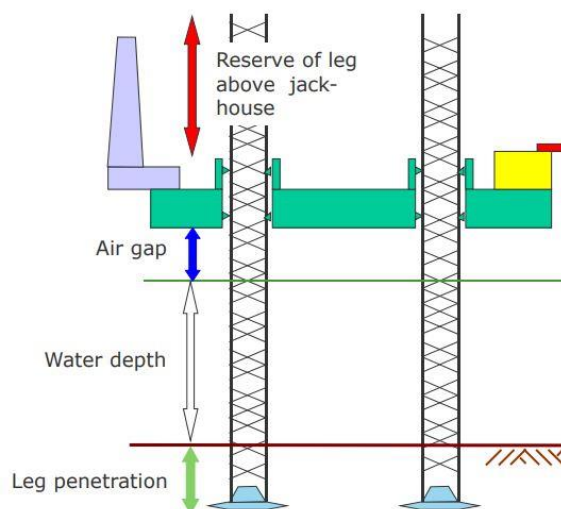
Bron: White (2016)

In het geval van hierboven zal de verhoogde voorlading resulteren in een extra penetratie van acht meter. Indien de poten van de structuur deze lengte nog beschikbaar heeft (hangt af van de geometrische controle, zie 9.5.2) is het eventueel mogelijk om de structuur toch in te zetten voor dit project. Een andere mogelijkheid is het veranderen van de *spudcans* aangezien dit kan resulteren in een grotere horizontale en verticale capaciteit. Dit is echter een vrij dure optie en bij DEME wisten ze te vertellen dat dit niet vaak voorvalt (zie bijlage 4).

Het is echter ook mogelijk dat na het testen van het fundament blijkt dat de capaciteiten van de bodem vele malen hoger liggen dan de maximale lading die erop uitgeoefend kan worden (dus als alle coördinaten duidelijk binnen het envelope liggen). In dit geval is het dus mogelijk om te kiezen voor een kleinere voorlading. Dit is interessant omdat het de tijd, nodig voor het voorlaadproces, kan verminderen. Daarnaast zullen de poten hierdoor (normaal) minder penetreren waardoor de structuur eventueel hoger kan opkrikken. Dit kan interessant zijn als het project bestaat uitwerken op grote hoogte (ISO, 2016).

9.5.2 De geometrische controle

Dit is een eenvoudige maar noodzakelijke controle. De oceanografische gegevens zijn geweten net zoals de gegevens van de structuur zelf. Deze controle dient om te berekenen of de afmetingen van de poten voldoende groot zijn. De waterdiepte en de mate van penetratie zijn reeds onderzocht. De noodzakelijke ruimte tussen het wateroppervlak en de onderkant van de romp is geweten (deze afstand kan bepaald worden door de oceanografische, zie 9.1.5, of de project vereisten, bijvoorbeeld bij het installeren van windmolens moet men een minimale hoogte kunnen bereiken. De welke van de twee de grootste is). De reservelengte van de poten die nog boven de romp moet uitsteken verschilt van structuur tot structuur. Al deze gegevens worden gebruikt om de nodige lengte van de poten te berekenen. Op de afbeelding hieronder zijn alle gekende waarden aangeduid en wordt het duidelijk hoe de nodige lengte van de poten berekend wordt (wiskundige som) (White, 2016).



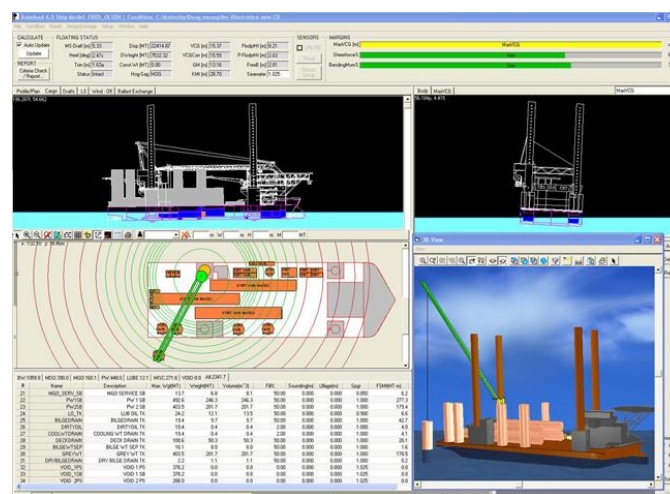
Figuur 51: Geometrie van de zelfheffende structuur

Bron: White (2016)

In sommige gevallen beschikt de zelfheffende structuur over de mogelijkheid om de lengte van zijn poten te vergroten. Zo is op de site van DEME te lezen dat de poten van de Neptune 80 meter lang zijn maar dat de mogelijkheid bestaat om deze te verlengen tot 92 meter (DEME, z.d.). De eerste officier van de Neptune vertelde in het interview (zie bijlage 2) dat dit extra stuk meestal onderaan wordt bevestigd omdat de Neptune geen *spudcan* heeft en het daardoor gemakkelijker is, maar dat het ook mogelijk is om het extra stuk bovenaan te bevestigen (door middel van een kraan) (ISO, 2016).

9.5.3 De controle van de structurele sterkte

Het programma waarmee de ladingen (tijdens storm scenario's) op de zeebodem berekend zijn, wordt eveneens gebruikt voor deze controle. Via de classificatiemaatschappijen beschikken de opstellers van de specifieke beoordeling over de huidige stand van de zelfheffende structuur. Denk bijvoorbeeld aan de afname van de staaldikte van de poten, de kwaliteit van de lasnaden, de staat van het hydraulische of elektronische systeem, de connectie tussen de poten en het opkriksysteem. Er wordt hier eveneens rekening gehouden met de mate van aangroei op de poten. Al deze gegevens worden in het programma gebracht en onderworpen aan verschillende stormen (zie 9.1.5). Er wordt dan gekeken of alle onderdelen afzonderlijk en samen in staat zijn om deze stormen te weerstaan. Op figuur 52 is een voorbeeld van zo een programma, waar het computermodel van de zelfheffende structuur in getest wordt, te zien. De formules waarop deze programma's gebaseerd zijn, kunnen worden teruggevonden in de ISO (Cassidy, 1999) (White, 2016) (Autoship, z.d.) (ISO, 2016).



Figuur 52: Computermodel van een zelfheffende structuur

Bron: Autoship (z.d.)

10 De opkrik-procedure

De exacte procedure verschilt van bedrijf tot bedrijf en wordt niet prijsgegeven aan derden. Aangezien tijdens het opstellen van deze thesis gebruikgemaakt is van een interview afgenomen bij DEMA (zie bijlage 3), zal in deze thesis de procedure geconstrueerd worden aan de hand van dat interview. Bij het ophalen van de poten worden dezelfde stappen ondernomen maar dan in de omgekeerde volgorde.

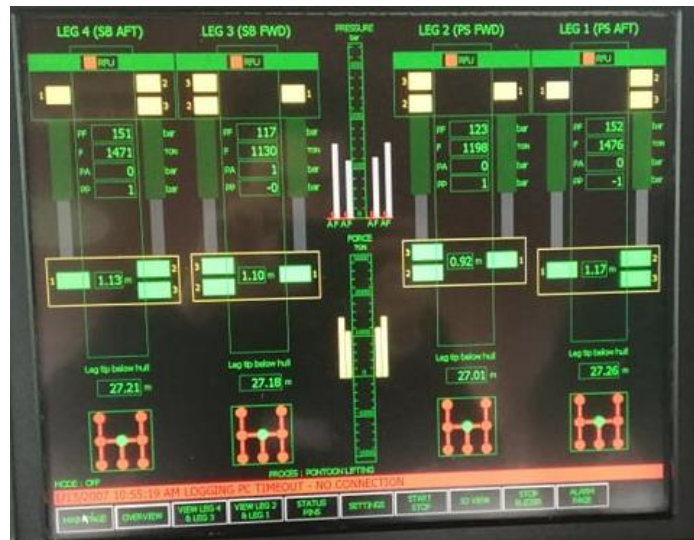
Vanaf het moment dat een zelfheffende structuur goedgekeurd is voor een bepaald project, zal de structuur ter plaatse gaan en, rekening houdend met alle risico's, zich opkrikken. De procedure hoe dit gebeurt, wordt hier besproken. Aan boord van de Neptune hebben ze een opkrikstelsel waarbij men kan kiezen uit verschillende programma's. Elk programma staat voor een bepaalde fase in het opkrikken of neerhalen van de structuur. Figuur 53 toont de verschillende programma's aan boord van de Neptune. Elk programma correspondeert met een andere pompdruk (de Neptune beschikt over een hydraulisch systeem) (RenewableUK, 2013).

no	Jacking program	Solenoids	Maximum pump pressure (bar)
0	Leg lowering	Yx4	105
1	Reduce draft	Yx1	105
2	Pre-load lifting	Yx1	283
3	Pontoon lifting	Yx1	200
4	Pontoon lowering	Yx2	105
5	Increases draft	Yx2	105
6	Leg pulling	Yx2	320
7	Leg lifting/ preliminary leg pulling	Yx2, Yx5	160
-	Recycle stroke piston up Yx	Yx2, Yx5	105
-	Recycle stroke piston down	Yx3	105

Figuur 53: Opkrikprogramma's aan boord van de Neptune

Bron: Eigen werk (2019)

Men kan er voor kiezen om de poten niet gelijktijdig te laten zakken (bij een zeebodem met grote hoogteverschillen). Dit doet men allemaal doen via de console die op de brug te vinden is. Figuur 54 laat de interface van deze console zien. In het geval van de foto is de structuur reeds opgekrikt en bijgevolg is de druk op alle poten (ongeveer) even groot. De druk op de poten van het achterschip zijn iets hoger, dit komt omdat de accommodatieruimte en de brug zich hier bevinden.



Figuur 54: Interface van opkrikconsole op de brug van de Neptune

Bron: Eigen werk (2019)

10.1 Het positioneren

In hoofdstuk 8 zijn reeds de risico's opgesomd. Hier bleek het belangrijk dat de zelfheffende structuur zich correct positioneert. Dit is dus een belangrijke fase. De DP operator en de operator van het opkriksysteem moeten synchroon werken en de communicatie onderling is van cruciaal belang. De DP operator probeert de structuur op de correcte positie te houden en meldt wanneer de poten mogen beginnen zakken. De operator van het opkriksysteem positioneert de poten dan net boven de zeebodem totdat de DP operator meldt dat ze de grond mogen raken. In de andere richting zal de operator van het opkriksysteem duidelijk moeten melden wanneer de poten de grond raken. Dit is belangrijk omdat de DP operator dan weet dat hij enkel nog maar de stroom mag neutraliseren. Zolang de poten de bodem nog niet geraakt hebben, zal de DP operator met de *thrusters* proberen de exacte positie te bereiken, maar als de DP operator de *thrusters* zou blijven gebruiken nadat de poten de grond geraakt hebben zullen de *spudcans* over de zeebodem beginnen slepen. Dit resulteert in extra spanning in de poten en zou schade als gevolg kunnen hebben. Daarnaast zouden onderwater structuren (zoals pijpleidingen) beschadigd kunnen worden door de slepende poten. Wanneer een zelfheffende structuur de locatie verlaat zal deze samenwerking ook belangrijk zijn.

10.2 Het zakken van de poten

Zoals reeds besproken in 10.1 deelt de DP operator mee wanneer de poten mogen zakken. Dit proces correspondeert met programma 0. Bij dit programma is de druk in het opkriksysteem (dit kan men bekijken op de console) laag vergeleken met de andere programma's. Dit komt doordat de romp zich nog in het water bevindt en zo het gewicht van de zakkende poten op zich neemt. Men kan merken dat de poten de grond raken door een stijging van de druk in de opkrikssystemen. Dit komt doordat de weerstand die de poten ervaren groter wordt (van water naar zand/klei). De druk in de hydraulische pomp is vrij laag in dit stadia aangezien het zakken van de poten niet veel kracht vereist omdat ze maar een lage weerstand ondervinden van het zeewater.

10.3 Verminderen van de diepgang

Nadat programma 0 afgerond is gaat men verder met programma 1. Hier wordt de diepgang van de romp verminderd. Wat er dus eigenlijk gebeurt, is de overdracht van gewicht. Voor dit programma werden de poten gedragen door het drijfvermogen van de structuur, maar vanaf dit moment wordt de structuur (deels) gedragen door de poten (bodem). De romp is echter nog niet volledig uit het water dus een deel van het gewicht wordt nog steeds gedragen door het drijfvermogen van de romp. De overdracht van het gewicht is goed te zien aan de samendrukkingsrubbers die vanaf dit moment ingedrukt zullen zijn (zie 4.4.1). Op het einde van dit programma zit de taak van de DP operator er op. De structuur heeft steun van de bodem en dus is het niet langer nodig dat de stroming geneutraliseerd wordt door de *thrusters*. Naargelang de positie van de aanzuiging van het koelwater, wordt tijdens deze fase overgeschakeld naar de secundaire aanzuiging van het koelsysteem (zie 4.3.1.5). Net voordat de aanzuiging uit het water komt, stopt men de motoren om er zeker van te zijn dat deze niet zonder koeling komen te zitten.

10.4 Het voorladen

Na 10.3 schakelt men over naar programma 2. De hydraulische pompen draaien op volle toeren tijdens dit programma. Aan de hand van de penetratiecurve weet men ongeveer hoe diep de poten zullen penetreren. Dit is het meest tijdrovende deel van het hele proces. De poten worden per twee kruislings voorgeladen, voor een periode van 30 min. Dit blijft men doen totdat men geen verlies in druk meer opmerkt en er op die manier zeker van is dat een geschikt bodemfundament bereikt is. Men kan deze diepte controleren aan de hand van de

penetratiecurve door te zien of de diepte, waarop de poten zich bevinden, overeenkomt met de geschatte mate van penetratie. Vanaf het moment dat men tevreden is met het bereikte bodemfundament, gaat men naar de laatste fase. Tijdens het voorladen is het belangrijk dat in alle systemen de druk even hoog is om ervoor te zorgen dat de structuur mooi rechtgehouden wordt. Men dient er rekening mee te houden dat niet alle poten even snel zullen penetreren (verschil in weerstand van de bodem) en men zal dus ingrepen moeten doen om de structuur horizontaal te houden.

10.5 Het opkrikken van de romp

Als laatste stap wordt er overgeschakeld naar programma 3, *pontoon lifting*. Dit is het laatste programma bij het opkrikken van de romp. Men heeft een adequaat bodemfundament bereikt en men begint met de romp op te krikken naar de operationele stand. Wanneer de juiste hoogte bereikt is stopt het systeem. Er wordt voor gekozen om de pinnen in de bewegende ring te laten zitten, tijdens de operationele stand, zodat men sneller kan reageren moest er iets fout lopen. De taak van de opkrik operator zit er nu op. De structuur wordt klaargemaakt voor het project.

Conclusie

In deze conclusie worden enkele essentiële zaken weergegeven die aangeven dat het opstellen van een verduidelijkend document bij zelfheffende structuren een toegevoegde waarde is voor wie er meer over wenst te weten. Tot heden bestond er op dit vlak weinig of geen verklarende informatie in het Nederlands.

Het aangeven hoe de zelfheffende structuur is opgebouwd is essentieel om duidelijkheid te scheppen. Daarom wordt weergegeven, op een gestructureerde wijze, dat een structuur naast alle onderdelen die een gewoon schip heeft (de maritieme uitrusting) ook nog andere componenten bevat. Deze componenten werden onderverdeeld in ofwel de project uitrusting ofwel de uitrusting om de structuur op te heffen. Er werden twee verschillende soorten projectsoorten onderscheiden. Naast het winnen van grondstoffen zijn ook de herstellings-en installeringswerken een mogelijk project van een zelfheffende structuur. Afhankelijk van de projecten waar de structuur voor gebouwd is, heeft de structuur dus een andere opbouw.

De aandacht voor de locatie beoordeling krijgt terecht uitgebreide aandacht gezien dit cruciale aspect vooraf de operationele mogelijkheden van de structuur op deze locatie berekend en eventuele risico's aan het licht brengt. Hier niet omzichtig mee omgaan heeft stevige consequenties zoals onherstelbare schade of extra kosten om de verkeerde inschatting recht te zetten.

Voordat men aan het opstellen van de beoordeling kan beginnen dient men eerst te beschikken over voldoende informatie. De informatie van de zeebodem wordt voornamelijk verkregen door echosounders/sonars en boringen. Ook de data van de zelfheffende structuur zelf en de project afhankelijke data is nodig. Om de capaciteiten van de structuur te kunnen testen bij extreme stormen en om de nodige afmetingen van de poten te weten te komen, is de meteorologische en oceanografische data ook van belang.

Met de gegevens van de zeebodem werd er dan, door allerhande berekeningen, een penetratiecurve en een capaciteitsenveloppe opgesteld. Aan de hand van deze enveloppe kon ontdekt worden of het bodemfundament de ladingen, die de structuur tijdens een extreme storm uitoefende op de bodem, kon weerstaan. De capaciteiten van dit fundament hingen

samen met de capaciteiten van de zelfheffende structuur (design van *spudcan*, lengte van de poten, maximale mate van de voorlading).

Daarnaast wordt de structuur ook onderworpen aan een geometrische controle. Hier wordt gecontroleerd of de afmetingen van de structuur voldoende groot zijn voor het project.

Als laatste is er nog de controle van de structurele sterkte. Er wordt hier gekeken of alle onderdelen (op zichzelf) en alle aanhechtingen van de verschillende onderdelen de krachten kunnen verdragen die op de structuur werken als gevolg van de extreme stormen.

Met deze heb ik het doel van deze afstudeeropdracht ingevuld. Dit door alle relevante informatie, met betrekking tot de zelfheffende structuur, overzichtelijk, gestructureerd en informatief in kaart te brengen.

Het lezen van dit werkstuk heeft u ongetwijfeld het nodige inzicht gebracht en kan dan ook voor elkeen, met interesse in deze materie, vrij geconsulteerd worden.

Bibliografie

ABS. (2016). Survey and inspection of jacking systems.

ABS. (2017). GEOTECHNICAL PERFORMANCE OF SPUDCAN FOUNDATIONS.

ABS. (2019). *Rules for Building and Classing Offshore Mobile Drilling Units*. American Bureau of Shipping.

ABS. (z.d.). ABS Leads Industry in Addressing Jackup Safety Through Targeted R&D.

Geraadpleegd van

https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/publications/whitepapers/ABS_Jackup_Safety_White_Paper.pdf

Al-Agha, A. S. (2015). Basics of Foundation Engineering with Solved Problems.

Geraadpleegd van <https://pdf4pro.com/cdn/basics-of-foundation-engineering-with-solved-problems-5b5e7f.pdf>

Al-Hashemi, H. M. B., & Al-Amoudi, O. S. B. (2018). *Powder technology*.

Al-Mhaidib, A. I. (2005). Shearing Rate Effect on Interfacial Friction Between Sand and Steel. Geraadpleegd van

https://www.researchgate.net/publication/239549773_Shearing_Rate_Effect_on_Interfacial_Friction_Between_Sand_and_Steel

AqualisBraemar. (2019, 23 april). Jacking Systems - How to Survive a Rig Inspection: Part

16. *AqualisBraemar*. Geraadpleegd van <https://aqualisbraemar.com/all-media/blog/jacking-systems/>

Aquaterra. (z.d.). Jack-up rig expertise for oil and gas drilling. *Aquaterra Energy*.

Geraadpleegd van <https://www.aquaterraenergy.com/solution/jack-up-exploration-appraisal/>

- Aresco LP. (2015). *What is a blowout preventer?* Geraadpleegd van <https://www.youtube.com/watch?v=uYdXoFV1S6s>
- Atollo Offshore. (z.d.). Advantages of an Accommodation Jack-up on a Windfarm. *Attollo Offshore*. Geraadpleegd van <https://www.attollo-offshore.com/insight/insight-insight-advantages-of-an-accommodation-jack-up-on-a-windfarm/>
- Autoship. (z.d.). Autoship Systems Corporation. Geraadpleegd 3 mei 2020, van <http://cargomanagement.autoship.com/productservices/offshoreplatform/autoloadjackup.htm>
- Azar, J. J., & Robello Samuel, G. (2007). *Drilling Engineering*. Penwell.
- Bai, Y., & Bai, Q. (2019). Subsea Surveying, Positioning, and Foundation. *Subsea Engineering Handbook* (Vol. second edition, pp. 81–121).
- Caenn, R., Darley, H., & Gray, G. R. (2016). *Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids* (Vol. 7th edition). Gulf Professional Publishing.
- Casey, J. (2019 juni). Danger from the deep: Underwater mudslides in the Gulf of Mexico - Offshore Technology Focus. Geraadpleegd 2 april 2020, van https://offshore.nridigital.com/offshore_technology_focus_jun19/danger_from_the_deep_underwater_mudslides_in_the_gulf_of_mexico
- Cassidy, M. J. (1999). *Non-Linear Analysis of Jack-Up Structures Subjected to Random Waves*.
- Cerulean Sonar. (z.d.). ROV Locator Bundle. *Ceruleansonar*. Geraadpleegd 11 mei 2020, van <https://ceruleansonar.com/products/usbl-rov-locator>
- Charlton, B. (2014, 16 juli). Offshore Drilling and Jack-Up Rigs for Dummies. *Templato*. Geraadpleegd 11 augustus 2018, van <https://blog.templato.com/offshore-drilling-and-jack-up-rigs-for-dummies-3b9876bbe1d>

- Cherif, H. Y. (2016). Bearing Capacity of Embedded Strip Footings on Cohesionless Soil Under Vertical and Horizontal Loads. *Geotechnical and Geological Engineering*, 34(6). doi:10.1007/s10706-016-0124-5
- COSCO. (z.d.). Drilling Rigs. *COSCO Heavy Transport*. Geraadpleegd van <https://coscoht.com/projects/drilling-rigs/>
- Crist. (z.d.). CRIST S.A. Geraadpleegd 6 mei 2020, van <http://www.crist.com.pl/jack-up-vessels-and-barges,22,en.html>
- de Brito, J., Dhir, R., Ciaran, J. L., & Rui, V. S. (2018). Municipal Incinerated Bottom Ash Characteristics. *Sustainable Construction Materials* (pp. 91–138).
- DEME. (z.d.). Neptune | DEME Group. Geraadpleegd 30 maart 2020, van <https://www.deme-group.com/technologies/neptune>
- Dier, A., Carroll, B., & Abolfath, S. (2004). Guidelines for jack-up rigs with particular reference to foundation integrity. HSE. Geraadpleegd van <https://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr289.pdf>
- Dirkzwager, A. (2017, 24 april). ABS Research Establishes a Firm Foundation for Jack-Up Moves. *Yellow & Finch Publishers*. Geraadpleegd van <https://www.ynfpublishers.com/2017/04/abs-research-establishes-a-firm-foundation-for-jack-up-moves>
- DNVGL. (2014 november). Inspection and maintenance of jacking systems. Geraadpleegd van <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/RP/2014-11/DNVGL-RP-0075.pdf>
- DNVGL-RP-C104. (2015 juli). RECOMMENDED PRACTICE: Self-elevating units. Geraadpleegd van <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/dnvgl/RP/2015-07/DNVGL-RP-C104.pdf>

- Dutton, R. (2018, 4 maart). Methods of Preloading in Areas of High Tidal Range. *Rigmovers International*. Geraadpleegd 27 mei 2019, van <http://rigmoversinternational.com/methods-of-preloading-in-areas-of-high-tidal-range/>
- Elhassan, I. (2015). *Bathymetric Techniques*.
- Elsayed, K. (2013). *The Road to Saqqara (Jack-up units and Move)*.
- Energy Global News. (2017, 3 december). SCORPION – THE FIRST THREE-LEGGED JACKUP. *Energy Global News*. Geraadpleegd van <http://www.energyglobalnews.com/scorpion-first-three-legged-jackup/>
- Fang, H. Y. (2013). *Foundation Engineering Handbook*. Geraadpleegd van <https://books.google.be/books?id=vDboBwAAQBAJ&pg=PA724&lpg=PA724&dq=mat+supported+legs+filled+with+water&source=bl&ots=sECbOyzAnu&sig=ACfU3U0fgNacOeXz9umIX6bDGsmFcbB9ZA&hl=nl&sa=X&ved=2ahUKEwjsr8PuhZ3pAhXBDOwKHSIICosQ6AEwCnoECAkQAQ#v=onepage&q=mat%20supported&f=false>
- FEMA. (2009 januari). Erosion, Scour, and Foundation Design. Geraadpleegd van https://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1644-20490-8177/757_apd_5_erosionscour.pdf
- Freudenthal, T., & Wefer, G. (2013). Drilling cores on the sea floor with the remote-controlled sea floor drilling rig MeBo. doi:10.5194/gi-2-329-2013
- Frieze, P., Lewis, D. R., & Stiff, J. J. (2012). Structural Acceptance Criteria in the New ISO for the Site-Specific Assessment of Mobile Jack-Up Units. doi:10.4043/23071-MS
- Fugro. (z.d.). Nearshore Geotechnical Site Investigation. Geraadpleegd 16 april 2020, van <https://www.fugro.com/our-services/land-site-characterisation/nearshore-geotechnical-site-investigation>

- Fu-Ping, G., Jinhui, L. L., Wen-Gang, Q., & Cun, H. (2015). On the instability of offshore foundations: Theory and mechanism. Geraadpleegd van https://www.researchgate.net/publication/284498822_On_the_instability_of_offshore_foundations_theory_and_mechanism
- Gatti, S. (2018). *Project finance in theory and practice: Designing, structuring, and financing private and public projects*. Geraadpleegd van <http://ezproxy.usherbrooke.ca/login?url=https://login.proxy.bib.uottawa.ca/login?url=https://www.sciencedirect.com/science/book/9780128114018>
- Gaudin, C., Bienen, B., & Cassidy, M. J. (2011). Investigation of the potential of bottom water jetting to ease spudcan extraction in soft clay, (12).
- GDS Corp. (2014, 2 juli). Importance of Having Gas Detectors in Oil Rigs. *Get The Latest Scoop On Gas Detection*. Geraadpleegd 14 mei 2019, van <http://www.gdscorp.com/blog/importance-of-having-gas-detectors-in-oil-rigs/>
- Gerwick, B. C. J. (2007). *Construction of Marine and Offshore Structures*. Geraadpleegd van https://books.google.be/books?id=2lm5zXTivm4C&pg=PA142&lpg=PA142&dq=mat+supported+legs&source=bl&ots=TqBpw3XX_a&sig=ACfU3U1hsjZsW0JQtKh9mI0hDqJJG0VorA&hl=nl&sa=X&ved=2ahUKEwixjvfHhJ3pAhWP_aQKHZk0B20Q6AEwEHoECAYQAQ#v=snippet&q=mat%20legs&f=false
- GOE. (z.d.). Global Offshore Engineering | Rig moving services. Geraadpleegd van http://www.goe-group.com/goe_project/rig-moving-services/
- Gordon. (z.d.). Magnetometer Survey. *Aspect Land & Hydrographic Surveys*. Geraadpleegd van <https://www.aspectsurveys.com/survey-services/geophysical/magnetometer/>
- Gourvenec, S., & Cassidy, M. (2005). *Frontiers in Offshore Geotechnics: Proceedings of the International Symposium on Frontiers in Offshore Geotechnics*. Geraadpleegd van <https://books.google.be/books?id=9smnDwAAQBAJ&pg=PA554&lpg=PA554&dq=h>

ow+calculate+upper+and+lower+bound+penetration+curve+spudcan&source=bl&ots
=2IctUII084&sig=ACfU3U3bfaS8XVQ9Y6hM8u8alT9KN7W16g&hl=nl&sa=X&ve
d=2ahUKEwjp3J6frODoAhWR26QKHdqBa8Q6AEwAHoECAsQLA#v=onepage&
q=how%20calculate%20upper%20and%20lower%20bound%20penetration%20curve
%20spudcan&f=false

GustoMSC. (2018). Hydraulic jacking system | GustoMSC. Geraadpleegd 15 mei 2019, van
<https://www.gustomsc.com/equipment/hydraulic-jacking-system>

GWO. (2020). Global Wind Organisation—Training standards for a safer and more
productive workforce. Geraadpleegd 30 maart 2020, van
<https://www.globalwindsafety.org/>

Heylbroeck, B. (2019 september). Inspectie, survey en onderhoud.

Hoyle, M. (z.d.). Beyond box-ticking: Safe and efficient jack-up operations. *DNV GL*.
Geraadpleegd 2 mei 2020, van [https://www.dnvgl.com/article/beyond-box-ticking-
safe-and-efficient-jack-up-operations-49148](https://www.dnvgl.com/article/beyond-box-ticking-safe-and-efficient-jack-up-operations-49148)

HSE. (2001). Weather-sensitive offshore operations and Metocean data. Geraadpleegd van
<https://www.hse.gov.uk/research/otopdf/2001/oto01022.pdf>

HSE. (z.d.). HSE: Offshore health and safety law. Geraadpleegd 5 mei 2020, van
<https://www.hse.gov.uk/offshore/law.htm#>

Hydrex magazine. (2010). Hydrex magazine. Geraadpleegd van
https://hydrex.be/upload/papers/pdfs/Hydrex_167.pdf

IADC. (1991). GENERAL OCEAN TOW RECOMMENDATIONS FOR JACKUP
DRILLING UNITS. Geraadpleegd van [https://www.iadc.org/wp-
content/uploads/2015/04/ocean-tow-guidelines.pdf](https://www.iadc.org/wp-content/uploads/2015/04/ocean-tow-guidelines.pdf)

Imarest. (2018). Metocean Procedures Guide for Offshore Renewables. Geraadpleegd van
<https://www.imarest.org/reports/650-metocean-procedures-guide/file>

- IMCA. (2013, 16 mei). Guidance on DP jack-ups and use of dumb barges for offshore renewables sector from IMCA. *IMCA*. Geraadpleegd van <https://www.imca-int.com/news/2013/05/16/guidance-on-dp-jack-ups-and-use-of-dumb-barges-for-offshore-renewables-sector-from-imca/>
- IMO. (2001). *Code for the Construction and Equipment of Mobile Offshore Drilling Units*. IMO Publishing.
- IMO. (2013). *ISM code*.
- InfieldRigs. (z.d.). Scorpion rig—Jackup—Zapata Offshore. Geraadpleegd 3 mei 2019, a van <https://www.infield.com/rigs/scorpion-jackup-61462>
- InfieldRigs. (z.d.). Maersk Invincible rig—Jackup—Maersk Drilling. Geraadpleegd 11 mei 2020, b van <https://www.infield.com/rigs/maersk-Invincible-jackup-61511>
- Ishibashi, I., & Hazarika, H. (2015). *Soil Mechanics Fundamentals and Applications, Second Edition*. Hoboken: CRC Press. Geraadpleegd van https://books.google.be/books?id=cHsZBwAAQBAJ&pg=PA307&lpg=PA307&dq=high+qc+en+low+friction+ratio&source=bl&ots=7Q8Jx_YChZ&sig=ACfU3U2btQOS5nzxAyDXmh5s0foDEU3xxQ&hl=nl&sa=X&ved=2ahUKEwjy_t7xna7pAhXisaQKHsY-BtYQ6AEwEHoECAyQAQ#v=onepage&q=high%20qc%20en%20low%20friction%20ratio&f=false
- ISO. (2016). ISO/FDIS 19905-1.
- J-UB. (z.d.). From Non-Propelled to DP2 Self-Propelled. *Jack-Up Barge, The Netherlands, UAE, Offshore at Your side*. Geraadpleegd van <https://www.jackupbarge.com/fleet/detail/dp2-portable-dynamic-positioning-system/>
- Kaiser, M. J., & Snyder, B. F. (2013). *The Offshore Drilling Industry and Rig Construction in the Gulf of Mexico*.

- Kaushik, M. (2019, 10 augustus). How Maintenance Work is Done Onboard a Ship? *Marine Insight*. Geraadpleegd van <https://www.marineinsight.com/guidelines/how-maintenance-work-is-done-onboard-a-ship/>
- Kellezi, L., Koreta, O., & Sundararajan, S. S. (2017). SKIRTED SPUDCAN- SOIL INTERACTION UNDER COMBINED LOADING - GAP CONDITIONS AFTER PRELOADING. Geraadpleegd van https://en.geo.dk/media/2103/skirted-spudcan-soil-interaction-under-combined-loading-gap-conditions-after-preloading_lkellezi-okoreta-sssundararajan.pdf
- Kennedy, L., Chen, J., Chan, R., & Adnanes, A. K. (z.d.). Jacking Control System. ABB. Geraadpleegd van <https://library.e.abb.com/public/9902998ff0224a0c9161cb85ebf7aa87/Jacking%20Control%20System.pdf>
- Koole, T. (2015). *Modern Jack-Ups and their Dynamic Behaviour*. (Delft University of Technology). Geraadpleegd van <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:fb84aed4-1892-434c-8b7a-8de5763fcfe4/datastream/OBJ>
- Llewellyn, L. G., & Peiser, C. (1973). *NEPA and the environmental movement: A brief history*. Gaithersburg, MD, National Bureau of Standards. doi:10.6028/NBS.IR.73-218
- MacDonald, I. (2019). Underwater Mudslides Are the Biggest Threat to Offshore Drilling; Energy Companies Unprepared. *The Inertia*. Geraadpleegd van <https://www.theinertia.com/environment/underwater-mudslides-drilling-oil-environment-ocean/>
- Marsahala, F. W. (2015). *SEABED MORPHOLOGY MAPPING FOR JACK-UP DRILLING RIG EMPLACEMENT*. (BANDUNG INSTITUTE OF TECHNOLOGY, FACULTY

- OF EARTH SCIENCE AND TECHNOLOGY). Geraadpleegd van https://www.researchgate.net/publication/287195832_Seabed_Morphology_Mapping_for_Jack-up_Drilling_Rig_Emplacement
- Mehnazd. (2011, 28 januari). What are Jack Up Drilling Rigs? *Marine Insight*. Geraadpleegd van <https://www.marineinsight.com/types-of-ships/what-are-jack-up-drilling-rigs/>
- Menzies, D., & Roper, R. R. (2008). Comparison of Jackup Rig Spudcan Penetration Methods in Clay. Geraadpleegd van <https://www.semanticscholar.org/paper/Comparison-of-Jackup-Rig-Spudcan-Penetration-in-Menzies-Roper/8314ae1e693b7f932eb274029b0453fef75d515d>
- Moa, D., Zhang, M., Zhang, L., Duan, M., & Song, L. (2015 april). *Sliding risk of jack-up platform re-installation close to existing footprint and its countermeasure*. (Beijing). Geraadpleegd van scienceDirect.
- NEPA. (1982). NEPA | National Environmental Policy Act. *NEPA*. Geraadpleegd 3 mei 2019, van <https://ceq.doe.gov/>
- NETWAS Group Oil. (2018, 24 december). Rig Types—Drilling Engineering—Netwas Group Oil. Geraadpleegd 14 mei 2019, van <https://www.netwasgroup.us/engineering-2/rig-types.html>
- Nordic Ventures Group. (z.d.). Jacking Systems. *Nordic Ventures Group*. Geraadpleegd 15 mei 2019, van http://www.nvg.fi/en/products_services/jacking_system/
- Nortek. (z.d.). Scour monitor. Geraadpleegd van <http://www.mariscope.cl/fichas/scour-monitor/scour-monitor.pdf>
- NOV. (z.d.). Jacking and Skidding Systems. Geraadpleegd 5 mei 2020, van <https://www.nov.com/products/jacking-and-skidding-systems>
- Oceanstaroec. (z.d.). 1998 Industry Pioneers. Geraadpleegd 11 augustus 2018, van <http://www.oceanstaroec.com/fame/1998/delong.htm>

Offshore Engineer Magazine. (2020, 30 maart). 40th Anniversary of Norway's Worst Offshore Disaster. *Offshore Engineer Magazine*. Geraadpleegd van <https://www.oedigital.com/news/477105-40th-anniversary-of-norway-s-worst-offshore-disaster>

Offshore Magazine. (2007, 1 september). Modern offshore fleet comprised of same rig types as in the 1950s. *Offshore Magazine*. Geraadpleegd van <https://www.offshore-mag.com/articles/print/volume-67/issue-9/supplement/modern-offshore-fleet-comprised-of-same-rig-types-as-in-the-1950s.html>

Offshore Magazine. (2019 april). Consultant finds 230 rigs retired since 2014. *Offshore*. Geraadpleegd 11 mei 2020, van <https://www.offshore-mag.com/drilling-completion/article/16790704/consultant-finds-230-rigs-retired-since-2014>

OffshoreEngineering. (2019). Introduction to DP Systems—What is a Dynamic Positioning. Geraadpleegd 31 maart 2020, van <https://www.offshoreengineering.com/education/dynamic-positioning-dp/what-is-dynamic-positioning>

Oilfield Team. (2018, 8 maart). Jack-up Drilling Rig. Geraadpleegd 15 mei 2019, van <https://oilfieldteam.com/en/a/learning/jack-up-rig>

OPITO. (2016, 25 juni). OPITO BOSIET. *FMTC Safety*. Geraadpleegd van <https://fmtcsafety.com/nl/cursusaanbod/offshore-training/en/opito/bosiet/>

Osha. (z.d.). Oil and Gas Well Drilling and Servicing eTool | Drilling—Drilling Fluid | Occupational Safety and Health Administration. *Oil and Gas Well Drilling and Servicing eTool*. Geraadpleegd 14 mei 2019, van <https://www.osha.gov/SLTC/etools/oilandgas/drilling/drillingfluid.html>

Pedersen, B. (z.d.). *RIG & LIFTBOAT MOVE PLANNING & EXECUTION*. Geraadpleegd van

- <http://www.memi.gov.bn/Shared%20Documents/HSSE/Information%20Sharing/Presentation%20packs/TERAS%20OFFSHORE%20PRESENTATION.pdf>
- Price, D. (2018, 13 december). Chronology Of Submersible Rigs—Offshore Drilling—
Netwas Group Oil. Geraadpleegd 3 mei 2019, van
<https://www.netwasgroup.us/offshore/chronology-of-submersible-rigs.html>
- Professional Mariner. (2008 april). As DP systems grow in importance, the technology
continues to improve. Geraadpleegd 31 maart 2020, van
<http://www.professionalmariner.com/April-2008/As-DP-systems-grow-in-importance-the-technology-continues-to-improve/>
- Rachain, J., & Coleman, S. (2018). Basic Knowledge of a Jack Up Rig Transit Mode. *Drilling Formulas and Drilling Calculations*. Geraadpleegd van
<http://www.drillingformulas.com/basic-knowledge-of-a-jack-up-rig-transit-mode/>
- Rachain, J., & Coleman, S. (2018b, 25 augustus). Elevating System of Jack Up Rigs. *Drilling Formulas and Drilling Calculations*. Geraadpleegd van
<http://www.drillingformulas.com/elevating-system-of-jack-up-rigs/>
- Rachain, J., & Coleman, S. (2018c, 5 oktober). Basic Knowledge of Jacking Operation for
Jack up Rigs. *Drilling Formulas and Drilling Calculations*. Blog, . Geraadpleegd van
<http://www.drillingformulas.com/basic-knowledge-of-jacking-operation-for-jack-up-rigs/>
- Rachain, J., & Coleman, S. (2018d, 12 augustus). Jack Up Rig Footing – Mat Footings vs
Independent Spud Can Footings. *Drilling Formulas and Drilling Calculations*.
Geraadpleegd van <http://www.drillingformulas.com/jack-up-rig-footing-mat-footings-vs-independent-spud-can-footings/>
- Ramsey, M., & et al. (z.d.). blowout preventer—Schlumberger Oilfield Glossary.
Geraadpleegd 14 mei 2019, van Peter Rijdsdam

- Randolph, M., & Gourvenec, S. (2011). *Offshore Geotechnical Engineering*. Geraadpleegd van https://books.google.be/books?id=yAIEff_zspUC&pg=PA361&lpg=PA361&dq=ballast+tanks+on+jack+up&source=bl&ots=KGEl_yp1kc&sig=ACfU3U1gX_SAvpHdNrwkJGGjy_W_93aXFQ&hl=nl&sa=X&ved=2ahUKEwjJss_Y6ZzAhUCzaQKHV7vD6IQ6AEwEXoECAoQAQ#v=onepage&q=ballast%20tanks%20on%20jack%20up&f=false
- Raunek, K. (2019, 1 september). Procedure for Ship Familiarization for New Crew Members on Ships. *Marine Insight*. Geraadpleegd van <https://www.marineinsight.com/marine-safety/procedure-for-ship-familiarization-for-new-crew-members-on-ships/>
- Raymackers, S. (2013). Back-calculation of measured leg penetrations of tubular legged jack-ups during preloading. *Proceedings of the 5th International Young Geotechnical Engineers conference*, IOS press. Geraadpleegd van https://books.google.be/books?id=QfPAAQAAQBAJ&pg=PA213&lpg=PA213&dq=jack+up+without+spudcans&source=bl&ots=_yZcYVd3Uj&sig=ACfU3U0j33GnJA_9Th2PAgQhfTRK-erjGg&hl=nl&sa=X&ved=2ahUKEwjUiJyig67pAhUIMewKHUZyA7oQ6AEwDHoECAkQAQ#v=onepage&q=jack%20up%20without%20spudcans&f=false
- RenewableUK. (2013). Guidelines for the Selection and Operation of Jack-ups in the Marine Renewable Energy Industry.
- Rigzone. (z.d.). How Do Jackups Work? Geraadpleegd 3 mei 2019, van https://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight_id=339&c_id=
- Rijsdam, P., & et al. (z.d.). Boringen, het drillen naar olie of gas en hoe alles werkt. *Zeetoppers*. Geraadpleegd van <https://www.zeetoppers.nl/offshore-drilling/boringen/>

royalihc. (z.d.). A fresh approach to jack-up design. Geraadpleegd van

<https://www.royalihc.com/-/media/royalihc/image-carousel/products/product-images/offshore/heavy-lift-and-wind-farm-installation/heavy-lift-jack-up-vessel/articleihcneptunejackupmbh.pdf>

royalihc. (2012). Neptune. Geraadpleegd van [https://www.royalihc.com/-](https://www.royalihc.com/-/media/royalihc/image-carousel/products/product-images/offshore/heavy-lift-and-wind-farm-installation/heavy-lift-jack-up-vessel/articleihcneptunejackupmbh.pdf)

[/media/royalihc/image-carousel/products/product-images/offshore/heavy-lift-and-wind-farm-installation/heavy-lift-jack-up-vessel/articleihcneptunejackupmbh.pdf](https://www.royalihc.com/-/media/royalihc/image-carousel/products/product-images/offshore/heavy-lift-and-wind-farm-installation/heavy-lift-jack-up-vessel/articleihcneptunejackupmbh.pdf)

royalihc. (z.d.). IHC hydraulic jacking systems. Geraadpleegd van [https://www.royalihc.com/-](https://www.royalihc.com/-/media/royalihc/products/offshore/heavy-lift--wind-farm-installation/hydraulic-jacking-system/ihc-jacking-systems.pdf)

[/media/royalihc/products/offshore/heavy-lift--wind-farm-installation/hydraulic-jacking-system/ihc-jacking-systems.pdf](https://www.royalihc.com/-/media/royalihc/products/offshore/heavy-lift--wind-farm-installation/hydraulic-jacking-system/ihc-jacking-systems.pdf)

Rui, W., Changzheng, L., & Xiaofei, Y. (2018). *Application of Sub-Bottom Profiler to Study Riverbed Structure and Sediment Density*.

Sadeghi, K., Al-Koily, K., & Nabi, K. (2017 december). *GENERAL GUIDANCE FOR THE DESIGN, FABRICATION AND INSTALLATION OF JACK-UP PLATFORMS*.

Geraadpleegd van

https://www.researchgate.net/publication/322583136_GENERAL_GUIDANCE_FOR_THE_DESIGN_FABRICATION_AND_INSTALLATION_OF_JACK-UP_PLATFORMS

Sharples, B. P. M., Bennett Jr, W. T., & Trickey, J. C. (2003). Risk analysis of jackup rigs.

Marine structures, Volume 2(Issues 3-5), 281–303.

Smith, J. (2020 april). Worldwide offshore rig count and utilization rate. *Offshore*.

Geraadpleegd 11 mei 2020, van <https://www.offshore-mag.com/drilling-completion/article/14174784/worldwide-offshore-rig-count-and-utilization-rate>

- Society of Petroleum Engineers. (2015a, 2 juni). History of offshore drilling units -. Geraadpleegd 11 augustus 2018, a van https://petrowiki.org/History_of_offshore_drilling_units
- Society of Petroleum Engineers. (2015b, 25 juni). Jackups -. Geraadpleegd 3 mei 2019, b van <https://petrowiki.org/Jackups>
- SOLAS. (2010). Solas Chapter V - Regulation 3—Exemptions and Equivalentents. Geraadpleegd 13 mei 2019, van <http://solasv.mcga.gov.uk/regulations/regulation03.htm>
- Speight, J. G. (2014). *Handbook of Offshore Oil and Gas Operations*. Elsevier.
- STC. (z.d.). HUET (OPITO 5095). *STC KNRM*. Geraadpleegd 5 mei 2020, van <https://www.stc-knrm.nl/trainingen/huet/>
- svg. (z.d.). St. Vincent & the Grenadines—St Vincent Flag. Geraadpleegd 6 mei 2020, van <http://www.svg-marad.com/home.asp>
- Tanaka, S., Okada, Y., & Ichikawa, Y. (2009). Offshore Drilling and Production Equipment. *CIVIL ENGINEERING* (Vol. Volume II, p. 30). Verenigd Koninkrijk: EOLSS Publishers.
- The rig museum. (z.d.). The Rig Museum, Mr. Charlie—Morgan City, Louisiana. Geraadpleegd 11 augustus 2018, van <https://www.rigmuseum.com/charlie1.html>
- Tirant, P. L., & Pérol, C. (1993). *Stability and Operation of Jackups*. Editions TECHNIP.
- Ullah, S. N., Stanier, S., Hu, Y., & White, D. J. (2017). Foundation punch-through in clay with sand: Analytical modelling. *Géotechnique*, (67 (8)). doi:10.1680/jgeot.16.P.101
- Umair, I. (z.d.). The Deepwater Horizon oil spill led to new rules. Trump repealed them. - Vox. Geraadpleegd 27 mei 2019, van 23 juni 2018

- Van Essen, J. (2013). *Operational window for touchdown of jack-up barges*. (TU Delft).
Geraadpleegd van <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A244c2de9-f7fd-4ba8-b0f3-2755b4a7986f>
- Van Os, J., Caires, S., & R.A., M. (2011). *Guidelines for Metocean Data Analysis*.
Geraadpleegd van
https://www.researchgate.net/publication/259264438_Guidelines_for_Metocean_Data_Analysis
- Vikas Suryavanshi. (2011, 15 april). *Final project*. Geraadpleegd van
<https://www.slideshare.net/vsvppt/final-project-7641331>
- VLIZ. (z.d.). Singlebeam sonar. Geraadpleegd 2 april 2020, a van /nl/singlebeamsonar
- VLIZ. (z.d.). Multibeam sonar. Geraadpleegd 2 april 2020, b van /nl/multibeam
- White, M. (2016, 2 november). *Site-Specific Assessment Analysis of Jack-Ups Part 3: Key Features of an SSAA*. Geraadpleegd van https://www.dnvgl.us/Downloads/3%20-%20Key%20Features%20of%20an%20SSAA%20and%20Design%20Topics_tcm14-80216.pdf
- White, M. (2016). *Site-Specific Assessment of Jack-Ups Part 1: Jack-Up Basics & Why We Do Site-Specific Assessments*. Geraadpleegd van
https://www.dnvgl.us/Downloads/1%20-%20Why%20Site-Assessment_tcm14-80214.pdf
- White, M. (2016). *Site-Specific Assessment of Jack-Ups Part 2: Background to Code Developments—SNAME & ISO*. Geraadpleegd van
https://www.dnvgl.us/Downloads/2%20-%20Code%20Developments_tcm14-80215.pdf
- White, M. (2016d november). *Site-Specific Assessment of Jack-Ups Part 4: Example Calculation and Stretching the Boundaries*. Geraadpleegd van

<https://www.dnvgl.us/Downloads/4%20->

[%20Example%20and%20Stretching%20the%20Boundaries_tcm14-80217.pdf](https://www.dnvgl.us/Downloads/4%20-%20Example%20and%20Stretching%20the%20Boundaries_tcm14-80217.pdf)

Wöfl, A., Snaith, H., Amirebrahimi, S., Devey, C. W., Dorschel, B., Ferrini, V., Huvenne,

V., e.a. (2019). Seafloor Mapping – The Challenge of a Truly Global Ocean

Bathymetry. *Frontiers in Marine Science*. Geraadpleegd van

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2019.00283/full>

Lijst van bijlagen

Bijlage 1: Tabel om de waarde van N_c .sc.dc te bekomen

Bijlage 2: Tabel om de waarde van N_γ te bekomen

Bijlage 3: Interview François Vranken (Eerste officier/DPO aan boord van de Neptune)

Bijlage 4: Interview Geoffrey Haine (Geotechnische ingenieur bij DEME Offshore)

Bijlage 5: Interview Mark Hayward (*Head of advanced engineering & consulting* bij DNV GL Londen)

Bijlage 1

Tabel om de waarde van $N_{c.sc.dc}$ te bekomen

Table E.1-1 — Values of $N_{c.sc.dc} = [(Q_{sc} / A) - \rho'_{sc}] / \lambda_{sc}$ for cone angle $\beta = 60^\circ$

ρ_{sc} / λ_{sc}	DNB	Roughness factor $a = a_c / \lambda_{sc}$					
		0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
0,0	0,0	4,45	4,96	5,45	5,90	6,32	6,69
0,0	0,1	4,68	5,19	5,67	6,12	6,53	6,90
0,0	0,25	4,98	5,50	5,96	6,40	6,81	7,18
0,0	0,5	5,41	5,90	6,37	6,81	7,21	7,57
0,0	1,0	6,07	6,55	7,01	7,43	7,84	8,18
0,0	2,5	7,33	7,81	8,25	8,66	9,05	9,39
1,0	0,0	5,81	6,51	7,15	7,77	8,34	8,87
1,0	0,1	5,92	6,59	7,23	7,83	8,38	8,89
1,0	0,25	6,04	6,70	7,30	7,88	8,42	8,91
1,0	0,5	6,20	6,84	7,41	7,96	8,47	8,94
1,0	1,0	6,43	7,05	7,58	8,12	8,59	9,03
1,0	2,5	6,97	7,55	8,08	8,54	8,98	9,39
2,0	0,0	7,14	8,02	8,84	9,60	10,32	10,99
2,0	0,1	6,92	7,73	8,49	9,21	9,88	10,50
2,0	0,25	6,74	7,50	8,18	8,84	9,46	10,03
2,0	0,5	6,59	7,29	7,91	8,53	9,09	9,61
2,0	1,0	6,55	7,20	7,76	8,33	8,83	9,30
2,0	2,5	6,99	7,49	8,03	8,50	8,95	9,37
3,0	0,0	8,49	9,54	10,50	11,42	12,29	13,10
3,0	0,1	7,77	8,70	9,56	10,38	11,14	11,85
3,0	0,25	7,24	8,03	8,80	9,53	10,20	10,82
3,0	0,5	6,82	7,56	8,21	8,86	9,45	10,00
3,0	1,0	6,60	7,27	7,85	8,44	8,94	9,43
3,0	2,5	6,99	7,47	8,01	8,49	8,94	9,36
4,0	0,0	9,83	11,02	12,16	13,24	14,26	15,18
4,0	0,1	8,51	9,52	10,48	11,38	12,22	13,00
4,0	0,25	7,61	8,44	9,26	10,04	10,75	11,41
4,0	0,5	6,97	7,74	8,41	9,08	9,69	10,28
4,0	1,0	6,64	7,31	7,90	8,49	9,01	9,51
4,0	2,5	6,86	7,45	8,00	8,48	8,94	9,35
5,0	0,0	11,17	12,52	13,83	15,06	16,20	17,26
5,0	0,1	9,14	10,23	11,26	12,25	13,15	13,99
5,0	0,25	7,90	8,78	9,63	10,43	11,17	11,87
5,0	0,5	7,08	7,84	8,55	9,24	9,86	10,45
5,0	1,0	6,66	7,32	7,94	8,53	9,06	9,56
5,0	2,5	6,85	7,44	7,99	8,47	8,93	9,35

Bron: ISO/FDIS 19905-1 (2012); Annex E.1

Bijlage 2

Tabel om de waarde van N_y te bekomen

Table E.2-3 — Bearing capacity factors (N_y) for a conical apex angle of 120°

$\beta = 120^\circ$			
$\phi' (^{\circ})$	$\alpha = 1$	$\alpha = 0,8$	$\alpha = 0,6$
20	3,37	3,15	2,81
25	7,46	6,99	6,05
30	17,58	16,80	14,30
35	44,73	42,99	35,79
40	129,40	124,90	103,30

Table E.2-4 — Bearing capacity factors (N_y) for a conical apex angle of 150°

$\beta = 150^\circ$			
$\phi' (^{\circ})$	$\alpha = 1$	$\alpha = 0,8$	$\alpha = 0,6$
20	2,72	2,61	2,39
25	6,44	6,13	5,60
30	15,93	15,13	14,02
35	42,36	40,42	36,41
40	128,10	120,50	110,50

Table E.2-5 — Bearing capacity factors (N_y) for a conical apex angle of 180°

$\beta = 180^\circ$			
$\phi' (^{\circ})$	$\alpha = 1$	$\alpha = 0,8$	$\alpha = 0,6$
20	2,16	2,04	1,99
25	5,27	5,37	5,14
30	14,13	13,91	12,98
35	42,56	40,93	36,81
40	129,40	121,50	117,00

Bron: ISO/FDIS 19905-1 (2012); Annex E.2

Bijlage 3

Interview François Vranken (Eerste Officier/DPO aan boord van de Neptune)

Are there limitations when using the crane because of the legs?

This will depend on the location specifications. For example, in this case it will not be possible to turn the crane towards the legs but let's say if you are jacked up higher than the crane can pass over the legs. Most of the job is the positioning of the vessel. We have to position the vessel so that we have the best angle for the crane. We also have to take into account the limitations of the crane. The crane is 600t but this is limited to 23 meter radius so it depends on the load that we have to take, how far we can be from the structure. So for example when we have a high load then we have to be as close as possible. Because the further we are from the structure the more capacity we lose. So we want to be close to the structure to use the full capability of the crane. Our crane is on the portside so it is best to position the crane so that the structure is on the portside. Doing so we minimize the distance from the crane to the structure and so we can use the full capacity. Within the 23 metres of radius we have full 600 ton capacity. But most of the time it is not really an issue because the biggest nozzle we took were 240 t or something like that. Only when removing very heavy structure the issue rises.

On the specifications document of the Neptune is mentioned that the payload is 1600 mt.

What is meant by this and does it include the weight that the crane is transporting during the operation?

Actually the payload depends, it is contractual. We can have like an temporary increase, because the jacking system is stronger than the 1600 mt. But off course this depends on the condition. This has to be assessed by the manufacturer and the classification society and they may raise the payload with 300 mt for example. But you have to see how we calculate this in total elevated weight. So total elevated weight of the vessel is supposed to be 6000 t and can be increased to 6300 t and actually the system is able to go way more. And the lightship weight is 4400 so the payload is indeed somewhere about 1600 mt. But that is not the displacement of the vessel because when we speak of total elevated weight, what you need to understand is that you don't take into account the legs. Because you are climbing on the legs. So the weight of the legs is not counted in the elevated weight. Because they are not part of the ship anymore. They are on the ground, we climb on them and so it's the weight of the

platform that is taking into account. So when we are in the water and let's say we have reached the 6000 t, the complete ship and cargo, but on top of that we have to add 1600 and something ton of legs. So when we are in the water, the displacement is bigger.

What is the between legs with the pin and hole system and legs with rack and pinion system?

What you have to see is that is it all about cost, maintenance cost and speed and strength. So if you have a rack and pinion system, so this is an electric system and you are going up and down on this lattice structure. The most defence of that system is that these systems are faster, they are also cheaper to build so you gain time on the operation but assumed they have more wear and tears because of those small pinion that are going on the rack. there is a lot of wear and tear and then we have to exchange them from time to time. And this is also costing a lot of money. But you gain operational time, so it's a matter of decision with a new build, what do you want exactly, if you want to save on the new build, if you want a vessel that is faster in operation. But it is also a more fragile system, because the lattice structure is less strong than a full steel cylinder like we have here. So sometimes you bend a bot your legs or stuff like that. And if you have a lattice structure then you have to have spudcans on the bottom of the legs. These are kind of shoes and it is used to spread the pressure. Also, if you have a rack and pinion system, you need to do the preload with ballast water, because you cannot push too much. With a hydraulic system you can push as much as you like on the legs. With the limit of the pump pressure off course. So you can reach your preload pressure only with your hydraulic system, if you use a rack and pinion system you need to add weight to the vessel to make your preload. So okay it is going faster, you take the ballast water to make your preload, but if you fuck of your preload, you will have to go back into the water and refill your ballast and do it again. Also on this vessel the jacking system, it's a hydraulic system, we don't have footings. We can push with maximum preload capacity only by hydraulic. So actually it is really safe. We have no spudcans and jetting system on this ship. We can inject water, with high flow and a bit of pressure, under the legs to release them. Because it is all about, where are you going to use your jack up. So the soil condition is really important. For example, here we don't have the spudcan, we have a jetting system, we have a good and powerful hydraulic system. So also it is less prawn to failure, because the system is so strong. We can go in places where the other vessel cannot go. For example, at some place we have 30-32 metres of penetration in the ground. If you put a lattice tower into 32 metres of mud, good luck with

taking it out. It will take days. Sometimes a vessel with rack and pinion system they get stuck somewhere. And then they are busy for 6-7 days to retrieve the legs. For example, in the UK, it is a really bad soil condition because of all the gravel, and the sandbanks. And under that it is full clay. So there it is safer and more practical to use full hydraulic system because then you can go deep in the ground and it will not be an issue to retrieve the leg. This is because of the jetting system.

How do you maintain the legs?

Yes, so that is sometimes an issue. It is not really an issue for the system, it is just making it slower, because for example let's say you are working somewhere where there is a lot of clay in the soil. Then the clay will enter the leg and you will notice this when the legs are free from the ground. The pressure on the system will be a bit higher than usual, then you know that there is extra weight in the legs, that's mud. The mud is there so you will have to clean it. Cleaning it is not a pleasant job, you take a shovel and firehoses and you start cleaning it. Sometimes it will take some days. Sometimes it is also possible to lower the leg during the transit and then go not too fast, to put not too much stress on the structure. And we try to wash the clay out by the movement of the vessel. The legs are constructed out of high quality steel, it is normal that it rusts a bit. It also has a thickness of 3 cm so this is not really a problem. And every time you lower or hoist the legs they are cleaned by the friction. It is not an issue so that is why we don't paint. But this is the Neptune, we have empty spudcan, but if you look for example to the Thor, he has fully enclosed legs. So actually the holes where the pins are coming in are all protected by a structure to be sure that the mud doesn't get inside. This is an advantage and a convenience. With us for example, the leg is full of mud but because it is completely empty so if you push the pin will always go in. On the Thor, because the holes are fully enclosed, what can happen, and it happens sometimes, is that the mud is so stiff that the pin cannot go in the whole because it is full of the mud. And also, when they have to do a leg inspection, then it is becoming a problem because it is all void space on void space. So the procedure to inspect the legs is a big drama. It requires a lot of logistics because you have to open all those void spaces which are normally never opened.

Why are the tops painted in a different colour?

Actually here it is to show the limit, you cannot go higher. The legs here on the Neptune are 80.4 metres long and the maximum length of the leg under the hull is 62.7 metres. But if they agree we can provide. The last hole on the white zone has a steel piece that is there to make sure that the safety pin cannot engage with this hole. So it cannot go higher than that. This is a safety precaution. It will stop because of course the limit switch will be activated and it will not be possible to go any higher. The jacking up of the leg is stopped when the pin isn't able to go into the hole. This is because it cannot release the walking ring when the holding ring isn't able to engage with the leg. The company can also make the decision to extend the length of the legs by some metres. This is up to the company and up to the job that you have to do. If there is a contract that requires this ship to go to deeper places and the money of the contract is worth it then it is possible that the company will make the investment to longer the legs. The last plan that they had was to add, from under, another 8.4 metres pieces with a kind of footing. This was for a special kind of contract that later was cancelled. In these case to plan was to extend from the top but it can also be extended from the top. That all differs on the project, on the money and every time there is a different engineering solution. That is one of the strength of DEME, they developing their own pieces of technology and they have their own big engineering department. There are many solutions to reach the same outcome. For example when they were planning to add some length from the bottom, there were 2 plans, one was to do it in a dry dock and the other one was to do it subsea. They were planning to raise the legs as high as possible and then add the part under water. Engineers of the manufacturer then had to come on board to safely raise the legs above their normal height.

What calculations and assessments are made before the Neptune, or another jack up vessel goes to a location to start a contract?

For jack up it is really important that you have a proper site specific assessment. That means that they go to the place and they make a borehole. They know the vessel, the characteristics, they know the friction, how much pressure we push and that kind of stuff. They will give you an estimate of how much they expect the leg to penetrate in that location. Regarding the characteristics of the leg and the pressure that you are pushing on them during the preload. So you see the different geological layers, if you have mud, sand, sometimes you can see the change between the glacial and non-glacial age. When you start to preload, you will push the leg in the soil and you want to reach a strong layer, a layer at which the vessel will not move,

so that you can go up and not move. And that you can keep the vessel stable and strong during the lifting operation. Because when you start to move a weight of 200 tons around with the crane you will have a big change in your centre of gravity. And you want the platform to be stable.

Can you tell me a bit more about a punch through?

That is the worst thing that can happen. So basically what it is when you have pushed and put your legs as deep as possible, as good as possible. Then you go out and you start your operation but the ground under one of the leg is actually not that stable and slowly the pressure of the weight of the vessel on that specific point start to pierce trough the layer and then the vessel starts to incline. You can have it slow or rapid and that is a big problem. A while ago we had a small one in the port of Antwerp, but it was controllable, we were still in the preload and then you see it. you have a drop of pressure on one of the legs and then you have to push that leg as fast as possible in the ground so that you can keep the vessel upright. And then you have to redo the preload. In this case we were still on the water but when you are up you will have to try to go down if it is still possible. To reach of the water. So the reaction to a punch trough is more operative dependant and depending on the condition. But that is a really bad thing to happen. That is why we test the ground. As for the manual of the vessel, we have to test it minimum 30 minutes per pair (legs). So we when we preload, we preload per pair. We do 1 and 3 and then 2 and 4 and we test them for 30 minutes at the end of the preload. And we consider that it is okay only if after these 30 minutes waiting and pushing the maximum pressure we can push, we don't lose pressure, we don't change angle of the vessel. Then okay, you have a good chance that it is okay. But sometimes it can happen that anyway you will have problems, you have especially these kinds of problems when you have footprints of a previous jack up. Because off course they all push at a different pressure, depending on the spudcan and the weight and size of the vessel. The problem is that they have compacted the soil at that place. So it is important to know when you are in a footprint that is why bathymetric studies are so important. When you are in the footprint of another vessel you want to push a bit more because you want to pierce this compact layer that is been compacted by the previous jack up. And try to go under it, because for example, let's say Innovation is a really big vessel. It also has gigantic spudcans, so he has made it's preload. Because of the huge spudcans he has spread the weight of the vessel over a way bigger surface. So he actually has put less pressure, but he compacted the soil. If we come and we have one leg in a

footprint of the Innovation then we have to push and have to make sure that we go through the layer that the Innovation has compacted because we push more than the innovation. This is one thing but you can also have another problem, if you are close to the footprint of another vessel it can happen that your leg can slip in the existing footprint, this is really dangerous when you have no penetration in the soil. This was the case a while back in the gulf of Mexico. Then you have the risk that the vessel will collapse. So that is also something to take into account. So it is really important when you go somewhere to have a good soil investigation, so that you know what you are going to reach. So the penetration, what kind of soil it is and also it is important that you have a good bathymetry. That is why we have this GPS system. This is what the company gave us. It is a drawing with the bathymetry all around. So for every point as you see, you have the dept. The system is all connecting together. And the systems knows, because you have a really precise GPS system from the DP. The systems knows exactly at what height is the hull of the vessel, he also has models of the tide because you have to take into account the height of the tide, it knows what is the water depth, he knows how much leg there is under the hull and so it is able to calculate the penetration the leg into the ground. So we follow this. And here you also can see the footprints of all the vessels.

In the specifications of the vessels it states that there are 5 moon pools here. Why are they used?

Okay, so you have moon pools here. The big ones are deck hatches and are used to go under for example to drop some pallets and some equipment's or stores. And the small ones are moon pools and basically they go through the complete hull. The usage of these is up to the client, sometimes they want to take some samples, drop something or drill a hole. We also use them to lower some positioning equipment, like for example can be used with positioning systems for a ROV, we can drop the beacon to follow where it is, related to the ship. Sometimes it is also used to throw some water over board, there are small moon pools.

Can you describe a typical jacking operation?

When you are in a jacking operation, positioning alongside the structure is a coordination between the DP operator and the jacking operator. The 2 systems work together in the first phase. They influence each other: when can you lower the legs, the legs have an effect on the DP, the DPO has to keep the vessel in a certain position and then also the jacking operator is telling to the DP what he is doing and vice versa because at some point the legs will touch the ground. From the moment the legs touch the ground, the DPO has to be informed because it is really important that we need to freeze the current. Because what is happening is that we are never in the exact position, in good condition it is within 10 centimetres and when it is moving a bit it is within 20 centimetres. Which is really good because positioning 6300 ton vessel within 10 centimetres is not easy. It is a strong vessel. So from the moment we have touched the ground, let's say we are 5 centimetres of the DP target, the DP system is saying 'I'm not there, I want to go to my point', so it starts pushing on the thrusters, but we are not moving because we already have touched the ground. So he gives more thruster and you want to avoid this because otherwise the engine can give such a trust that can cause the dragging of your vessel and then you can make a jump, hit a structure or an underwater cable or something else. So from the moment we touch, you freeze the current and then the DPO knows he cannot counteract any other environmental parameters, from the moment we touch we freeze these parameters and then he will not thrust more than he needs to. He will just counteract these frozen parameters. And it is the same story when we go away, you have to be in coordination because it is risky and you have to make sure that you for example don't hit a structure when going away so the DPO has to know at what moment he has to counteract the current. It is for example good practise to move away from offshore structures when you are in a blow off situation. You can find more information about this in the GOMO. So this means that when we are going away we try to have the current pushing us away from the structure, off course this is not always possible, it depends from your position towards the structure. Like in most cases the big ones have already the good spots. We mostly have the current crosswise so from the front to the back or from the back to the front. That is why we have such a strong vessel. And then you have to decide what is the best moment regarding the position of the underwater cable and this kind of stuff and then you go away. To go away there is a IMCA guideline, this is not company constricted. The assure guidelines for the jack up DP. It takes into account a lot of different situation an gives you guidelines of how to go away. Every case is different. Okay continuing my story, we receive the bathymetry, the

hydrostatic data, we have the admiralty tide table and they gives us a general idea of what will be the current at what time but this is only mathematic so except if the client himself recorded the data on the side you have to crosscheck it because most of the time you are at a special position and you can have some offset. So for that we have what we call a current-fish, this is like a torpedo that we drop into the water and this is giving us the direction and the speed of the current and then we crosscheck this and we make sure that we are in the correct situation. We look what kind of offset we have from the data. And then we can validate the data and choose the right moment and off course you should not forget to take it out because otherwise it will go into the thruster. On a jack up vessel it is also really important to monitor the environmental conditions not only you have to be inside the design limitations of the vessel but you must also stay within the limitations that are decided for the specific project by the insurers company and the client regarding the cargo. So the wind speed has an importance but for us the most important thing is the period of the swell and the height of the waves because you don't want the vessel when you are positioning for jacking or going away, you don't want the vessel to start banging in the waves because otherwise, especially when you have a hard soil like the sand or something like that. You don't want that because of the rolling or pitching of the vessel that the legs start banging on the seabed because then all the shocks are coming up in your structure and it can damage the support of the jacking system but also the hydraulic cylinder and everything. You have to be careful with that. When the conditions are bad the captain, the maritime surveyor, the client, project engineer will have a meeting on the bridge and then they will decide if they will take the risk or not. That is why the weather forecast is really important for us and that is why we get different ones. We never only use 1. We look at all of them. This ship is also fully equipped with weather monitoring equipment, we have 2 wave radars, wind sensors. So we cross monitor all this. The weather is not only important when sailing and during the jacking operation but also when using the crane. What you have to see is that we are really high when we start working at the windmill and then you have to take into account what the wind speed is at 100 metres or 150 metres for example. That is where the job is. So before a project it is important that you have a ship in a good condition, a good SSA, a good bathymetry, good hydrographic data's, good weather forecast and monitoring equipment.

When comes the DPO on board?

Here we are all DP officers. Here we do a 12/12 shift so there are always 2 officers per shift and both of them are DPO, because it is a IMCA regulations that during an operation , for safety, that we need 2 DPO's. Here we are all DPO and we are also all operating the jacking system. We change from time to time because it is important that when you are doing the jacking operation that you understand the DP and vice versa.

You have jack up platforms and jack up vessels, what is the main difference?

This is a vessel, We can sail like a normal vessel. We have an IMO number, and every other thing that is required on a normal marine vessel. You also have jack up barges, you see a couple over there. Those vessel don't have their own propulsion so those on is basically a pontoon that you tow with a tugboat to the place of the operation and then you jack it up and it is 'finito'. They need a tugboat, some can position with anchors, others cannot so they have to be towed by a tugboat. That is the main difference. This is a real vessel so it is SOLAS, it is completely following all the rules of merchant vessels. A jack up barge is different, they will follow the rule of the MODU. It is a different code, it is also issued by the IMO but it is a code that is made for the platform, the non-sailing vessel. With the DP system you save a lot of time, it is also very precise but it is also possible to position very precise with anchors or tugboats. This is more time consuming and it also means that you need tugboats, one or two, you will have to pay a lot of fuel so it also more cost effective to use a DP vessel, it is also faster. Nowadays jack up vessels are mostly used to install wind parks and this is a lot of small structures. This means that you have to move often to another location in the same park. You have to do many locations in one trip. You don't want to lose time because you have a lot of running cost. So you want to be able to move as fast as possible to your next location by yourself because time is money. So that is why the barges are not used anymore, maybe only for small jobs but not in the wind parks.

Can you explain the jacking system a bit more to me?

So basically as you see, this is the jacking console. That is the joystick that you use to control the movement of the piston and the cylinders so how you move the legs up and down. And how you move the vessel up and down the legs. Because these are 2 different things. What is important to understand is the transfer of weight that will operating between lifting or lowering the legs and lifting or lowering the vessel on the legs. Here you can select the program because we have different programs which reaches a different pressure and those programs are depending on what you are doing. Let me describe a typical operation. The system is warm, running. We open the main shut off valve. And we are on DP and then we will start by lowering the legs. So we lower the legs, we will try to move them all together except if you know that you a big difference in the bathymetry then you will try to align your legs so that they have the same difference as you have on your bathymetry because you want them to touch the ground all at the same time. So you continue and keep an eye on the pressure and from the moment they will touch you will see this value dropping because there is the transfer of weight. So you know that you have touched and you tell it to the DPO. He then freezes the current and maintain the position. I forgot to say: when you position you don't lower your last stroke to touch the ground before the DPO has told you that he is happy, and that you are in the good position.

So we stop the lowering just above the ground. And then the DPO positions the vessel as close as possible to the target. And then the DPO will inform the jacking operator that he is at the position and then you can lower the legs further. And when the legs touch the ground the jacking operator says to the DPO that there is contact with the ground. And then we freeze the current and continue the jacking. You go to the end of your program and then you change your plan, you reduce your draught. You see that you want to go to the end of your program because it is always changing the pressure that you put and as you see here it is also changing where the pressure is coming from, is it coming from the top or from the bottom? That program is when the weight transfer is happening, the weight transfer from lowering the legs so holding the legs and holding them and when they touch and then the moment when you start to put the weight of the vessel on the leg, so pushing on your leg, so your legs start penetrating, you keep continuing. Until you reach the layer you want to reach. Then you change your program again, you chose the pontoon lifting. You continue but you stay in the water, because you have your cooling system that is running so what is happening is that

normally this vessel has a draught, when you are loaded and in operation, around 3,6 metres let's say plus the thrusters because the thrusters are under the hull. So the total draught is 7,2 metres let's say but we have 3,6 metres hull draught, okay? But there is the sea inlet for the cooling water for the generators, so off course when we go out of the water, we will put this out of the water. So at the point, that mostly corresponds with the end of 'the increase draft program', when you are somewhere between 1,8 - 2,3 metres draught, you stop. We stop the engines, because that is good, that means that you are already good in the ground and that the vessel will not move. You are still in the water, a bit floating here and there but not completely, a part of the weight is on the legs and a part of the weight is on the hull. And you stop your engines, so the DP part is finished. And then engineers will go to the back of the vessel and they will lower these big hose that you see. Because they need to transfer the cooling water from the sea chest to the hose and reel pump. Because when you go out of the water, off course you cannot suck the seawater in. So you will take the cooling water through those hose and reel pipe. On this vessel it is a hose and reel but on some other vessel it is somewhere in the leg or it is a big pipe that goes through a moon pool. It is a different system on different jack ups. And then you start again when they say you that the system is up and running. Then you continue, you raise just, let's say, 60 cm of draught or something like that and then you start your pre- preload because you don't want to have a punch trough or have a problem when your ship is out of the water, you want to start already to test your soil as much as possible when you are still in this position. And then in case you have a problem you can quickly go back in the water. But this is something you do because you have a hydraulic system, you don't do this on the other vessels as far as I know. Because with the hydraulic system with only 60 cm of draught, you can already reach the maximum pressure but that is something that you don't have on the other vessels. So you do that, you test your soil, you push and push, always crosswise. Then when you are happy, your pre- preloading is done and the vessel is not really moving your ship out of the water. And then you go a bit up and then you will do another preloading. What I tell you here is what we do here, it is not really by the book. We already do the pre-preload with the maximum pressure because we want to be sure. So you go a bit up and you redo your preloading, one more time. This is the long preloading where you will test each pair for minimum 30 minutes, also depending on the site. Sometimes it can go up to 1, 2 or 3 hours. We sometimes do a preloading of 6 hours. If you see that it is still moving, if you see you lose pressure, that means that is not good and you continue, for the safety of the operation. You do that pair by pair and when you are happy, when you made

sure that it is not moving anymore. Then you can go up to your walking height. The program is then the pontoon lifting mode. When you go down, you go to the pontoon lowering mode, you reach the water level. Then you go to the 'increase draught' at some point you stop. Because you want to change again to the sea chest. They retract the hose and reel and you make sure that they are out of the water before you start your thruster. And you continue, then you go in the water and you take your draught and after that you start the leg pulling. That means that you will have an extra power that will make it possible to extract your legs. You do it crosswise, by pairs. Sometimes they get stuck, and that is something that you don't want. So if they get stuck, we have the jetting system. What we do is we basically connect those pipes on the another pipe that is inside of the leg and that goes through the whole length of the leg to the bottom. And there you have nozzles and we inject water with pressure and high flow under each leg. And with this what is happening is like you have a boot and your boot is stuck in the mud. If you pull too much then your boot is staying in the mud and you end up stuck, it is the same for us. So by injecting this water you fill up the gap and you also lubricate the side and you remove a part of the friction. You extract your leg from the mud. After this you continue your leg pulling and when your leg gets free from the ground, you see it on the pressure, it is all about which pressure you see. When you see that it is dropping, that is okay. It means that the leg is out of the ground and you only have the weight of the leg on the cylinder. Then you take everything inside and it is finished. You have to speak with the DPO because you go away on DP. If you know that you may have a problem for extracting the leg with the jack up, it is really important that you don't get stuck with low tide because if you are stuck and the water is rising then you will transform your ship into a submarine. So you always, when you have a big penetration and you know that you are going to use the jetting system then you always do that around the high tide.

Bijlage 4

Interview Geoffrey Haine (Geotechnische ingenieur bij DEME Offshore)

What is the first thing that you do when you hear that DEME is in the running for a project?

So first you need to know if you have soil data, because to be able to do leg penetration assessment, you need soil data in order to see what will be the reaction of the soil. That will be the first part. Normally if a client is asking us to go there, he has already some data. Not every time of the exact position but of the area. It depends on the work that you are planning to do. If it is site investigation for example, than for sure you will not have data of the exact site of the jack up, because that's the point (job) of the jack up. But if it's for oil and gas or renewable, then most of the time you have soil data next to the location you want to excavate. So if you are working for an offshore farm for example, the site investigation has been done by the client and then you receive a CPT of a borehole that is close to the where you will go and based on that you do your leg penetration assessment. So from that you will have expected leg penetration and then you will have to do site specific assessment, to see what is the required preload that you have to apply to work safely. So it will depend on the type of operation that you will do. wheatear you expect to have and stuff like that.

So let's say that there are no data from the soil so than DEME itself will go to the place and then they will just sample the ground themselves?

Normally not, depends on the contract. But if you don't have any soil data you will see if it is a well know area. Then you can use the geology, for example if you go to the German bay. You know that you will most probably you will encounter shallow penetration. If it is not a known area then we can ask the client: 'Okay dear client we will not go there unless we have some data.

How is a soil investigation carried out?

Do you know CPT? it's a cone penetration test. It's for soil, so basically you have a cone. where you record the resistance at the tip and the sleeve friction and then it will be used to characterize your soil. From the type of resistance you have you can derive which kind of soil you have, for example this is a layer of sand and this is a layer of clay. This is the expected strength of the clay and then based on that we can do the leg penetration calculation and we will derive the expected leg penetration. With this cone penetration there is correlation and

will we derive if it's sand or clay. A certain value of penetration corresponds to a certain soil type. If you have a high QC (cone resistance) and a low friction ratio then you know it's sand and when you have a lower QC and a higher friction ratio then you know it's clay. Then you can derive the strength of the sand and the strength of the clay. From that you have methods to calculate the leg penetration. You have codes, the latest one is the ISO and it is used to do the leg penetration. We have a software to calculate the leg penetration.

Can you explain the leg penetration curve a bit more?

That is actually the result of a leg penetration. It is not possible to exactly assess the strength of the soil, so we are using lower bound, best estimate and upper bound. And then it will give you a range of the behaviour you can expect. That will be the curve that you will have. For example, this is the smallest penetration so it's the high estimate of the soil properties, so the soil is the strongest that you expect it can be. It's the best estimate. And then that is the lower bound so the soil is weaker than you expect. The red is the required preload that you have to achieve. This is the resistance of the soil and this is the preload that you will apply so it means that if you apply that preload you will, according to our calculation, penetrate around 4-5 meters in this case.

So first you have the data from the soil and then you put it in the software and then the software generates the diagrams that we just saw. Are those send immediately send to the ship?

No, then we do an SSA, a site specific assessment, that we can do internally but most of the time we are using a third party company like DNV, JL or Gusto. They do some checks based on the operation that is planned. If you need to lift a monopole or you don't need to lift a monopole then the worst case scenario will be different. So when you go on side you have to preload and the point of preload is that you will be sure that you will not have a worse condition during the operation than during the preload. The goal of the SSA is to know what type of preload you have to apply, to be sure that you are safe. That depends on where you are, like if you are in the Baltic the wave height will be smaller than if you are in the North over Scotland and also the job that is planned to do, the load and the required radius of the crane.

And as a result you derive the required preload from that. And then when you have the full SSA, which is the leg penetration and then the verification that you are safe to carry out your job, this is sent to the ship. And then we see, at that location wear there is a risk for punch through or not.

Besides the regular crew is there an engineer or another ground based personnel on board when jacking up?

No, this is not the case. They have a jack-up engineer and the captain can also do the jacking operation. But they are responsible. I am sure they followed a course about jacking. And they also have DP. We are also doing an introduction too all the calculation to the bridge so that they can read the graph and even understand a bit the soil if they have a CPT

What kind of footings are used on board of the jack up vessels at DEME?

Not all jack-ups with DEME have spudcans, on the Neptune for example there is no spud can for the moment. It's only the tubular leg, but for example on the Innovation, Apollo, sea installer, challenger and Thor you have a spudcan bellow. Actually it depends, with spudcan normally you will have shallower penetration but if you have deep penetration it will be more difficult to extract the leg afterwards. But normally with a very large vessel you will have spudcan otherwise you will go too deep and the leg length that you will need will be too high.

The spudcans can always be changed depending on the project. For example if you have a rocky seabed then you know that the penetration will be low and then you can install a spudcan with a rock tip to have a bigger penetration. In the SSA actually it will also be checked that the jack-up, when having a small penetration (or none), will not move over the seabed because of the expected current. And if this is the case then they will say that it is not safe to go there. And then you either have to change vessel or only working in restricted weather or change the geometry of the spudcan. But with some soil it is not possible to use jack-ups. If you have a soft soil where the leg penetrates like 30 or 40 metres and then also 40 metres of water depth then there is not enough leg length to go there. It could be possible to use a spudcan with a larger surface in this case but we don't change the geometry of the spudcan for every project because it costs a lot of money.

You can also optimize the required preload to minimize the penetration in the soil. So for example a typical case is when you have to install a monopole, normally let's say you put 3 on deck and you can chose to have only 2 or 1 on board.

Why are there no mat based jack-ups with DEME?

I don't think these jack-ups are so interesting because when you have shallow penetration or if you have a sloth then it will be much more difficult to jack-up so I know that some people are saying that 'yeah if you use a big mat on soft soil it is easier' but I don't know any jack-up like that. Because when you have a sloth or so it is not optimal. You really need a flat seabed to use it. The form of the seabed is also given by the client. They provide a bathymetry because you have to know if there is sloth for the spud cans because then there is a risk of sliding.

On board I saw a program that DEME developed where it gathers all the data that it collected like footprints and soil composition, can you explain this a bit more?

Actually that is survey program. We have a department within DEME that is only doing survey and it's from the bathymetry and also from where we know we have been and then you will try to avoid the previous footprints. I think this program shows all the footprints because when you have the bathymetry and the penetration was deep in most cases you can still see the crater of the previous footprints. So these will also be shown in the program. Before we go to a place we always ask the client if there has been a previous jack-up before, because it is always nice to have the previous record of the penetration to know more about the soil and also to avoid the previous footprint. This is shared by the client.

What are the risk with an existing footprint?

The risk is especially for jack-up with spud can. If there is a footprint, the soil will be remoulded so the properties in the footprint will be different than outside the footprint. So you have a risk that if you are half on the footprint that an inclination occurs because of the different resistance. It doesn't mean that you will fall into the water but a twisted leg with a rack and pinion and the deformation is to big then the rig and pinion system doesn't work anymore.

Do you ever use previous footprints?

Normally if you have to go in the previous footprint either it is the same vessel and then you try to have the same footprint, if it's not then you are trying to put your leg centre in the previous footprint because that is the least risk. Normally they don't have the same dimensions so you cannot always reuse the footprint but if you don't have the same dimensions then it is better to avoid the footprint.

Bijlage 5

Interview Mark Hayward (*Head of advanced engineering & consulting bij DNV GL Londen*)

At what time does your company get involved with a project?

So we are acting as consultants and providing advisory services. That is our main staple of work. That work might lead on to a roll in a marine warranty aspect. They are both a part of the site assessment. So in an advisory role, as consultants, we will really look at and analyse anything that our client wants us to look at. So that can be involved as early as supporting the customers in trying to build the projects. They require some proof that the asset is capable of working at that site. And that proof of the asset being capable of working at that site is a site specific assessment and that can be quite high level with some approximate conditions or it can be very detailed looking, in case of wind farm, at every individual location across that entire wind farm. So we might get involved at the feasibility level in supporting somebody like DEME in tendering for that work, so if they are tendering their asset for a developer, then they might look at us to support that. That's not done on every project so normally the jack-up operator has enough information to be able to tender their assets. 90 percent of our work comes in at that stage, they won a contract and they are looking to operate their asset at this entire wind farm in which there are a lot of positions, anything from 20 up to 200 because of the current size of the exciting wind farms. They need to do enough to satisfy both the developer whom they are contracted to and their insurance, their underwriters, that their assets are capable of meeting the requirements at these sites. So that's where we step in and we will look at the wind farms soil conditions, if they are uniform across that entire site then that makes life quite easy because now we only have to look at one soil profile, those layers within that soil profile and assess the structure (jack-up) for a loading condition. If the soil conditions vary across the wind farm, we try not to do 200 individual load versus penetration response plots, you can generally categorize them into groups of locations with the same soil conditions.

What are the steps chronologically that are taken when designing a SSA?

If we are starting with a blank piece of paper, if we know nothing, then the first thing we do is information gathering. So for the wind farm site we will need a site investigation survey, so that is somebody going out there and doing the ground condition tests and checks for us. They

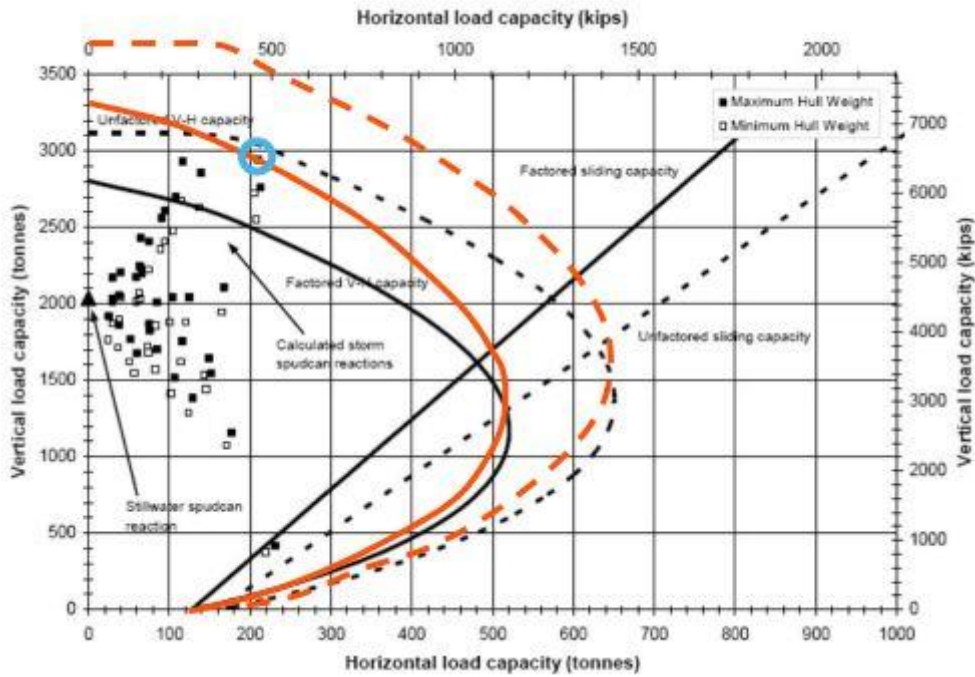
will take boreholes on the site and actually bring up the soil layers or take cone penetration tests (CPT's). That is a report that we will need, it tells us about the raw ground conditions that we will feed into our model. We need to understand about the jack-up structure itself and the loading conditions or what that jack-up is going to be doing on the location.

So if we don't know about the asset already we need to understand about those key details to be able to build a model. We typically ask for a comprehensive set of design drawings for these assets. So DEMA has the Innovation and we are currently looking at that asset for one of their sites so for the Innovation for example we asked for extensive leg drawings, these are the designer drawings for that asset. The hull drawings, the weight conditions, the crane conditions, what they will be offloading at that position. So in the example of a windfarm, how heavy the mono-piles are, how high the cell needs to go on that wind turbine. So we can then built an analytical of that asset. For example for the Innovation we have all the leg properties modelled, we have the hull properties modelled, we have the support system modelled, so the pinions in that case and the gearwheels with their strength and their stiffness properties. We give that model some hydrodynamic properties for the leg in the water, how much drag that leg would attract, we give the hull some wind properties, some wind area. To calculate how much wind loading the hull will attract. It's got stiffness properties of the leg and that leg to hull connection and everything has a mass. Not only for loading but also the dynamic effects. So we got information on the seabed condition and we interpret that into how deep our spudcans are expected to penetrate whilst preloading or proof testing the soils. We got our analytical model of our jack up, our computer simulation of what that model is, within our properties to capture how it will respond to the loadings that we are going to apply to it. And then we need the environment that it is sitting in. So we need to understand the water depth at every location, we need to understand the wind, wave and current which built up our storm loading condition. We need to understand that the weight that I have already talked about and importunately the airgap. So how far above the water the asset is going to be sitting. These are your building blocks for the assessment, you have got your soil conditions and we put them into our software and interpretation of them so we give it some stiffness parameters at the seabed. We can ran a pinned scenario where there is no seabed restraint condition. If we are a single pile leg on a hard sand that would typically just be a pinned or we can provide a fixity in the seabed where the seabed is trying to hold on to our spudcan and stop our jack up from moving around as much. So we have modelled our seabed conditions and what they are doing for us, we have our jack up properties where we

are now applying some loading to it. Our current and wind loading are just going to try and push our asset over. We know that are storm loading is not going to be a continuous nice set of simultaneous waves going through. Our storm condition is going to be a whole hodgepodge of waves conditions, small waves, big waves. So we run that storm simulation with a random sea state and that's explained in the ISO aspects which regards to some of the parameters you would look to include, including matching your maximum wave height and things like statistical parameters of that storm condition. So we will run a random storm through our model for 8 hours. And we pick out the worst dynamic response of our jack up during that time. So our jack up is going to be moving around and we are looking to make sure that we are capturing the inertia loads properly. So that's the actual analysis and I also talked about doing a one-step or a two-step approach. Where your one step is you get everything together and try to understand your seabed restraint condition as you apply your load and the 2 step approach is understand your dynamics first and make a representation of that and put it back into your model to understand whether your seabed stiffness's are going to degrade so as you apply higher load you might reach the elastic limits of your soil conditions for your fixity. And you are going to move through that elastic, plastic threshold so you won't have fixed stiffness's at the seabed. Some of that stiffness is going to degrade or give up on you as your spudcans exceed the soil limits. It might move or rotate a little. So that is the analysis and we do a whole bunch of post processing. So we look up the loads at the seabed and we see if it is stable, we look to the loads in our legs so our leg chords and our leg braces and make sure that the leg strength is sufficient at the seabed and all the way up to the top where our jack up is. We look up the loads from that leg going into the jacking system, so our pinion strength checks. We look at how much the jack up actually moves, so displacement, if it is going to collide with anything. In the case of oil and gas structures, if it is going to hit the platform. And that is really it, those are the key aspects we report. If it is stable and it is big enough and strong enough to withstand your storm condition with factors of safety build into that assessment. So we apply load factors on our loads on our loads, we apply resistance factors on our capacities so we scale up our loads and we knock down our capacities and that gap in between is your safety factor on you assessment. If we are meeting those requirements then we are good to go. The asset meets the industry requirements and they can go and operate on that location. For DEME in particular we will probably be issuing that certificate for approval. What that certificate of approval does is it validates it's insurance. So the underwriters, the insurers underwriters or brokers require somebody to do an

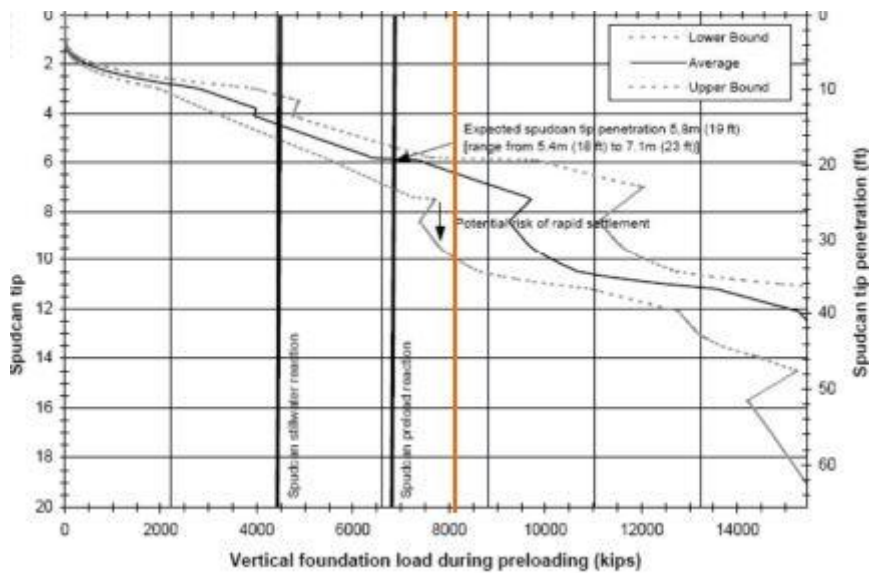
independent check and put their name to a piece of paper saying: 'we believe that asset is big enough, strong enough, safe to operate at this location.' When we are comfortable we will issue that certificate of approval and that validates their insurance.

Can you elaborate this curve please?



Figur 1: Foundation envelop

Bron: Mike White (2016)



Figur 2: Penetration curve

Bron: Mike White (2016)

This curve in particular is one of the most difficult aspects to try and explain and visualize. If we actually start with the plot on the right hand side because that is easier. So our load versus penetration plot. We are preloading or proof testing our foundation up to just over 3000 tons in this case. Our self-weight per leg is about 2000 tons and we're preloading the load at the seabed up to 3000 tons. So we are buying ourselves just over a 1000 ton margin to withstand storm loads. So you can imagine that with anything, you know your operating load is going to be 2000 tons but you have proof tested it up to more than 3000 tons and that is your margin that you afforded yourself for your storm load to sit within. So how that translates to that bow curve. So now just take a look at that plot to the left. So hopefully you have understood the vertical axis so far. So that the 3000 tons preload is our black dotted curve. So that's the unfactored foundation capacity. That's what we think the soil is good for with regards to talking load without any further displacement or settlement. The reason it is a bow curve is that we can take 3000 tons vertical load but as we then begin to increase horizontal load as well. So we are pushing it purely vertically but then if we try and start imposing a horizontal load as well, then we have to reduce that vertical capacity. So we begin to build our combined capacity envelope. So by the time we are talking let's say 400 tons horizontal capacity then we are only good for in the order of 2500 tons vertical load. Because that combined capacity is the equivalent to a pure vertical load of just over 3000 tons. And then when we go further up to 600 tons then we are reducing our vertical capacity down to something around the order of 2000 tons. So that is how the top half of the curve works. It's a representation of the combined capacity of the soil for a combination of vertical and horizontal loads. There are moment loads hidden in here as well but let's just keep it simple with those 2 plains. The bottom half of the curve when it kicks back into towards 200 tons in this case. It is a sand foundation, we know that sand is friction dependent so the bottom part half of the curve is analogist to that friction dependency. So a combined capacity as we reduce vertical load, we know that we can no longer sustain as much horizontal load. So in principle it is a lot more complicated than that and that's why the shape of the bow curve is slightly different to our sliding capacities, our purely horizontal load capacities. But that is probably enough for your thesis. So what we want to do is we want to apply a factor of safety to that, so we have proof tested our soils up to just over 3000 tons. We don't want our storm load to get right up to that load that we have proof tested it. We want a factor of safety on that . So the way we apply that is that we apply a resistance factor so we reduce our capacity that we are allowed to use in our assessment. So

that is our factored envelope. So actually want our storm footing load not to exceed that black capacity envelop. Because we still want a margin of safety on these foundation checks. Then all of the solid black dots are footing reactions from our asset in that storm condition. So we have applied storm loads in different directions around our asset because it won't be uniform. So we apply storm loads bow on and then typically 30 degrees all the way around that asset. So our storm footing loads, our footing reactions at the seabed will vary as we try and tilt our unit. What we see here is that the storm load exceeds our factored capacity envelop. So we report utilization test how much of our allowable capacity are we using. If we are using all of it, that would be a utilization check of 1. That would be if we are using a 100% of our allowable capacity. So in this case our utilization checks will be bigger than one. Something in the order of 1,3 perhaps. So what does that actually mean, it means that our storm footing load is bigger than we would like and it is not achieving the required factor of safety that is built into our assessment check. But that doesn't necessarily mean this is a show stopper, because sometimes foundation conditions are okay to support much higher loads. A good analogy here is probably the table you are working at where you got a normal operating load, just with all your kit on it and you can proof test your table. You can physically push down on your table to tents of kilo's but actually your table is good for probably 100-150 kilos perhaps. So your table is much stronger then you have proof tested it. And that will be analogist to a hard sand seabed. So we now jump back to the plot on the right hand side and go: 'okay, if we were targeting a load in the order of 3700 tons what is actually going to happen to our seabed. Would this be acceptable to withstand that storm load and build back in to that load our required factors of safety. So we know that the storm load is exceeding our target, or our ideal allowable but if we build back into that load our required factors of safety which is what the solid orange and the dotted orange envelops are doing. We know what our storm load is, we build in back in top of that storm load our required factors of safety. Where will that sit on our foundation load versus penetration response plot and could that be acceptable?

So if we were to just take the midbound or the average line on our load versus penetration response plot then the difference between that second black line and that orange line, what's our additional displacement between those 2 and that's in the order of maybe a third to half a meter. So that could be okay but then if we look at the lower bound response, the line just below that, where our soil conditions could go from something in the order of 7 metres at full preload all the way down to 10 metres under that equivalent load then that wouldn't be acceptable because that would be too much additional settlement to withstand the storm

loading. So certainly a meter and a half extra penetration on 1 or more legs, will mean a decrease in your air gap and in this storm condition that is far from ideal and that wouldn't meet the assessment checks.

ISO uses the 50 year independent extremes and the 100 year joint probability, can you explain a bit more what is meant by these values?

Independent extremes are exactly what they suggest. What is the biggest wind speed you might see in a 50 year period, a 50 year storm. Separately what is your biggest wave height that you might see in a 50 year period, typically a 50 years storm and what is your biggest current speed you might see in a 50 year period. Which might not be during your 50 year storm. So you are talking your biggest ever wave with your biggest ever wind and your biggest ever current for that 50 year period. What we see, is that in reality you might not get your biggest wave at the same time as your biggest wind speed, at the same time as you biggest current. So if we go for a 50 year independent extremes where we take the maximums, biggest wind, biggest wave and biggest current, together. In a joint probability case we now look at a higher return period, but I am coming back to that, but we take our biggest wave that we might see in a 100 year period and then look at what is the wind speed that we expect to see at the same time as that wave and what is the current speed that we expect to see at the same time as that wave. And then separately, so that is our wave dominated case, together with wind and current that you expect to see at the same time. Separately we have to see, what is our biggest wind speed and then what is our wind and current that we would expect to see at the same time as that wind speed. And the third one is obviously current, what is our biggest ever current and what is our wave and wind that you would expect to see at the same time as your current. And we would actually have to look at certainly 2 of those cases. The current case normally isn't used. Look at those 2 cases separately to see whether it is wind speed covered or wave height covered. The purpose of both approaches together with the load factors is to try and get to that 1 in 10.000 year probability of failing which is the benchmark for offshore structures. In the North sea we have to make sure that our structure has sufficient air gap to avoid that 10.000 year wave. That's come about from a number of cases in the North sea, in the offshore sector where conditions in storm conditions have been taller than people had expected and the air gap, that clearance between your flat water line and your bottom side of your keel hasn't been big enough. So within the last 10 years there is been this additional requirement for a larger air gap. Because

when a wave hits a structure and with a jack up that will be the wave hitting the hull. That was never something the unit has been designed for. The purpose of a jack up with its relatively skinny legs is to sit way above the water line and never be exposed to any wave loading other than its relatively skinny legs. So the legs aren't attracting much wave load. So the 10,000 year air gap requirement is your bottom line in series of 10,000 year data. So the minimum air gap requirement in a 10,000 year case is that the keel should be 20 metres above the water line in this case. Historically we would have taken your 50 year maximum wave height and added 1,5 metres to it to calculate your minimum requirement for the air gap. In this location that is not enough to meet your 10,000 year equivalent wave. So we take our 50 years extreme and derive our loading from those 50 year extremes and our partial action factor is our safety factor. This is where I talked about, we scale up our load. So we scale up our loads and reduce our capacities. We scale up our loads with load the factor, so by 15 percent in this case for 50 year data and we reduce our capacities. And then that is our combined factor of safety on our assessment.

How is the meteocean data gathered?

We subscribe to various databases of just this sort of parameter. So we can buy into some, what are called high end cast data sets where people have published and continuously updated datasets for, let's say the North sea because that is our playground, so there are extensive datasets already for that area which is a combination of satellite data more so these days, wave buoy data, wind speed measurements from the jack ups, jackets and now windfarms that are populated in the North sea alongside extensive modelling. So all of this data comes together for, in some cases, up to 30 years. And then put into big computer models and extrapolate that out to other values. So we buy that high end cast data and we run our own statistical analysis on that to come to the 1 in 50 year return period event. So we have 3 meteoceanographers sitting within our group who do this for us. It is important to know that those wave buoys or wind speed measurements might not be at our location. So they could be somewhere else on the North Sea and then the big computer models will map how those wind speeds and those wave conditions vary as we change water depths and as we change position around the North Sea. So you have large flow models looking at the weather forecasting where they predict how that weather is going to move and change. It's exactly that but we use high end cast data because it has already occurred. So we are mapping data that we know has previously occurred and we are building that into computer simulations or models.

In the ISO there is only talk about the lower bound penetration calculation, how is the upper bound calculated?

We have a range of strengths conditions from that site investigation data. So in our site investigation data for clays we will have a range of strength parameters. It won't be a fixed value which would be nice but there is always a range of tolerance to that clay strength so we might be looking at a range of clay strengths so thinking back to our load versus penetration response graph, we were looking on how deep our spudcans were going to go. Then we try and map that lower bound response which typically takes our weaker clay boundary. So if it's 50-100 kilo pascals then our lower bound response will be based on our 50 and our upper bound response, our shallower penetration, will be based on the 100 Kpa. And then the average is just that, we might make some recommendations to understand the coast but this solutions give a theoretical lower bound to soil resistance. So that lower bound response plot gives a boundary and actually if you are asking for our opinion, if you are betting on a response, we would generally suggest that we would not expect that spudcan to go down to that 8-10 metres on that plot that we were just looking at (lower bound) because that is the lower bound simple response strength plot but it can't be ruled out. We are not expecting it, we are following the assessment methodology, we have followed a theoretical lower bound response to that soil combination but actually we wouldn't expect it but it can't be rules out, it might happen.

