Werken op 5 nautische mijlen uit de kust

Het analyseren en herontwerpen van een modulair jack-up ponton

|Auteur: Martijn Dijkshoorn

Werken op 5 nautische mijlen uit de kust

Het analyseren en herontwerpen van een modulair jack-up ponton

Auteur:	M.N.J. Dijkshoorn
Studentnummer:	14078511
Rapportage:	Bachelor scriptie
Afstudeerbedrijf:	Baars BV
Bedrijfsbegeleider:	Maurice van Koert
Afstudeerperiode:	27-8-18 t/m 20-12-2018
Organisatie:	De Haagse Hogeschool
Opleiding:	Werktuigbouwkunde
Eerste begeleider:	Ing. R. R. van Kampen
Tweede begeleider:	Ir. L. Hollegien

Sliedrecht, 20-12-18

Voorwoord

Voor u ligt mijn scriptie 'Werken op 5 nautische mijlen uit de kust, het analyseren en herontwerpen van een modulair jack-up ponton'. Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van mijn afstuderen aan de opleiding Werkbouwtuigkunde op de Haagse Hogeschool en in opdracht van mijn stagebedrijf Baars BV. In de periode van 27 augustus 2018 tot 20 december 2018 ben ik bezig geweest met het onderzoek en het schrijven van deze scriptie.

Met een grote interesse in de techniek en een passie voor water gerelateerde technieken heb ik de opdracht zeer gemotiveerd uitgevoerd. Het afstuderen is een leerzaam proces geweest waarbij ik mijn opgedane kennis en vaardigheden vanuit school heb kunnen toepassen en verrijken.

Via deze weg wil ik graag de volgende mensen bedankt voor hun bemiddeling en steun tijdens het afstudeertraject:

- Maurice van Koert, Technisch Project Manager Baars BV
- Ir. A. van der Vlugt, Afstudeercoördinator
- Ben de vries, BEN3D
- Ad van der hoeve, Bureau Veritas
- Adam Usarek, Werkvoorbereider Baars BV

Ik wens u veel plezier met het lezen van mijn scriptie!

Martijn Dijkshoorn
Sliedrecht, 20 december 2018

Inhoud

VOORWOORD 3

INHOUD 4

MANAGEMENT SAMENVATTING 6

VERKLARENDE WOORDENLIJST 7

SYMBOLENLIJST 8

FIGUREN- EN TABELLENLIJST 9

1. INLEIDING 11

2. PROJECTACHTERGROND 12

2.1 BAARS BV 12
2.2 DOELSTELLING 14
2.3 DESKRESEARCH 16

3. ONDERZOEK 18

3.1 MODULAIR JACK-UP 6' PONTON 18
3.2 HET CERTIFICEREN VAN HET MODULAIRE JACK-UP PONTON 19
3.3 CONVERGEREN VAN HET CERTIFICERINGSPROCES 21
3.4 UITGANGSPUNTEN 22

4. ANALYSE 23

4.1 TOETS WAARDES 23
4.2 STABILISEERMOMENT EN DE LOKALE SPANNINGEN VAN DE SPUDPAAL 24
4.3 EINDTOETSING 29
4.4 CONCLUSIE 29

5. ONTWERPFASE 30

5.1 ONTWERPVISIES 30
5.2 MORFOLOGISCH OVERZICHT 31
5.3 CONCEPTEN 32
5.4 KEUZEVERANTWOORDING 33

5.5 BESCHRIJVING EINDCONCEPT 34

6. DETAILLERING 35

6.1 ENGINEERINGSMODEL 35
6.2 TRANSPORT 36
6.3 OPPERVLAKTE BEHANDELING 37
6.4 PRODUCTIE 37
6.5 FEM-ANALYSE - BOUTEN 37
6.6 VERMOEIING 38
6.7 BEREKENINGEN 38
6.8 FINANCIEEL RENDEMENT 40
6.9 INTEGRATIE IN MODULAIR JACK-UP 6' PONTON 40

7. CONCLUSIE & AANBEVELINGEN 41

7.1 CONCLUSIE 41
7.2 AANBEVELINGEN 42

COMPETENTIEVERANTWOORDING 43

BIBLIOGRAFIE 44

BIJLAGE 1 – COMPETENTIES 45
BIJLAGE 2 - GEVRAAGDE DOCUMENTEN 46
BIJLAGE 3 – BEN3D 47
BIJLAGE 4 – BEREKENEN VAN TOETS WAARDES 58
BIJLAGE 5 – FUNCTIE ANALYSE SPUDPAAL 71
BIJLAGE 6 - PROGRAMMA VAN EISEN EN WENSEN 72
BIJLAGE 7 – CREATIEVE SESSIE 74
BIJLAGE 8 – CONCEPTEN 77
BIJLAGE 9 – SCHETSTEKENINGEN 90
BIJLAGE 10 – FEM-ANALYSE M42 BOUTEN 101
BIJLAGE 11 - FEM- ANALYSE GEHELE SPUDPAAL 106
BIJLAGE 12 - INTEGRATIE 108
BIJLAGE 13 – EINDCONCEPT TOETSEN AAN DE EISEN 109
BIJLAGE 14 – EXCEL BESTAND 110

Management samenvatting

De afstudeerstage vindt plaats bij Baars BV te Sliedrecht. Baars BV is een familiebedrijf dat gespecialiseerd is in baggermaterieel. Het bedrijf verhuurt en verkoopt onder andere modulaire jack-up pontons. Dit ponton is een in hoogte verstelbaar drijvend platform welke dient als ondersteuning voor verschillende werkzaamheden. Het ponton bestaat uit meerdere aaneengevoegde zeecontainers middels een uniek, door Baars ontwikkelt, koppelsysteem en kan bestaan uit verschillende configuraties.

Het afstudeerproces kent twee doelstellingen, welke evenwijdig langs elkaar behaald moeten worden. De doelstelling vanuit opleidingsoptiek is het verbeteren van de competenties analyseren, ontwerpen en professionaliseren. De doelstelling vanuit Baars BV luidt als volgt:

“Achterhaal of het modulaire jack-up ponton 6’ voldoet aan de benodigde certificering om 5 nautische mijlen uit de kust te mogen werken en herontwerp deze voor 20 december naar de eisen en behoefte van de betrokken partijen met inachtneming van de eventuele aanwezige regelgeving.”

Uit het onderzoek en daarop volgende analyse is gebleken dat het modulair jack-up 6’ ponton voldoet aan de benodigde certificering om 5 nautische mijlen uit de kust te mogen werken. Echter gaf Baars BV aan dat de spudpaal wellicht modulair kan worden uitgevoerd aangezien dit beter past bij de modulaire manier van werken van het bedrijf. De kritische ontwerpkeuzes van het modulair maken van de spudpaal zijn:

- De verbinding tussen de spudpalen
- Het wel of niet gebruiken van een spudcan
- Materiaalsoort & oppervlaktebehandeling
- hefmechanisme

Hiertoe zijn verschillende ontwerpvisies gekozen en concepten gegenereerd. Het concept met een nieuwe soort coating, het huidige hefmechanisme, gemaakt van constructiestaal en inwendige flensverbinding als spudpaal-verbinding kwam als beste uit de test. Van dit concept is een 3D model gemaakt. Waarna er twee FEM-analyses zijn uitgevoerd om de bouten en spudpaal te toetsen. Deze voldeden, evenzeer als dat de oplossing aan de gestelde eisen voldeed. De oplossing is binnen één jaar rendabel en heeft een geschatte levensduur van 6 jaar. Om de oplossing volledig te integreren in het modulair jack-up 6’ ponton zullen dezelfde geleiders moeten worden gemonteerd.

Ook past de modulaire spudpaal perfect in de huidige manier van werken van Baars BV. Concluderend kan gesteld worden dat het vraagstuk is beantwoord en de doelstelling behaald.

De student doet nog enkele aanbevelingen richting de opdrachtgever wat betreft het implementer van de eindoplossing en het in de toekomst gebruiken van het Excel document.

Uit de competenti

Verklarende woordenlijst

Woord	*Verklaring*
Modulair Jack-up ponton 6’	De modulaire jack-up ponton van Baars BV met de afmetingen 18,29 x 12,19 x 1,83 m.
Nautische mijl	Een zeemijl (1852 meter).
Vlaggenstaat	Het land waarin het vaartuig geregistreerd staat en zich moet houden aan de daarbij behorende nationale wetgevingen.
Ge-engineerd	Ontwikkelen, Construeren
Design Criteria Statement	Dit document weergeeft alle doelfuncties, algemene ontwerpvoorwaarden, structurele ontwerpvoorwaarden (per bedrijfsomstandigheid) en gebruikte uitrusting worden genoemd. Verder worden er een aantal vereisten weergeven die gaan over duurzaamheid, wettelijke bepalingen, stabiliteit en het gebruikershandboek.
Life-cycle stadia	Productlevenscyclus.
Design Structure Temperature	De temperatuur die gebruikt moet worden als ontwerpvoorwaarde.
Splash-zone	Dit is het gebied wat in aanraking kan komen met water.
Moonpool-container	Een container met een waterdicht rond gat in het midden welke wordt gebruikt bij boorwerkzaamheden.
Spud-container	Een container met daarin een waterdicht gat voor een spudpaal. Hierop wordt ook het hefmechanisme gemonteerd.
Creadox	Je wilt iets nieuws, bedenkt wat nieuws maar als het erop aankomt kies je toch voor het ‘oude vertrouwde’.
Spudcan	Een voetstuk voor een spudpaal.
SEP-Rules	Dit refereert naar het handboek “NI 534 Guidance Note for the Classification of Self-Elevating Units, september 2010”
Spudpaal	Metalen paal die ondersteuning biedt voor het ponton

Symbolenlijst

Symbool	*Verklaring*
M	Meter
BV	Bureau Veritas
IACS	International Association of Classification Societies
IMO	Internationale Maritieme Organisatie
R_f	De minimale vloeigrens die gebruikt moet worden voor het materiaal en berekeningen
VLS	Vrij lichaamsschema
SEP	Self Elevation Unit, de benaming van Bureau Veritas voor een jack-up ponton.
HPU	Hydraulic Power Unit, hydraulische krachtbron die gebruikt wordt om vermogen op te bouwen voor hydraulische doeleinde.
FEM	Finite Element Method
LCG	Longtudinal Center of Gravity
VCG	Vertical Center of gravity
VCWF	Vertical Center of WindForce
LCWF	Longtudinal Center of gravity
PS	Post Side, bakboord
SB	Star board, Stuurboord
‘	Voet (afmeting)

Figuren- en tabellenlijst

Figuur 1 - Producten Baars BV (v.l.n.r. Beunbak, Jack-up ponton, Ponton en Splijtbak) 12
Figuur 2 - Baars BV locatie te Sliedrecht 13
Figuur 3- Competentieprofiel 14
Figuur 4 - Modulair jack-up 6' ponton 16
Figuur 5 - Uniek koppelsysteem Baars BV 18
Figuur 6 – Configuratie modulair jack-up 6’ ponton 19
Figuur 7 – Stormconditie 21
Figuur 8 - Uitgangspunten 22
Figuur 9 - Vrijlichaamsschema globale analyse 24
Figuur 10 - Vrijlichaamsschema spudpaal 25
Figuur 11 – Afschuifsspanningsgrafiek van de spudpaal 25
Figuur 12 – buigmomentgrafiek van de spudpaal 26
Figuur 13 - Doorsnede spudpaal (normaalspanning) 27
Figuur 14 - Doorsnede spudpaal (buigspanning) 27
Figuur 15 - dwarsdoorsnede spudpaal (Von Mises) 28
Figuur 16 - Verzonken bout 31
Figuur 17 - Schroefdraadverbinding 31
Figuur 18 - Inwendige flensverbinding 31
Figuur 19 - Scharnier verbinding 31
Figuur 20 - Geen spudcan 31
Figuur 21 - Spudcan 31
Figuur 22 - Tandwielhefmechanisme 31
Figuur 23 - Pen-hefmechanisme 31
Figuur 24 - Blok-hefmechanisme 31
Figuur 25 - Lier-hefmechanisme 31
Figuur 26 - Schets concept 1 32
Figuur 27 - Schets Concept 2 32
Figuur 28 - Schets concept 3 33
Figuur 29 - Aanzichten eindoplossing 35
Figuur 30 - Sluitingsproces 36
Figuur 31 - Transportsituatie (schematisch) 36
Figuur 32 - FEM resultaat bouten 37
Figuur 33 - Vermoeiingsgrens staal 38
Figuur 34 - Dwarsdoorsnede eindoplossing 39
Figuur 35 - Resultaten eindoplossing 39
Figuur 36 - SEP Rules Sec 2, table 1 69

Tabel 1- Competentie doelstelling 14
Tabel 2 - Specificaties Modulair jack-up 6' ponton 18
Tabel 3 - Resultaten toetsing spudpaal 29
Tabel 4 - Morfologisch overzicht 31
Tabel 5 - Weegfactor 33

Tabel 6 - Keuzematrix 34
Tabel 7- Financieel rendement 40
Tabel 8 - Competentieset 43
Tabel 9 Vaste eisen 72
Tabel 10 pakket van wensen 73

1.Inleiding

Baars BV is een familiebedrijf dat gespecialiseerd is in baggermaterieel. Met haar 185 jaar ervaring weet het bedrijf zich uitstekend staande te houden in de offshore branche. Het bedrijft streeft dan ook naar het optimaal blijven voldoen aan de wensen in de markt en zich te blijven inzetten voor voldoende innovatie. Het bedrijf verhuurt en verkoopt modulaire jack-up pontons. Dit ponton is een hoogte verstelbaar drijvend platform welke dient als ondersteuning voor verschillende werkzaamheden. Het ponton bestaat uit meerdere aaneengevoegde zeecontainers middels een uniek, door Baars ontwikkelt, koppelsysteem en kan bestaan uit verschillende configuraties.

Op dit moment is de huidige modulaire jack-up 6’ ponton niet gecertificeerd voor het werken van 5 nautische mijlen uit de kust. Ondanks dat Baars BV een goed functionerend jack-up ponton heeft ontwikkeld verwachten zij van de student de certificeringssituatie in kaart te brengen en is daarbij opzoek naar innovatieve en verfrissende ideeën om een voorsprong in de markt te kunnen grijpen.

Deze scriptie bestaat uit een onderzoek naar de huidige certificeringssituatie van het modulaire jack-up 6’ ponton, het specifiek analyseren van deze en het uiteindelijk waar nodig herontwerpen van enkele knelpunten. De volgende hoofdvraag wordt in deze scriptie beantwoord:

“Hoe kan het modulair Jack-up Ponton 6’ aan een zeewaardige certificering voldoen om 5 Nautische mijlen uit de kust te mogen werken met daarbij in achtneming de eisen en wensen van Baars BV?”

Het eindresultaat zal bestaan uit een herontwerp van het modulair jack-up 6’ ponton waarbij ook duidelijk antwoordt wordt gegeven op de vraag of deze voldoet aan de certificeringseisen. De rapportage karakteriseert zich door de volgende fases:

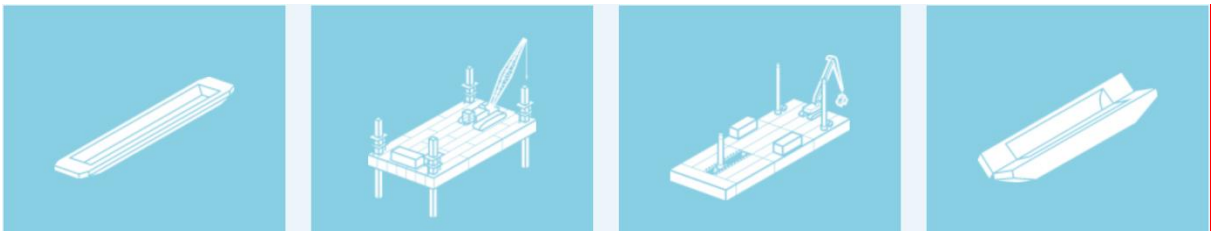
- Projectachtergrond, hierin wordt nuttige achtergrondinformatie beschreven, daarbij wordt de doelstelling geformuleerd en de context vastgesteld.
- Onderzoek, in deze fase wordt de huidige certificeringssituatie onderzocht. Dit resulteert zich in uitgangspunten waardoor de juiste basis wordt gelegd voor de analysefase.
- Analyse, tijdens deze fase worden de uitgangspunten uit de onderzoeksfase uitvoerig uitgewerkt. Tevens wordt hier ook getoetst aan de certificeringseisen.
- Ontwerp, de conclusie van de analysefase fungeert hiervoor als basis. Men probeert passende oplossingen te bedenken, uit te werken en hieruit een optimale oplossing te kiezen.
- Detaillering, de oplossing die gekozen is uit de ontwerpfase wordt in deze fase uitvoerig beschreven.
- Conclusie, ten slotte is bepaald of de rapportage geslaagd is. Tevens worden er aanbevelingen gedaan naar de opdrachtgever toe.

2.Projectachtergrond

De student is actief als afstudeerder bij Baars BV voor de periode van 27-09-2018 t/m 20-10-2018. Deze afstudeerstage kent zowel doelstellingen vanuit opleidings- als bedrijfsoptiek. Om de opdracht helder in kaart te brengen wordt in dit hoofdstuk allereerst de organisatie besproken. Vervolgens komt de doelstelling aan bod, zowel vanuit de opleiding als de opdrachtgever.

2.1 Baars BV

Baars BV is een familiebedrijf dat gespecialiseerd is in baggermaterieel. Het bedrijf verhuurt/ verkoopt beunbakken, modulaire jack-ups, pontons en splijtbakken. In Figuur 1 zijn al deze producten te zien.



Figuur 1 - Producten Baars BV (v.l.n.r. Beunbak, Jack-up ponton, Ponton en Splijtbak)

Met internationale klanten zoals Mota-engil, Felbermayr en Teixeira Duarte opereert het bedrijf wereldwijd en is daarmee een belangrijke leverancier van diverse drijvende hulpmiddelen. Deze drijvende hulpmiddelen zijn;

- **De beunbakken**, zijn uitermate geschikt voor het vervoeren van stoffen met een laag soortelijk gewicht zoals slib. Deze beunbakken kennen veelal gestandaardiseerde specificaties.
- **De splijtbakken**, worden gebruikt om grond, zand of stenen te storten, waarbij het vaartuig als een grijper opensplijt. Dit product kan in meerdere onderdelen worden getransporteerd zodat het op locatie geassembleerd kan worden. Dit unieke systeem heeft Baars BV zelf ontwikkeld.
- **De pontons**, naast een aantal conventionele mono pontons beschikt het bedrijf over meer dan 200 modulaire koppelpontons. Hierdoor kan elke klant zijn eigen configuratie kiezen voor zijn of haar toepassing en kan het bedrijf goede klantgerichte oplossingen aanbieden. De pontons zijn niet aangedreven maar kunnen wel geleverd worden met lieren.
- **De modulaire jack-up modellen**, dit product staat centraal tijdens het afstuderen van de student. Deze unieke pontons kunnen ook geconfigureerd worden door de klant. Dit product kan dienen als hefeiland bij verschillende werkzaamheden aan zee waarmee een hefvermogen van 200 ton behaald kan worden, afhankelijk van de configuratie.

Met zijn locatie in Sliedrecht, aan de rivier de Merwede, heeft het een uitstekende connectie met de rest van de wereld. Zoals op Figuur 2 te zien is bevinden zich op deze werf een binnenhelling, buitenhelling en het kantoor. Daar waar de buitenhelling vooral gebruikt wordt voor onderhoud en inspecties, wordt de binnenhelling gebruikt voor grote reparaties aan de bakken en nieuwbouw. In het kantoor bevinden zich de afdelingen gezamenlijk met de directie. De student is werkzaam op de technische afdeling en daarbij in een multidisciplinaire omgeving.

Figuur 2 - Baars BV locatie te Sliedrecht

De specialistische markt waarin Baars BV opereert, vraagt om flexibiliteit en betrouwbaarheid. De servicegerichte houding richting de klant staat hierbij centraal. Immers, het juist functioneren van de producten is cruciaal om de continuïteit van de werkzaamheden niet in gevaar te brengen. Baars BV streeft ernaar om met behulp van hun jarenlange ervaring de klanten een passende oplossingen te bieden.

2.2 Doelstelling

Het afstudeerproces kent twee doelstellingen welke parallel langs elkaar behaald moeten worden. De student moet kunnen aantonen dat alle vooraf bepaalde competenties zijn behaald. Daarnaast voert de student zijn afstudeeropdracht uit om een toevoeging te bieden binnen het bedrijf en zijn vaardigheden aan te tonen.

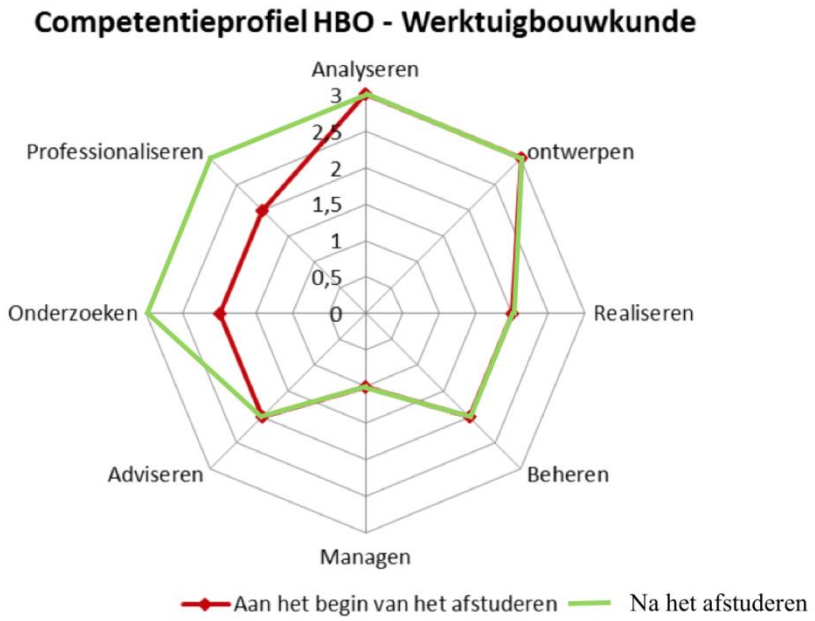
2.2.1 Opleidingsoptiek

De doelstelling vanuit opleidingsoptiek is het verwerven van competenties. Bijlage 1 – Competenties geeft een overzicht van de acht competenties die de student, in meer of mindere mate, moet bezitten bij het afronden van de opleiding werktuigbouwkunde. Het afstudeerproces heeft als doel om drie van bovengenoemde competenties te ontwikkelen en aan te tonen.
Fout! Verwijzingsbron niet gevonden. toont de huidige situatie en het beoogde resultaat op het gebied van zijn competenties. Bovendien geeft het afstudeertraject de student inzicht in zijn toekomstige werkveld, de mogelijkheid om de theorie toe te passen in de praktijk en praktische werkervaring als ingenieur.

Tabel 1- Competentie doelstelling

Competentie	*Startgedrag*	*Start-niveau**	*Behaald gedrag*	*Beoogd niveau **
Ontwerpen	- Begeleiding is soms vereist	2	- Zelfstandig complexe werktuigbouwkundige functies ontwerpen	3
Analyseren	- Begeleiding is soms vereist.	2	- Zelfstandig complexe vraagstukken structureel in kaart brengen	3
Professionaliseren	- Pakt snel de bedrijfscultuur op en past zich hierop aan. - Flexibel waar nodig is. - kan een professionele houding aannemen maar niet altijd even toegankelijk.	2,5	- Het goed oppakken van de bedrijfscultuur en hierbij een professionele maar ook toegankelijke houding weet te vinden in het bedrijf.	3

**** De indeling en betekenis van de niveaus staan in*** **Bijlage 1 – Competenties**



Figuur 3- Competentieprofiel

2.2.2 Bedrijfsoptiek

Om het gewenste eindresultaat te behalen moet allereest de bedrijfsoptiek helder zijn. Om dit inzicht te verkrijgen is de context van de opdracht achterhaald. Vervolgens wordt hier een passende probleemstelling bepaald om hierna een juiste doelstelling te formuleren.

Context
Met toenemende bouwprojecten in onder andere 3e wereldlanden is de vraag naar ondersteunende werkplatforms fors toegenomen. De huidige markt vraagt steeds vaker om een degelijker en betrouwbaarder product voor een aantrekkelijke prijs. De klant is hierbij opzoek naar een multi-inzetbaar product. Baars BV biedt op dit moment een modulair jack-up systeem aan welke niet volledig voldoet aan hun eigen wensen. Naast het feit dat het desbetreffende ponton niet gecertificeerd is geweest heeft Baars Bv het doel om de gebruikersomgeving te verbreden. Hiervoor is een verbetering, verfijning en optimalisatie nodig zodat baars BV zijn klanten het gewenste product kan blijven aanbieden. Tevens is Baars bv geïnteresseerd in een objectief en verfrissend perspectief van de student over dit vraagstuk.

Probleemstelling
Het Jack-up ponton is niet inzetbaar om 5 nautische mijlen uit de kust te mogen werken omdat deze hiervoor niet gecertificeerd is. Met het gevolg dat het ponton niet voldoet aan de vraag van de klant ervaart Baars BV negatieve gevolgen. Dit toont namelijk aan dat Baars BV onbuigzaam is in dergelijke situaties wat door de klant niet gewenst is. Ondanks dat Baars BV een goed functionerend jack-up ponton heeft ontwikkeld verwachten zij van de student de certificeringssituatie in kaart te brengen. Daarbij is Baars BV opzoek naar innovatieve en verfrissende ideeën om een voorsprong in de markt te kunnen grijpen.

Opdracht
Concreet kan de opdracht als volgt worden geformuleerd:

"Het modulaire jack-up 6' ponton van Baars BV moet zodanig herontworpen worden dat het zal voldoen aan de certificering om 5 Nautische mijlen uit de kust te mogen werken."

Doelstelling
Om zo goed mogelijk aan de wensen van de klant te blijven voldoen en een goede voorsprong in de markt te blijven houden, is de doelstelling als volgt gecommuniceerd:

"Achterhaal of het modulaire jack-up ponton 6' voldoet aan de benodigde certificering om 5 nautische mijlen uit de kust te mogen werken en herontwerp deze voor 20 december naar de eisen en behoefte van de betrokken partijen met inachtneming van de eventuele aanwezige regelgeving."

2.3 Deskresearch

In deze paragraaf wordt kort ingegaan op de definitie van een modulair jack-up ponton en certificering.

2.3.1 Modulair jack-up ponton

Figuur 4 - Modulair jack-up 6' ponton

Een ponton is een drijvend platform dat ondersteuning biedt voor hetgeen wat erop staat. Een van de producten van Baars Bv is de modulaire jack-up ponton welke is te zien op figuur 4. Het ponton wordt gebruikt voor verschillende werkzaamheden in de binnen- en zeevaart. In principe wordt het gebruikt voor elke toepassing die geen fundering heeft op de bodem van een wateroppervlak maar hier wel op moet kunnen functioneren. Het is vaak een rechthoekige vorm die bestaat uit meerdere compartimenten. In deze compartimenten kan ballastwater worden gepompt om de dynamische kracht die erop komt te staan te compenseren. Het ponton is opgebouwd uit verschillende zeecontainers en is daardoor modulair. De pontons kunnen verticaal bewegen en dienen als hefeiland bij verschillende hijs- of boorwerkzaamheden. Doordat deze verticaal kan bewegen is geen enkele waterspiegel een probleem en is er enige flexibiliteit in de toepasbaarheid. Het feit dat het ponton zich kan aanpassen aan de waterstand maakt het een jack-up ponton.

2.3.2 Certificering

Een certificering is een officiele verklaren dat iets geldig is of voldoet aan een norm. Certificering in de scheepvaart en offshore dient als bewijsstuk om de kwaliteit van het product in zijn gehele loopbaan te waarborgen. Deze certificering wordt verstrekt door een certificeringsbureau welke het product indeelt in een categorie en deze toetst aan de hand van de bijbehorende wetten en regels.

2.3.2.1 Klasse notaties

Wanneer een schip wordt geclassificeerd wordt deze eerst in een klasse ingedeeld. Deze wordt gespecificeerd met inbegrip van het type, lading, speciale functie en eventuele dienstbeperkingsnotities. Daarnaast zal een beschrijvende klasse-notatie worden verstrekt op basis van het type en de beoogde service van het vaartuig. De jack-up ponton wordt zoals in figuur 5 te zien is beschreven.

Classification notations	
Class symbol	**I** or **II**
Construction mark	✠, ✠ or • to be separately assigned before: - **HULL** notation - **MACH** notation - additional class notation, when relevant
Structural type notation	**offshore self-elevating unit**
Service notations	- **drilling (geotechnical)** or **drilling (workover)** - **drilling assistance** - **lifting** - **production** - **accommodation** - **special service ( )**
Site notation	- name of field - geographical area of operation - most unfavorable sea conditions
Transit notation	**transit - specific criteria**
Additional class notations / additional service features (may be optional)	- **ALM** (lifting appliance) - **DYNAPOS** (dynamic positioning) - **AUTO** (automation system) - **HEL** (Helideck) - ...

Figuur 5 - Klasse notatie

De grotere versie van het ponton jack-up van Baars BV bijvoorbeeld, de Jack-up Ribble mag tot 20 Nautische mijlen werken tot een significante golfhoogte van 2.5m en is als in figuur 6 te zien is beschreven.

Name of the Vessel:	JACKUP RIBBLE
Type of Vessel:	Offshore Self Elevation Unit Special service
Classification:	BUREAU VERITAS
Class Notation:	I ✠ HULL · MACH Offshore self-elevating unit Special service (Construction unit) Coastal area Transit over 20 Nm from shore with Hs<2.5m

Figuur 6 - Klasse notatie Jack-up Ribble

2.3.2.2 Certificeringsbureaus & Organisaties

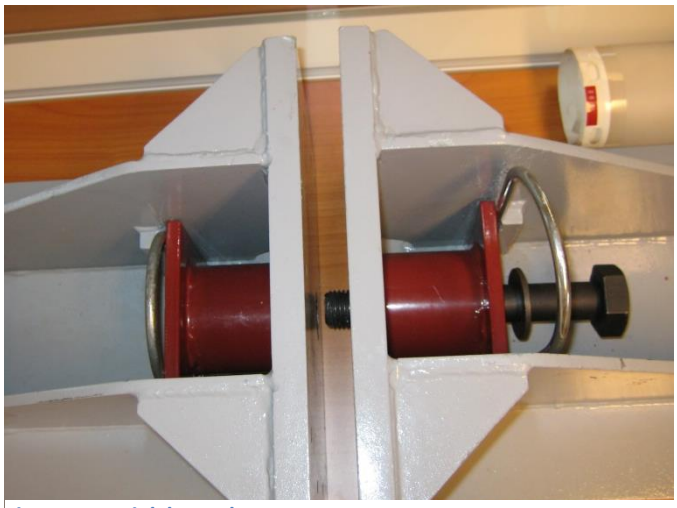
De jack-up Ribble is geclassificeerd door Bureau Veritas, een van de twaalf leden van het International Association of Classification Societies (IACS). Dit is een overkoepelende organisatie die regels mag ontwikkelen en toepassen binnen de Internationale Maritieme Organisatie (IMO). Deze organisatie realiseert op internationaal niveau afspraken tussen de deelnemende lidstaten om de scheepvaart zo milieuvriendelijk en veilig mogelijk te maken.
Een certificeringsbureau dient voornamelijk als uitvoerende kracht tijdens de complete levensloop van een vaartuig om deze vervolgens te bestempelen met een Maltezer kruis zoals in figuur 6 te zien is. Dit Maltezer kruis staat voor de betrouwbare constructie met als doel te laten zien dat het schip in kwestie voldoet aan de strenge internationaal erkende veiligheidseisen en deze voor een bepaalde tijd gewaarborgd blijven. Echter zijn de regels en wetten die deze certificeringsbureaus waarborgen niet alleen van de IMO maar ook van de vlaggenstaten of het classificeringsbureau zelf. Vandaar dat ook altijd de vlaggenstaat en het classificeringsbureau worden genoemd bij de identificatie van het vaartuig.

3.Onderzoek

Om zo goed als mogelijk te kunnen analyseren of het modulair jack-up 6’ ponton voldoet aan de gevraagde certificering moet er allereerst onderzoek worden gedaan. Dit onderzoek begint met het in kaart brengen van het modulair jack-up 6’ ponton. Ook wordt het certificeringstraject van een jack-up ponton in kaart gebracht. Ten slotte wordt de huidige architect bij dit proces betrokken om te onderzoeken welke documenten haalbaar en al gehaald zijn in het certificeringsproces. De uitkomst van dit onderzoek zal uitgangspunten genereren om tot een succesvolle analysefase te komen.

3.1 Modulair jack-up 6’ ponton

De jack-up pontons van Baars BV kunnen dus naar de wens van de klant worden samengesteld. Dit komt omdat het ponton bestaat uit meerdere zeecontainers die middels een uniek koppelsysteem verbonden worden welke in figuur 7 is te zien. Deze containers dienen als basis en het ponton kan dan ook worden aangevuld met verschillende uitrustingen zoals lieren, bolders, werkcontainers, boormaterieel en boeien. Bij de werkzaamheden horen unieke configuraties. Deze configuraties worden van tevoren bepaald en getoetst om zo een veilige werkomgeving af te spreken met de klant en deze vast te leggen middels certificering.
Het ponton waarmee de student gaat werken heeft de afmetingen 18,29m x12,19m x1,83 en is relatief klein voor een jack-up ponton. De hoogte van 1,83m staat gelijk aan 6 voet waar hij zijn naam aan heeft te danken. Het modulair jack-up 6’ ponton is nog niet eerder in deze configuratie gecertificeerd geweest. In tabel 2 zijn de belangrijkste specificaties van het jack-up ponton te zien.

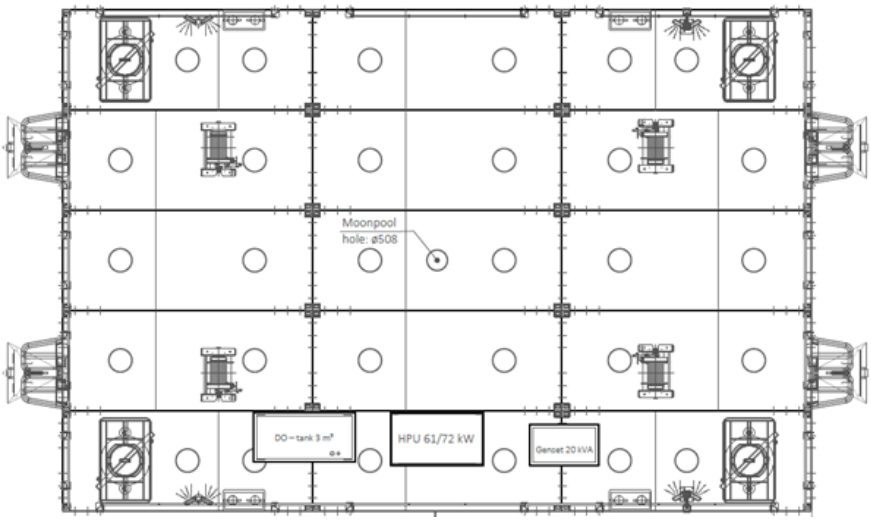

Figuur 7 - Uniek koppelsysteem Baars BV

Tabel 2 - Specificaties Modulair jack-up 6' ponton

Specificaties		
Main specifications	Length	18.29m
	Breadth	12.19m
	Depth	1.83m
	Deck load	6 tonnes/m^2
	Spud legs Ø 762mm, 24m	4pcs
Specifications	Hydraulic system	2 cylinders (each spud)
	Jacking capacity	50 tonnes (each spud)
	Payload	50 tonnes
	Optional	Assisted propulsion

Configuratie & onderdelen

Op figuur 8 is de configuratie te zien van het Modulair Jack-up 6'ponton. Het ponton wordt uitgevoerd worden met 4 spudpalen, een moonpoolcontainer en overige equipment. De Hydraulische Power Unit(HPU), brandstoftank en de generator set staan compact naast elkaar zodat er relatief veel ruimte over is voor de werkzaamheden van de klant.



Configuratie

Beschrijving	Aantal
6' Container Spud 20'	4
6' Container Moonpool (508) 20'	1
6' Container 20'	10
HPU 62 kW	1
Anchor winch	4
Anchor Frame	4
Fairleads	4
Anchor	4
Fueltank 3m³	1
20 kVA genset	1
Light pole	2
Navigation mask	2
Railing	1
Bollards	4
Spudlegs	4

Figuur 8 – Configuratie modulair jack-up 6' ponton

3.2 Het certificeren van het modulaire jack-up ponton

Om ervoor te zorgen dat de jack-up 6' ponton wordt gecertificeerd moet er allereerst een bureau worden gekozen. De keus van Baars BV is gevallen op Bureau Veritas. Bureau Veritas heeft een speciaal handboek voor het certificeren van een Self Elevating Unit. Dit is het handboek "Guidance Note NI 534 – Guidance Note for the Classification of Self-Elevating Units". Het handboek is de rode draad in de analysefase. Het certificeren van de jack-up 6' ponton kan hiermee in 10 hoofdlijnen worden verdeeld:

1. **Algemeen,** het certificeringshandboek start met het verklaren van de benodigde eisen voor het certificaat. Hierin worden onder andere enkele begrippen en de grenzen van het certificaat gedefinieerd.

2. **Constructie ontwerpvoorwaarden,** dit onderdeel betreft de stelregels van de constructie. Ook wordt er uitgelegd hoe de materiaalkeuze onderbouwd moet worden, de toepassing hiervan wordt getoetst en conform welke criteria dit gebeurt.

3. **Ontwerpvoorwaarden,** de Design Criteria Statement is hier een heel belangrijk onderdeel in. Deze geeft namelijk aan voor welke omstandigheden de SEP wordt ge-engineerd. Daarin kunnen dus in combinatie met de gewenste klasse notatie keuzes worden gemaakt door Baars Bv. Echter zijn hier uiteraard ook een aantal gestandaardiseerde eisen aan verbonden.

4. **Milieuvoorwaarden,** het doel van deze sectie is het in kaart brengen van de milieuvoorwaarden waaraan Baars Bv wil voldoen met zijn certificering. Deze parameters zijn bijvoorbeeld golven, wind en waterdiepte.

5. **Analyseren van de hefpositie,** gezien het feit dat deze positie vaak voorkomt en de SEP voor onbepaalde tijd op zijn studpalen leunt, wordt deze uitzonderlijk geanalyseerd. Evenzeer gelden hier bepaalde industrie, calculatie en definitie standaarden.

6. **Analyseren van de transportvoorwaarden,** de belangrijkste belastingen waarmee rekening gehouden moet worden zijn krachten en momenten die zijn afgeleid uit de studpalen en de zeedruk. De gevolgen van deze belastingen kunnen worden gecategoriseerd in onder andere stabiliteit, laadbelasting en effecten tijdens de installatie-modus.

7. **Sterkte van de studpalen,** naast de constructievoorwaarden waarbij de studpalen ook al aanbod kwamen worden deze ook apart nog is getoetst. Deze standaarden specificeren de toelaatbare stresscriteria voor het evalueren van de globale en lokale sterktes van de studpaal met betrekking tot buigen, knikken en lokale verstevigingen.

8. **Uitbreidingen, aanpassingen en uitrustingen,** Bureau Veritas beschrijft hierin uitvoerig hoe men extra's mag toevoegen aan de SEP.

9. **Constructieonderzoek, lassen, tests en procedures,** Bureau Veritas heeft ook een controlerende taak gedurende het complete productieproces. Het doel van deze sectie is het in kaart brengen van deze eisen.

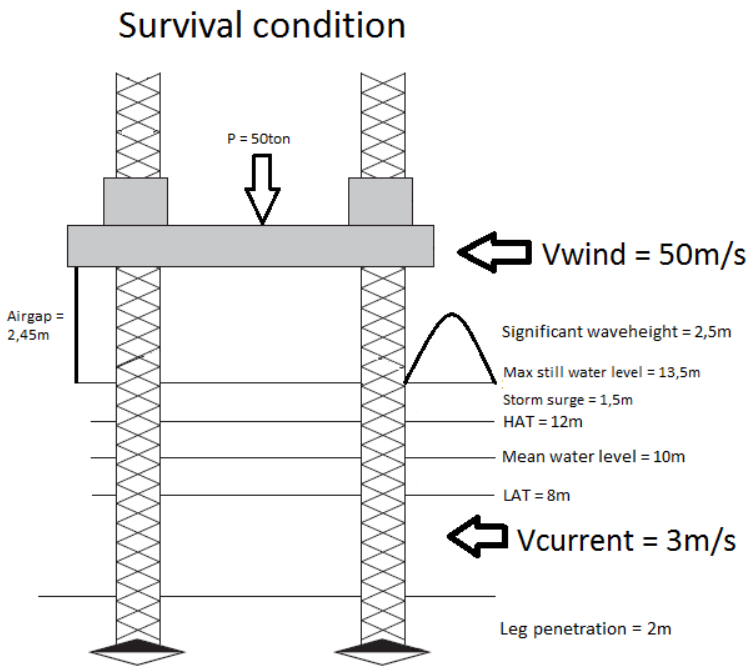
10. **Gevraagde documenten,** als afsluiter geeft Bureau Veritas een compleet overzicht van de documenten die de aanvrager moet opleveren om de SEP volledig te kunnen certificeren. Dit overzicht is te vinden in bijlage 2.

De goedkeur van Bureau Veritas is van essentieel belang voor het slagen van de afstudeeropdracht. De student heeft als contactpersoon Ad van der Hoeve. De heer A. van der Hoeve heeft eerder ook met Baars BV samengewerkt. De student heeft gevraagd naar de specifieke eisen die het werken van 5nm uit de kust met zich meebrengt omdat dit niet werd vermeld in het handboek. Hieruit kwamen de volgende conclusies:

- Het goedkeuren van een jack-up ponton gaat gepaard met een gebruikersomgeving. Wanneer er wordt gekozen om bijvoorbeeld 5Nm uit de kust te werken horen hier een aantal milieuomstandigheden bij. Deze milieuomstandigheden worden opgedeeld in verschillende niveaus. Echter mag de aanvrager (Baars BV) zelf kiezen wat deze milieuomstandigheden zijn. De stormconditie geldt als zwaarste conditie voor het jack-up ponton in geheven positie.
- Baars BV mag in overdreven zin een zeer gunstig klimaat kiezen om aan het werken van 5Nm te voldoen. Wanneer deze niet voldoen aan de milieuomstandigheden van de desbetreffende locatie waarin het ponton uiteindelijk opereert, mag er uiteindelijk toch niet gewerkt worden. Dit zou commercieel gezien zeer onverstandig zijn. Dus streeft Baars BV naar een zo breed mogelijke gebruikersomgeving.

Concluderend kan gesteld worden dat Baars BV in overleg met de student een gebruikersomgeving moet schetsen. Van deze gebruikersomgeving moeten ook de stormcondities worden vermeld aangezien dit de extreme waardes zijn waaraan de jack-up wordt getoetst. Op figuur 9 is de geschetste stormomgeving te zien.

Vwind = Windsnelheid
Storm surge = stormvloed
HAT = Hoogste astronomische getij
Mean water level = Gemiddeld waterniveau
Lat = Laagste astronomische getij
Vcurrent = Stromingsnelheid
Leg penetration = Aangenomen lengte van de spudpaal onder de zeebodem.



Figuur 9 – Stormconditie

3.3 Convergeren van het certificeringsproces

Om de status van het modulair jack up 6' ponton beter in kaart te brengen doet de student een beroep op het ingenieursbureau Ben3D. Hieruit volgen een aantal conclusies die van grote invloed zijn op het project. De combinatie van die conclusies en het gesprek met Bureau Veritas zorgt voor een duidelijk kader van het project.

3.3.1 Ben3D

Baars BV huurt voor vergelijkbare vraagstukken het bedrijf Ben3D in. Dit is een eenmanszaak van Ben de vries. Ben de vries is een Naval Architect en heeft dan ook al veel ervaring in het vak. De student is erop gewezen door Baars BV om te kijken wat haalbaar en al behaald is in het certificeringsproces. Hieruit kwamen een aantal conclusies:

- Ben3D heeft enkele punten van het modulair jack-up 6'ponton al onder zijn hoede. De student moet zich gaan richten op de jack-up in geheven positie. Aangezien in deze situatie de spudpalen maximaal belast worden en er een kantelmoment plaatsvindt zal hier nader naar gekeken moeten worden.
- Hieruit volgt dat de student uiteindelijk zal moeten aantonen of de spudpalen en het stabiliseermoment voldoen aan de gebruikersomgeving van Baars BV in geheven positie. Wanneer de spudpalen en het stabiliseermoment van het modulair jack-up 6' ponton voldoen, kan de volledige klasse notatie van het werken vanuit 5 zeemijlen uit de kust in de toekomst gehaald worden.

De tot op heden uitgewerkte informatie van Ben3D is te vinden in bijlage 3.

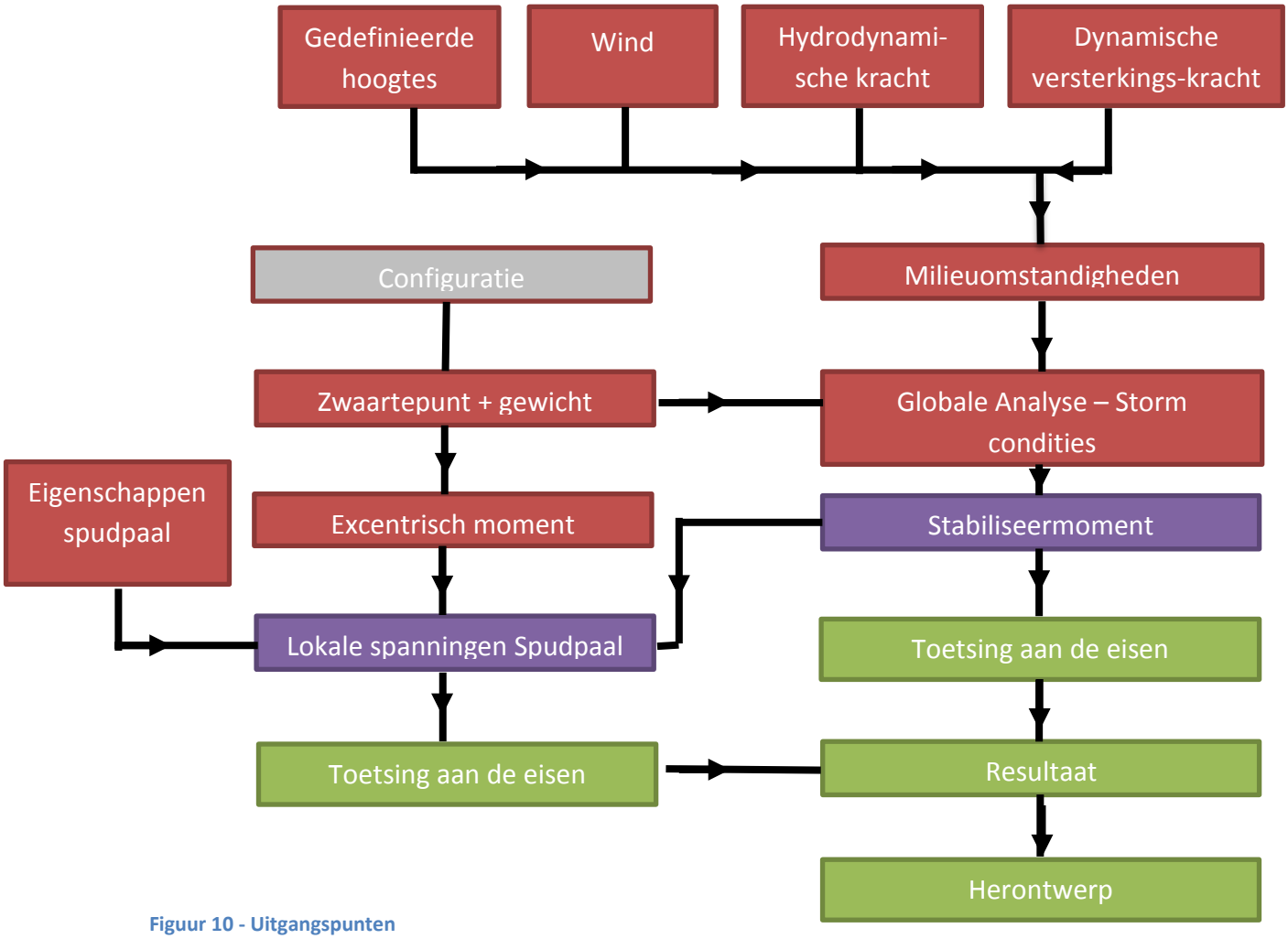
3.4 Uitgangspunten

Uit onderzoek is gebleken dat de student de volgende documenten moet gaan opleveren om de spudpaal en het stabiliseermoment van het modulaire jack-up ponton te kunnen toetsen:

- Berekeningen van milieubelastingen inclusief krachten en momenten van wind, golven, stroming, ijs, sneeuw, aardbevingen indien van toepassing.
- Globale Analyse in geheven positie.
- Lokale spanningen van de spudpaal in kaart brengen.

Wanneer er is getoetst moet de student duidelijk antwoordt geven op de vraag of de spudpalen en het gehele ponton voldoen aan de gestelde eisen van Bureau Veritas. Waarna de student de knelpunten zal herontwerpen zodat deze wel zullen voldoen.

In figuur 10 is een visualisatie te zien van dit proces. Om de paars gemarkeerde definities te weten moeten allereerst de rode waardes worden berekend.



Figuur 10 - Uitgangspunten

4. Analyse

De analyse bestaat uit het toetsen van het modulair jack-up 6' ponton aan de certificeringseisen van Bureau Veritas. Zoals in de uitgangspunten omschreven staat focust de student zich op de extreme waardes afkomstig uit de stormconditie wat betreft de lokale spanningen van de spudpaal en het stabiliseermoment van het ponton.

4.1 Toets waardes

De volgende 4 stappen zijn nodig om de benodigde informatie te genereren;

1. Het bepalen van het zwaartepunt en gewicht
2. Het bepalen van de exacte milieuomstandigheden
    a. De gedefinieerde waardes bepalen
    b. Het bepalen van de totale windkracht en het aangrijpingspunt van deze
    c. De hydrodynamische krachten in kaart brengen die werken op de spudpalen
    d. De dynamische versterkingslading die voortkomt uit de hydrodynamische kracht bepalen
3. Het bepalen van het excentrisch moment op het ponton
4. De eigenschappen van de huidige spudpaal in kaart brengen

Wanneer deze stappen zijn doorlopen kan men een krachtenbalans opmaken voor de spudpaal waaruit de lokale afschuifspanning en momentbelasting kan worden gehaald. Ook kan door middel van de globale analyse het stabiliseer- en kantelmoment worden bepaald. Deze waardes worden getoetst aan de gestelde eisen van Bureau Veritas.

De volledige uitwerking van deze stappen is te vinden bijlage 4. De referentie naar de bijbehorende regelgeving van Bureau Veritas en de daarbij horende definities, symbolen, eenheden en formule is te vinden in het toegevoegde excel document (bijlage 14).

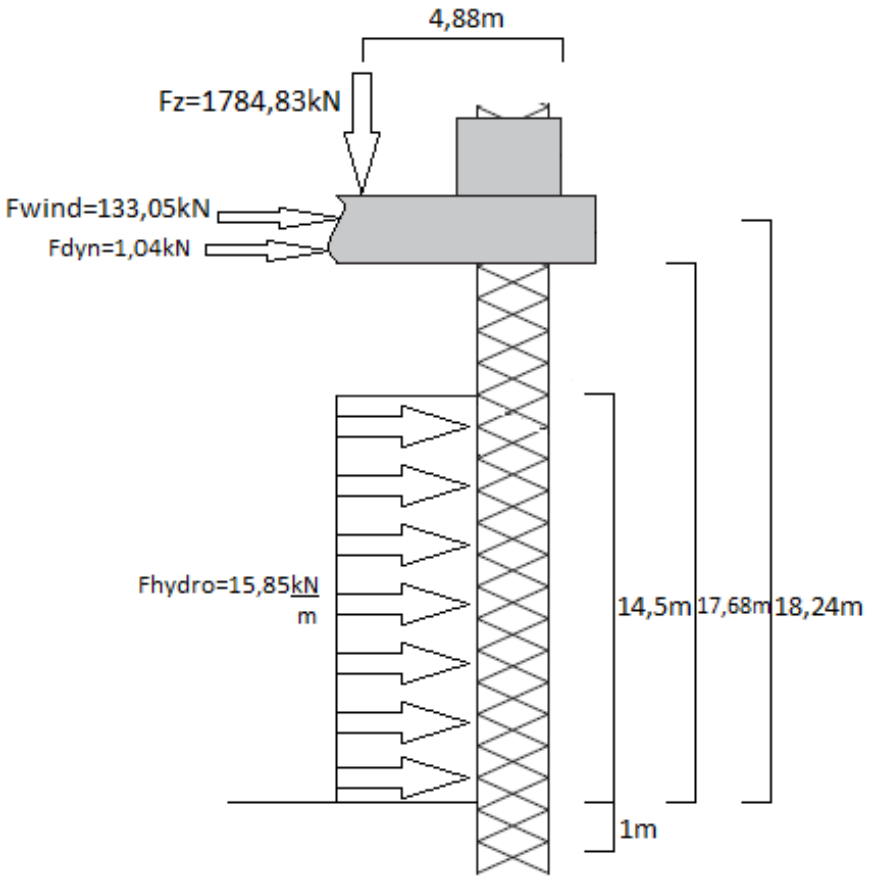
In de hierop volgende paragraven komen eveneens waardes en formules voor die uit het excel document (bijlage 14) komen.

4.2 Stabiliseermoment en de lokale spanningen van de spudpaal

Met alle resultaten uit 4.1 kan men het kantel- en stabiliseermoment, en de extreme waardes op de spudpaal bepalen (aangegeven in figuur - 10 met een paarse kleur).

4.2.1 Globale Analyse

Het stabiliseermoment wordt bepaald volgens het vrij lichaamsschema op figuur 11. Het ponton wordt gestabiliseerd door zijn gewicht. Aangezien het modulair jack-up 6'ponton niet een spudcan gebruikt moet de spudpaal berekend worden met een diepte van één meter.



Figuur 11 - Vrijlichaamsschema globale analyse

$$Kantelmoment = M_o = 7{,}75(14{,}5F_{hydro}) + 17{,}68F_{dyn} + 18{,}24F_{wind} = 4111{,}7\frac{kN}{m}$$

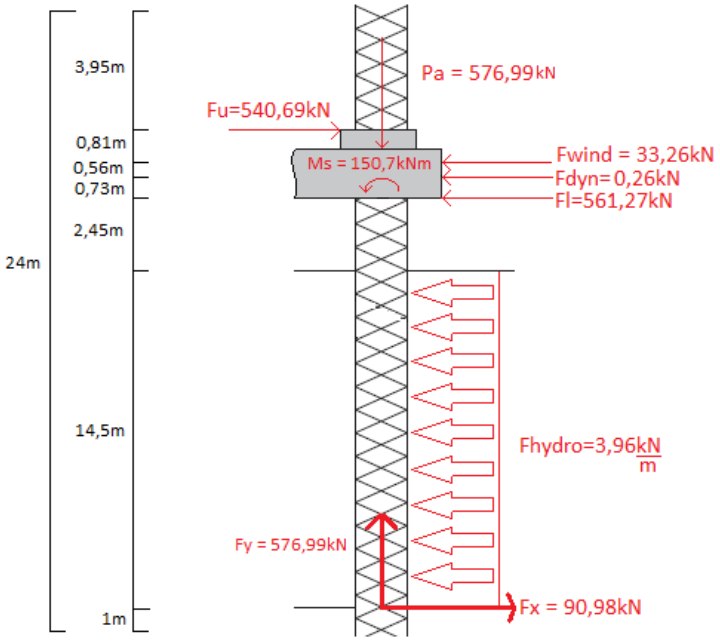
$$Stabiliseermoment = M_s = \left(\frac{b_{ponton}}{2} - TLG - L_{spud\rightarrow container} - e_0\right)F_z = 9110{,}4\frac{kN}{m}$$

Resultaat

Uit de globale analyse blijkt dat het modulair jack-up 6'ponton een kantel- en stabiliseermoment heeft van respectievelijk 4111,7 en 9110,4 kNm.

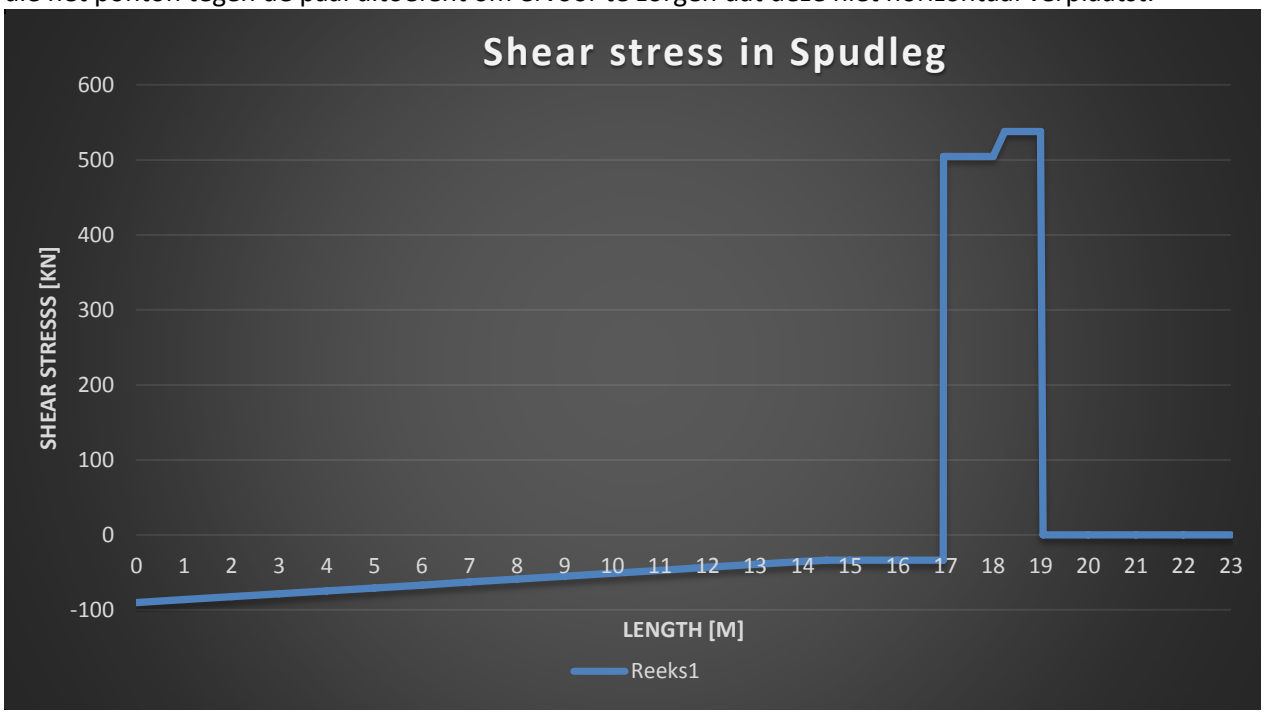
4.2.2 Extreme waardes spudpaal bepalen

Uit alle berekeningen volgt het vrij lichaamsschema die in figuur 12 te zien is.



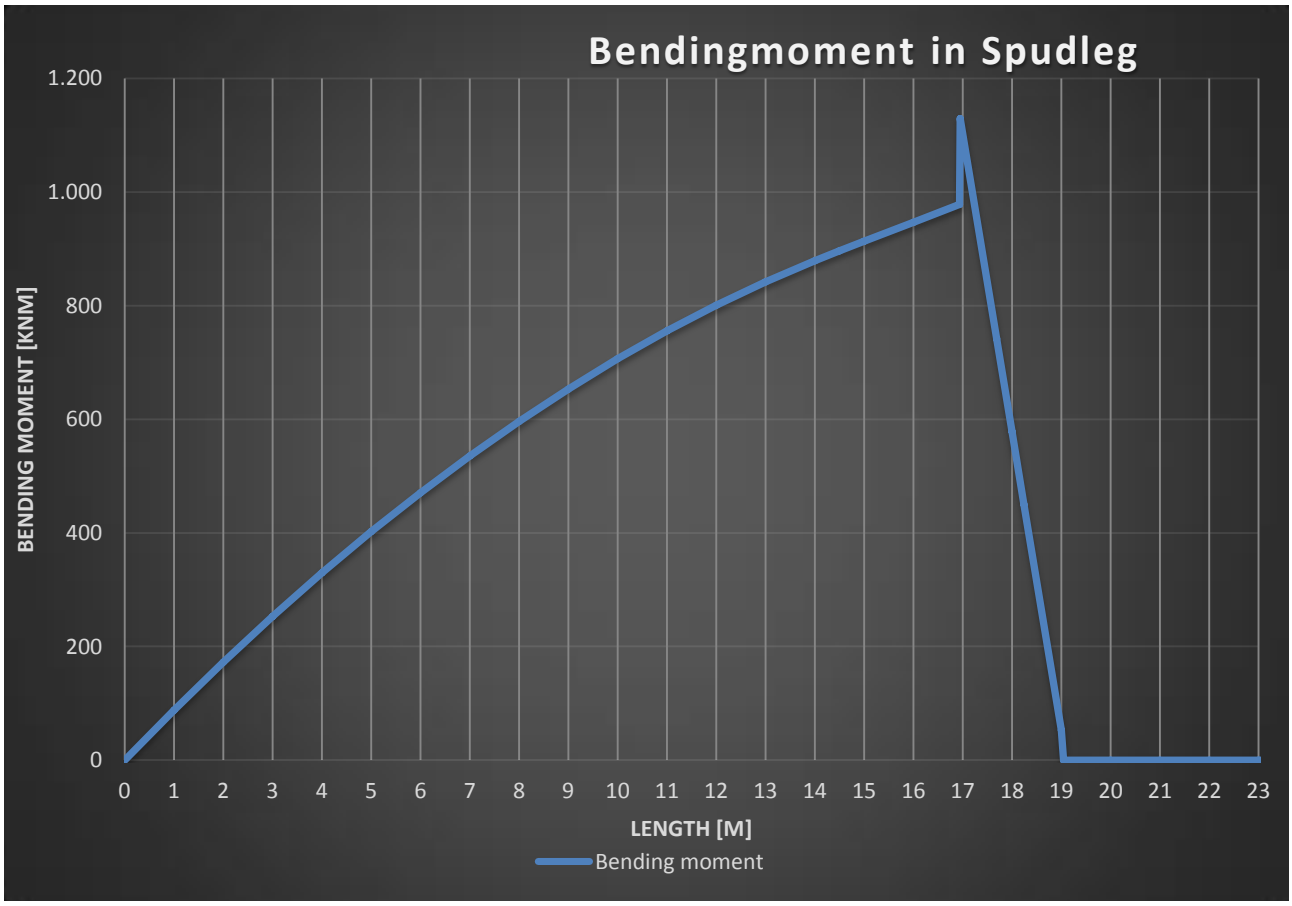
Figuur 12 - Vrijlichaamsschema spudpaal

Uit dit vrij lichaamsschema volgt de afschuifspanningslijn welke in figuur 13 te zien is. De windkracht is in de realiteit een verdeelde kracht maar omdat de student de totale windkracht inclusief het aangrijpingspunt heeft berekend mag deze worden ingevoerd als vector die aangrijpt op dat berekende aangrijpingspunt. De F_u -kracht is de kracht die het ponton tegen de paal uitoefent om het moment van de spudpaal te compenseren. Het moment wordt namelijk tussen de bovenkant van het vergrendelingssysteem en onderkant ponton worden opgevangen. De f_l –kracht is de kracht die het ponton tegen de paal uitoefent om ervoor te zorgen dat deze niet horizontaal verplaatst.



Figuur 13 – Afschuifsspanningsgrafiek van de spudpaal

Het moment zou maximaal moeten zijn op onderkant ponton. Dit is dan ook te zien in de momentenlijn van de spudpaal op figuur 14. De recht evenredig verdeelde hydrodynamische belasting die werkt op te spudpaal vertaald zich in de momentenlijn naar een exponentieel afnemende kracht. Omdat er geen krachttoename plaatsvindt in de airgap loopt de momentenlijn hier lineair toe. Het excentrisch moment wat plaatsvindt op onderkant ponton wordt hierna meegenomen als extra moment. De f_u-kracht neemt vervolgens alle momenten op.



Figuur 14 – buigmomentgrafiek van de spudpaal

Nu de lokale spanning en het buigmoment in kaart is gebracht kan de student de volledige spudpaal gaan toetsen aan de eisen van Bureau Veritas. Om te garanderen dat de spudpaal voldoet zal men alle extreme waardes op één punt toepassen. Deze extreme waardes vertalen zich vervolgens in een maximaal buigmoment, normaalspanning, afschuifspanning en gecombineerde spanning. Deze laatste spanning wordt benaderd door de Von Mises benadering. De extreme waardes die gegenereerd zijn uit het rekenmodel van de student waaronder de axiale spanning, afschuifspanning en momentenlijn zijn:

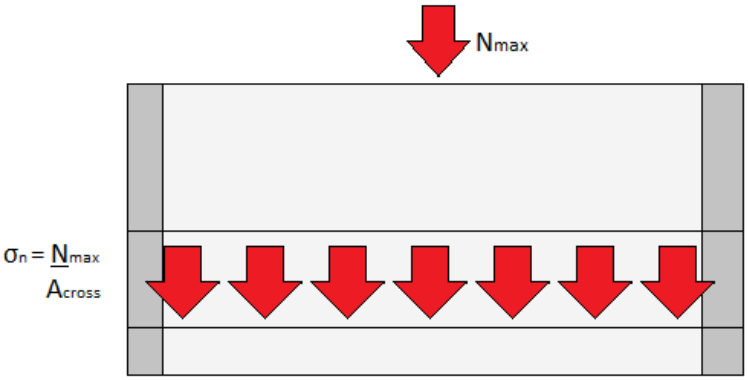
$$M_{max} = 1135{,}45\ kNm$$

$$V_{max} = 540{,}69\ kN$$

$$N_{max} = 576{,}99 kN$$

Normaalspanning

De normaalspanning wordt bepaald door de vergelijking welke in figuur 15 te zien is.



Figuur 15 - Doorsnede spudpaal (normaalspanning)

Gegevens

σ_n = ?

N_{max} = 576,99 kN

A_{cross} = 5,79*10^4 mm^2

Invullen geeft

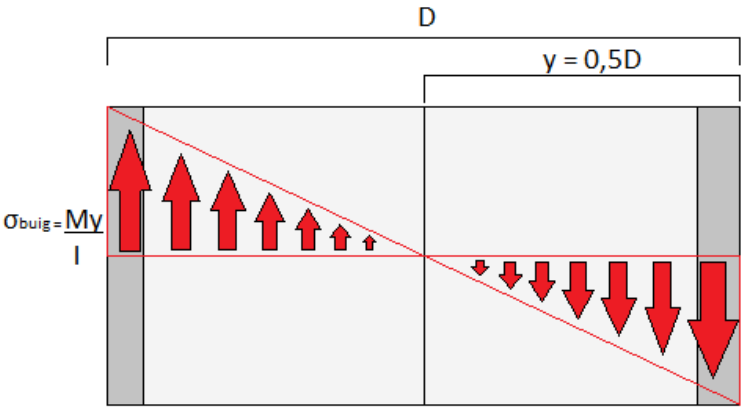
$$\sigma_n = \frac{576{,}99 * 1000}{5{,}79 * 10^4} = 9{,}97\ MPa$$

Resultaat

De normaalspanning bedraagt 9,97 MPa.

Buigspanning

De buigspanning wordt bepaald door de vergelijking welke in figuur 16 te zien is.



Figuur 16 - Doorsnede spudpaal (buigspanning)

Gegevens

σ_{buig} = ?

M_{max} = 1135,45 kNm

Y = 0,381 mm

I = 3,93 *10^9 mm^4

Invullen geeft

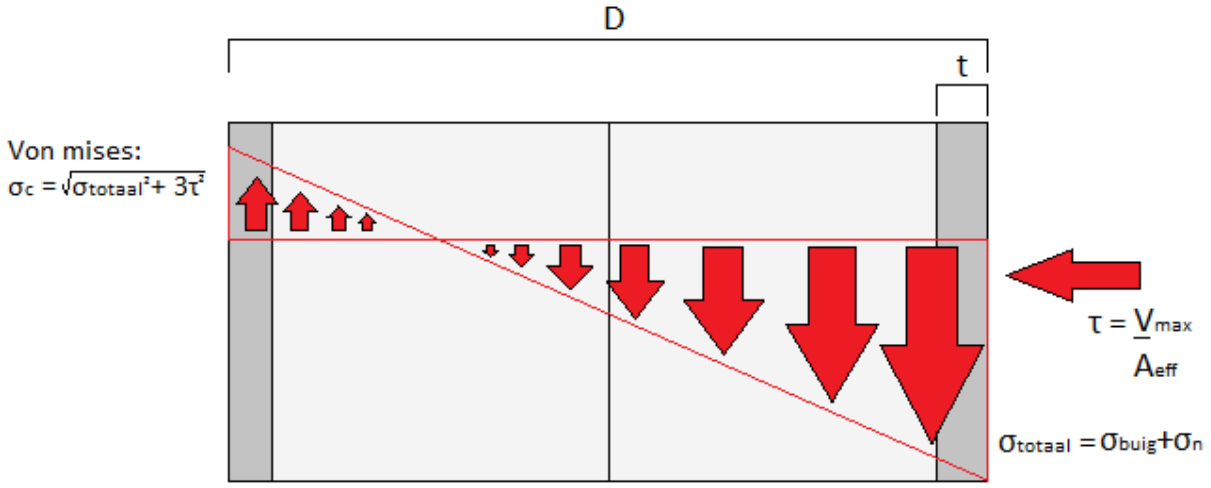
$$\sigma_{buig} = \frac{1135{,}45 * 0{,}381 * 10^9}{3{,}93 * 10^9} = 109{,}95\ MPa$$

Resultaat

De buigspanning bedraagt 109,36MPa

Afschuifspanning & Von Mises

De afschuif- en de Von Mises – spanning wordt bepaald door de vergelijkingen welke in figuur 17 te zien zijn. Ook is in deze afbeelding de resultante te zien van de normaal- en buigspanning.



Figuur 17 - dwarsdoorsnede spudpaal (Von Mises)

Gegevens

τ = ?
V_{max} = 540,69 kN
A_{eff} = 2,89 *10^4 mm^2
σ_c = ?
σ_{totaal} = ?
σ_{buig} = 109,36 MPa
σ_n = 9,97MPa

Invullen geeft

$$\tau = \frac{540{,}69}{2{,}89 * 10^4} = 18{,}68\ MPa$$

$$\sigma_{totaal} = 109{,}95 + 9{,}97 = 119{,}92\ MPa$$

$$\sigma_c = \sqrt{119{,}92^2 + 3 * 18{,}68^2} = 124{,}21 MPa$$

Resultaat

De afschuif- , totale axiale- en de Von Misesspanning bedragen respectievelijk 18.68, 119.92 en 124.21 MPa.

4.3 Eindtoetsing

Allereerst wordt het stabiliseermoment getoetst aan de eisen van Bureau Veritas(aangegeven in figuur - 10 met een groene kleur).Wanneer deze niet voldoet zal men de configuratie (waaronder het gewicht en locatie van de spudpalen) moeten veranderen. Ten slotte zal men de lokale spanning van de spudpaal toetsen(aangegeven in figuur - 10 met een groene kleur).. Wanneer de spudpaal niet voldoet moet deze herontworpen worden.

4.3.1 Stabiliseermoment

Bureau Veritas geeft aan dat het stabiliseermoment 1,25 keer groter of gelijk moet zijn aan het kantelmoment.

$$Veilig\ wanneer = \ M_s \geq 1{,}25M_o$$

Gegevens

Stabiliseermoment = M_s = 9110,4 kNm
Kantelmoment = M_o = 4111,7 kNm

$$\frac{9110{,}4}{4111{,}7} \rightarrow M_s = 2{,}22M_o$$

Resultaat

Bovenstaande vergelijking geeft aan dat het modulair jack-up ponton hieraan voldoet.

4.3.2 Spudpaal

Nu alle waardes bekend zijn kan de student deze toetsen aan de eisen van Bureau Veritas. De resultaten zijn in tabel 3 te zien.

Tabel 3 - Resultaten toetsing spudpaal

	Axiale spanning [MPa]	*Buigspanning [MPa]*	*Gecombineerde spanning [MPa]*	*Controle*
Toelaatbaar	352,1	443,75	312,4	1
Huidige spudpaal	119,92	109,95	124,21	0,38
Voldoet	Ja	Ja	Ja	ja

4.4 Conclusie

Aangezien het modulair jack-up 6'ponton en de spudpalen voldoen aan de certificeringseisen is in overleg met Baars Bv toch gekozen voor een herontwerp van de spudpaal. Baars BV gaf aan dat de spudpaal wellicht modulair kan worden uitgevoerd aangezien dit beter past bij de modulaire manier van werken van Baars BV. Hiertoe is een functie-analyse gemaakt van de spudpaal zodat deze gebruikt kan worden in de ontwerpfase. De functie-analyse is in bijlage 5 te vinden.

5.Ontwerpfase

Het doel van de ontwerpfase is het ontwikkelen van ideeën en genereren van concepten om de beste oplossing te bepalen voor het innovatie probleem en deze vervolgens vast te leggen in een voorlopig ontwerp. Vanuit de conclusie van de analyse fase is een Programma van eisen en wensen opgesteld welke in bijlage 6 is te zien. De student heeft hiertoe bijpassende ontwerpvisies bedacht om zo tot tegenstrijdende concepten te komen. Deze zullen aan de hand van de gestelde succescriteria worden getoetst. De kritische ontwerpkeuzes van het modulair maken van de spudpaal zijn:

- De verbinding tussen de spudpalen
- Het wel of niet gebruiken van een spudcan
- Materiaalsoort & oppervlaktebehandeling
- hefmechanisme

Middels deze ontwerpkeuzes heeft de student een creatieve sessie gehouden om ideeën te genereren welke in bijlage 7 zijn te vinden. Met deze ideeën zijn uiteindelijk concepten genereerd.

5.1 Ontwerpvisies

De concepten worden gekozen door middel van drie ontwerpvisies die gebaseerd zijn op de gestelde succescriteria die gebaseerd zijn op de wensen van Baars BV. Hierdoor ontstaan uiteenlopende concepten die elkaar zullen tegenspreken. Echter bied één of een combinatie van deze concepten uiteindelijk de gunstigste oplossing. De concepten zijn:

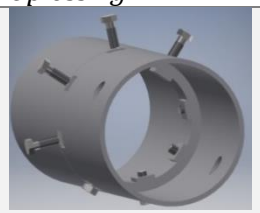
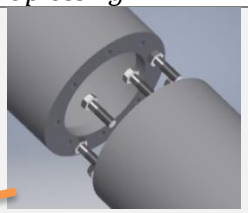
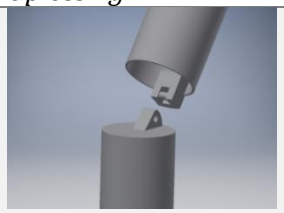
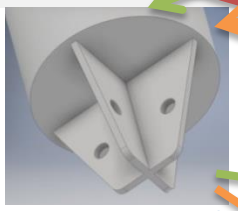
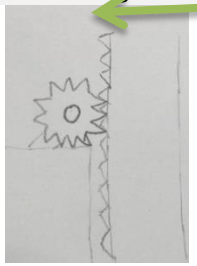
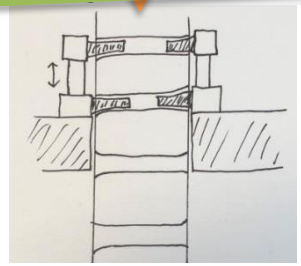
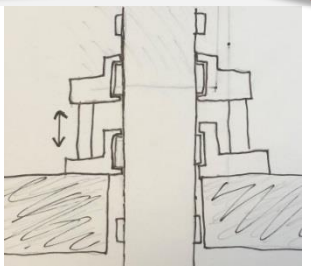
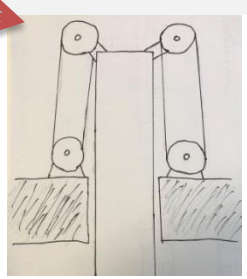
- Concept 1: zo'n laag mogelijke aanschafwaarde, **Aangezien Baars BV het belangrijk vindt dat de oplossing goedkoop moet zijn wordt hier expliciet naar gekeken. Dit concept zal dan ook bestaan uit een eenvoudige oplossing en een relatief goedkoop materiaal.**
- Concept 2: Zo ergonomisch als mogelijk, **Baars BV geeft ook aan dat de assemblage tijd minimaal moet zijn.**
- Concept 3: Zo corrosiebestendig als mogelijk, **Baars BV heeft als wens een oplossing die ook nog is goed corrosiebestendige is. Om hier expliciet naar te kijken is hier ook een concept aan gewijd.**

Om een goed overzicht te creëren van de oplossingen per deelfunctie is een morfologisch overzicht opgesteld. Hierin zijn ook de keuzes te zien per concept.

5.2 Morfologisch overzicht

Aangezien de neiging bestaat dat er vaak wordt gekozen voor het 'oude vertrouwde' bestaat ongeveer de helft van de oplossingen uit creatieve ideeën die nog niet eerder vertoond zijn in de offshore branche. Hierdoor wordt het fenomeen creadox dus geminimaliseerd. Het morfologisch overzicht is in onderstaande tabel 4 weergegeven.

Tabel 4 - Morfologisch overzicht

Functie	*Oplossing 1*	*Oplossing 2*	*Oplossing 3*	*Oplossing 4*	*Oplossing 5*
Modulair verbinden	 Figuur 18 - Verzonken bout	Figuur 19 - Schroefdraadverbinding	 Figuur 20 - Inwendige flensverbinding	 Figuur 21 - Scharnier verbinding	
Stabiel positioneren	 Figuur 22 - Geen spudcan	Figuur 23 - Spudcan			
Corrosiebestendigheid garanderen	S355 met Sigma Vicoat 12 coating	S355 met Sigmashield coating	Aluminium	RVS	Geanodiseerd S355
Verticaal verplaatsen	 Figuur 24 - Tandwielhefmechanisme	 Figuur 25 - Pen-hefmechanisme	 Figuur 26 - Blok-hefmechanisme	 Figuur 27 - Lier-hefmechanisme	

Concept 1 – Aanschafprijs Concept 2 – Ergonomie Concept 3 – Milieubestendig

5.3 Concepten

Vervolgens worden de ideeën uitgewerkt tot een concept. De keuzes die zijn gemaakt voor een concept zijn gebaseerd op slagingskans. De scharnierende verbinding is geen oplossing omdat dit niet mogelijk is tijdens het transport. Het geanodiseerde staal is niet gekozen omdat Baars Bv bij voorbaat al heeft gezegd dat deze oppervlakte behandeling niet de voorkeur heeft. De sigma vicoat 12 coating heeft Baars Bv al gebruikt. Om te zorgen voor een breed scala aan nieuwe ideeën kiest de student hier niet voor. De verticale verplaatsing door middel van 2 cylinders met aangelaste blokken is al eens gebruikt door concurrenten. Om te zorgen dat de concepten vernieuwend zijn wordt hier ook niet voor gekozen. De gegenereerde concepten worden in bijlage 8 uitvoerig toegelicht.

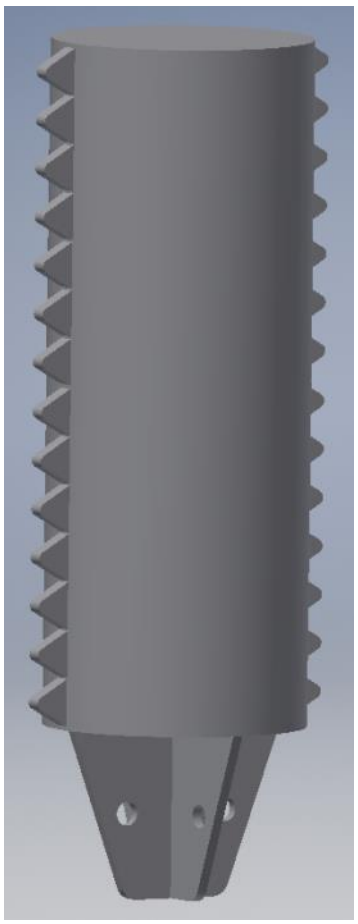
Figuur 28 - Schets concept 1

5.3.1 Concept 1 – Zo'n laag mogelijke aanschafwaarde

Dit concept bestaat uit een eenvoudige verbinding, namelijk de bout en moer verbinding. De bout is verzonken omdat de buitendiameter niet mag afwijken van de bestaande paal. Ook heeft dit concept een spudcan waardoor er een aanzienlijke kracht op de paal wordt verminderd. Dit komt door de regelgeving van Bureau Veritas waarbij geldt dat wanneer er geen spudcan aanwezig is de helft van de aangenomen paalpenetratie bij de rekenlengte van de paal komt. Hierdoor nemen alle momenten en de hydrodynamische belasting af. Als vernieuwend materiaal is er gekozen voor aluminium. Dit is een nieuw materiaal in deze branche voor deze toepassing. Als hefmechanisme worden lieren gebruikt. Figuur 28 geeft een schets weer van dit concept.

5.3.2 Concept 2 – Zo ergonomisch als mogelijk

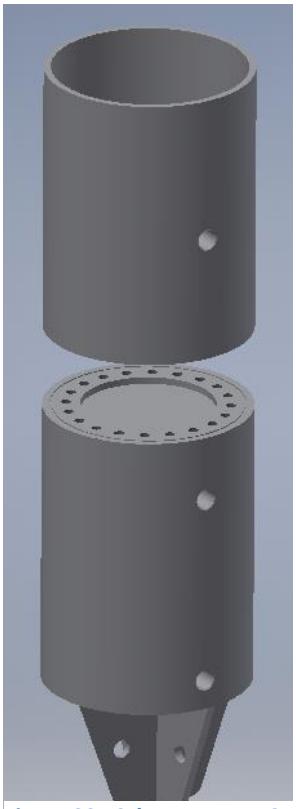
Het concept bestaat vooral uit keuzes die de ergonomie van de oplossing bevorderen. Dit concept heeft als verbinding schroefdraad. Deze draad moet zeer nauwkeurig worden gesneden. Het heeft geen spudcan waardoor de eisen van Bureau Veritas negatiever zullen uitvallen maar wat wel de montagetijd tegemoet komt. De spudpaal is gemaakt van een roestvrijstaal. Als hefmechanisme worden tandwielen gebruikt. Figuur 29 geeft een schets van het concept weer.



Figuur 29 - Schets Concept 2

5.3.3 Concept 3 – Zo milieubestendig als mogelijk

Dit concept is gebaseerd op een corrosiebestendige oplossing. Het betreft twee onderdelen waarbij het mannelijke deel in het vrouwelijke deel valt. Vervolgens kunnen door een inwendige flensverbinding de beide palen aan elkaar worden gekoppeld. Het ontwerp heeft geen spudcan zodat de spudpalen gemakkelijk door het ponton heen kunnen worden gehesen. Het hefmechanisme is hetzelfde als de huidige manier waarbij er gebruik wordt gemaakt van hydraulische cilinders die een vergrendelsysteem aanduwen waarin pennen kunnen worden bevestigd die door de paal steken. Echter vereist deze verbinding dus wel begeleiding van een werknemer. Doordat de verbinding waterdicht wordt gemaakt met behulp van een rubberen ring minimaliseert men de eventuele corrosie tussen de onderdelen. Het concept bestaat uit constructiestaal met een Sigma-Cover en Sigma-shield coating. Figuur 30 geeft een schets van het concept weer.


Figuur 30 - Schets concept 3

5.4 Keuzeverantwoording

Nu alle concepten bekend zijn en daarbij de kwaliteit ten opzichte van de wensen in kaart is gebracht kan men een weloverwogen keuze gaan maken. Om dit te doen moeten allereerste de weegfactoren in kaart worden gebracht. Hierna kan men het eindconcept kiezen welke vervolgens gedetailleerd zal worden uitgewerkt.

5.4.1 Weegfactor

Het is realistisch om te vermelden dat er nooit optimaal aan alle wensen van een project of product kan worden voldaan. Om deze situatie in goede banen te leiden kiest de student ervoor om de wensen tegen elkaar te toetsen. Dit houdt in dat Baars Bv de keuze krijgt tussen twee wensen en hierbij moet vermelden dat of de wens belangrijker is dan de andere (aangegeven met een 2), de wens gelijk is aan de andere wens(aangegeven met een 1) of minder belangrijk is dan de andere wens (aangegeven met een 0). Dit resulteert in een weegfactoren tabel welke de student meeneemt in het kiezen van zijn eindconcept. Dit is te zien op tabel 5. Hieruit blijkt dat Baars Bv de zeewaterbestendigheid de belangrijkste wens vindt.

Tabel 5 - Weegfactor

	Aanschaf Kosten	*Gebruiksvriendelijkheid*	*Korte montage/demontage*	*Lage onderhoudskosten*	*Zeewater-bestendig*	*Totaal*
Aanschafkosten	X	2	1	2	0	3
Gebruiksvriendelijkheid	0	X	1	2	0	3
Korte Montage/demontage	2	1	X	0	0	3
Lage onderhoudskosten	0	0	2	X	0	2
Zeewaterbestendig	2	2	2	2	X	8

5.4.2 keuzematrix

Nu de weegfactoren bekend zijn worden de waardes die voortkomen uit de uitvoerig toegelichte concepten (bijlage 8) ook ingevoerd. Dit resulteerd in tabel 6.

Tabel 6 - Keuzematrix

Concepten	*Concept 1*	*Concept 2*	*Concept 3*	*Weegfactor*
Aanschafkosten	4	1	8	3
Gebruiksvriendelijkheid	3	4	3	3
Korte montage/demontage	1	5	1	3
Lage onderhoudskosten	4	4	3	2
Zeewaterbestendig	2	5	9	8
Totaal	**50**	**78**	**114**	

Concept 3 met 114 punten komt als beste uit de test. Dit concept zal de student dan ook verder gaan uitwerken. Echter ziet de student nog vele verbeteringsmogelijkheden wat betreft de gebruiksvriendelijkheid en de montagetijd van dit concept. Hier zal in de detaillering meer aandacht aan worden besteed.

5.5 Beschrijving eindconcept

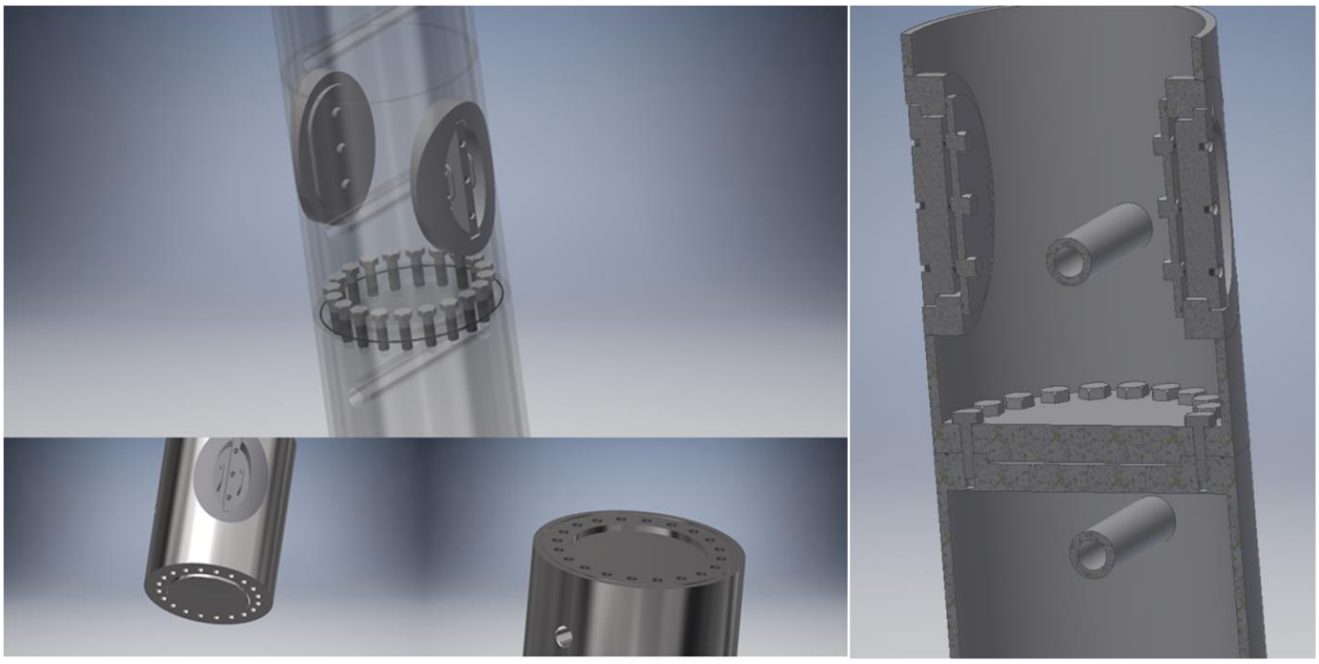
Uit de eerder doorlopen fases is gebleken dat het gebruik van het huidige hefsysteem en staalsoort als zeer positief is ervaren. Hierdoor werden een hoop problemen voorkomen. De daadwerkelijke kracht van het concept zit hem in de coating. De aanbeveling van de huidige leverancier is ook nieuw voor Baars Bv en die zijn hier dan ook erg tevreden mee. Echter ziet men nog problemen in het ergonomische aspect van de oplossing. De student zal met zijn kennis hier een toepasselijke oplossing voor bedenken. Baars BV en de student zien de ontwerpfase als een zeer succesvolle fase in het herontwerp-traject. De combinatie van nieuwe ideeën, multidisciplinaire invloed en weloverwogen keuzes zijn de kern van dit succes. De student zal zich nu gaan bezighouden met de gedetailleerde uitwerking van dit concept.

6.Detaillering

Uit de detailleringsfase moet aangetoond worden dat het ontwerp aan alle ontwerpcriteria voldoet. Er zal begonnen worden met een engineeringsmodel waarna er met behulp van een FEM-analyse de sterkte van de bouten en de spudpaal zal worden gecontroleerd. Deze analyse visualiseert ook de kritische punten van het ontwerp. Nadat deze spanningsconcentraties in kaart zijn gebracht wordt er gekeken naar het fenomeen vermoeiing ondanks dat Bureau Veritas het niet verplicht om hier naar te kijken voor spudpalen onder de 40m. Ook worden enkele punten zoals bijvoorbeeld de oppervlakte behandeling, financieel rendement en de integratie in het spudcontainer uitvoeriger toegelicht. Uiteindelijk zal er aan het programma van eisen en wensen worden getoetst.

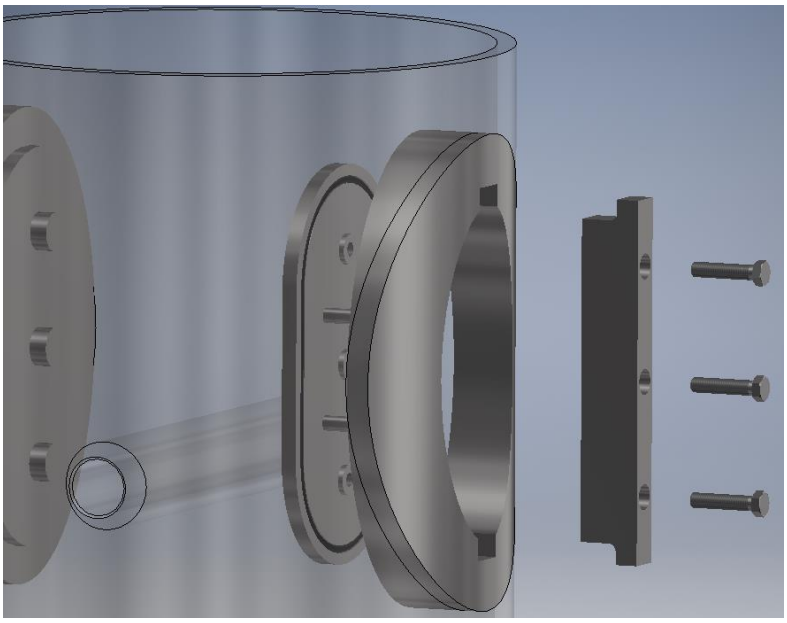
6.1 Engineeringsmodel

De oplossing bestaat onder andere uit twee grote onderdelen namelijk het mannelijk- en vrouwelijk gedeelte. De bovenste spudpaal heeft een uitstulping zodat deze goed op de onderkant valt. Hierdoor wordt ook assembleertijd bespaart omdat de palen nu automatisch centrisch staan ten opzichte van elkaar. Op figuur 31 is de verbinding te zien waarbij onder andere de huid van de paal doorzichtig is gemaakt. Deze verbinding wordt met 20 M42 bouten vastgemaakt. Om de gebruiksvriendelijkheid tegemoet te komen is er gekozen voor twee luiken aan weerszijde van de spudpaal. De twee luiken die zorgen voor een goede bereikbaarheid van de bouten worden geborgen met drie M20 bouten die zich vastdraaien in een losneemneembare plaat. De luiken zitten ver genoeg naar boven zodat een werknemer de bouten kan aandraaien met een hydraulische momentsleutel.



Figuur 31 - Aanzichten eindoplossing

In de spudpaal zal een ovaal gat worden gesneden waarin de ovale constructie wordt gemonteerd. Dit hulpstuk dient ervoor om het luik te vergrendelen door zijn inhammen aan de boven en -onderzijde. Op figuur 32 is het sluitingsproces te zien waarbij men de losneembare plaat door het luik dient te steken om vervolgens het koppelstuk met verzonken boutgaten hierop te monteren. Deze losneembare plaat heeft ook een groef waarin een rubberen ring kan worden bevestigd. Hierdoor blijft het luik in zijn geheel waterdicht wanneer deze is gemonteerd.

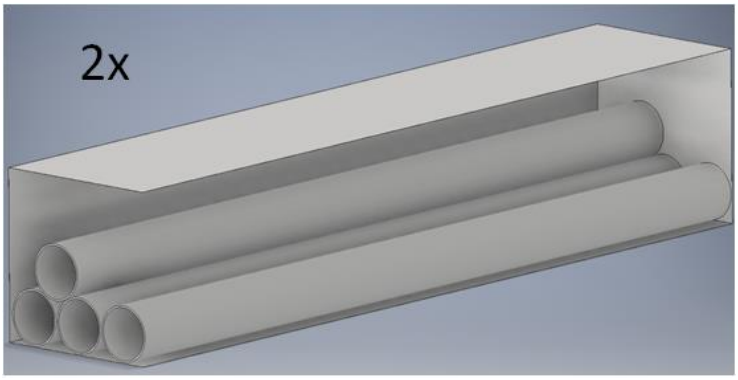


Figuur 32 - Sluitingsproces

Voor elk onderdeel zijn zogeheten schetstekeningen gemaakt. Deze schetstekeningen zijn bedoeld om de lezer een indruk te geven van de maatvoering van de onderdelen en kunnen dus niet gebruikt worden voor de productie. De schetstekeningen en de onderdelenlijst zijn in bijlage 9 te vinden.

6.2 Transport

De variabele eis die Baars Bv heeft gesteld voor de maximale afmeting per spudpaaldeel slaat op het transport via een 40 feet open-top container. Een 40’ open-top container heeft binnenmaten van 11550mm x 2345mm x 2365mm en een maximale beladingscapaciteit van 26,74 ton. Aangezien elk spudpaalcompartiment 5750kg weegt mogen er maximaal 4 compartimenten per container worden vervoerd. Op figuur 33 is een visualisatie te zien van deze situatie.



Figuur 33 - Transportsituatie (schematisch)

6.3 Oppervlakte behandeling

De spudpaal zal op verzoek van de huidige leverancier worden gespoten. Allereerst een laag SigmaCover 280 (75mµ). Deze universele anticorrosieve epoxy primer hecht zich uitstekend op staal en heeft een goede bestandheid tegen water en corrosie. Na de primer zal een laag SigmaShield 420 (250 mµ) worden toegevoegd. Deze twee componenten versterkte polyamine verhardende epoxy coating is uitstekend bestand tegen zeewater. De huidige coating die Baars BV gebruikt staat bij de leverancier beschreven als “goed” bestand tegen zeewater. De epoxy coating is ook weerbaar tegen slijtage en stoten. Aangezien het ponton op de spudpaal regelmatig in hoogte wordt versteld en hierdoor dus tegen de rubberen geleiders van de spudcontainer schuurt komt dit zeer goed van pas.

6.4 Productie

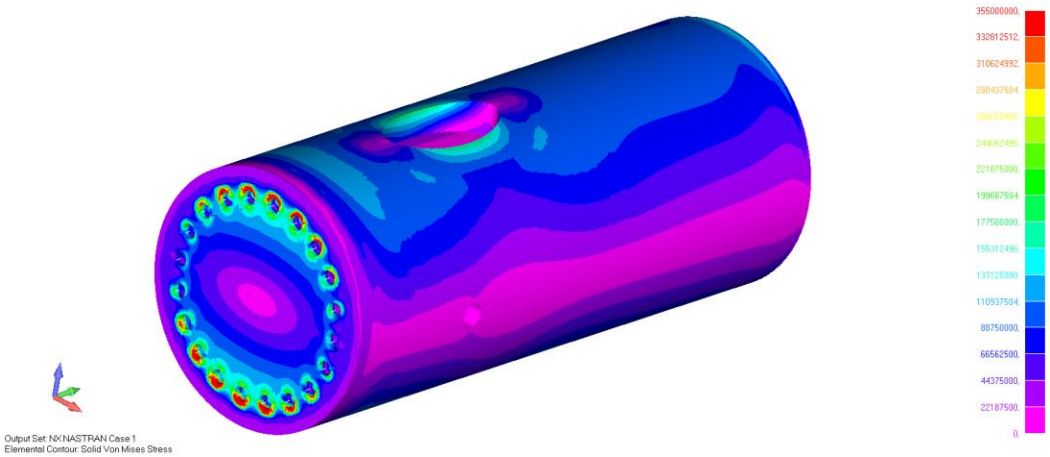
De productie van de onderdelen wordt uitbesteed aan een bekende leverancier van Baars BV met een groot machinepark. Echter assembleert Baars BV de spudpaal zelf met behulp van verschillende lastechnieken. Ook beschikt Baars over snijbranders waarmee zij gaten in de huid van de paal kunnen branden. De huidige onderdelen zullen nog opgesplitst moeten worden in individuele productietekeningen om ervoor te zorgen dat deze individueel geproduceerd kunnen worden. Een voorbeeld is hiervan het onderdeel “bovenkant”. Dit onderdeel zou onmogelijk te produceren zijn. In de praktijk zal het hoogstwaarschijnlijk bestaan uit een gedraaide schijf die 20xM20 getapte gaten zal hebben en die vervolgens aan de cilinder zal worden gelast. Baars BV beschikt over de juiste las-procedures welke voldoen aan de eisen van Bureau Veritas.

6.5 FEM-analyse - Bouten

Deze FEM-analyse is uitgevoerd in samenwerking met BEN3D. Allereerst is een 3D model gecreëerd waarna de waardes zijn ingevoerd die uit de analyse-fase kwamen. De waardes die voortkomen uit de analyse fase zullen namelijk negatiever uitvallen dan die van de oplossing. Dit komt omdat de spudpaal 1 meter korter is. De waardes uit de analyse-fase waren:

Buigmoment = 1135kNm
Afschuifspanning = 561kN

Het gegenereerde resultaat is op figuur 34 te zien.

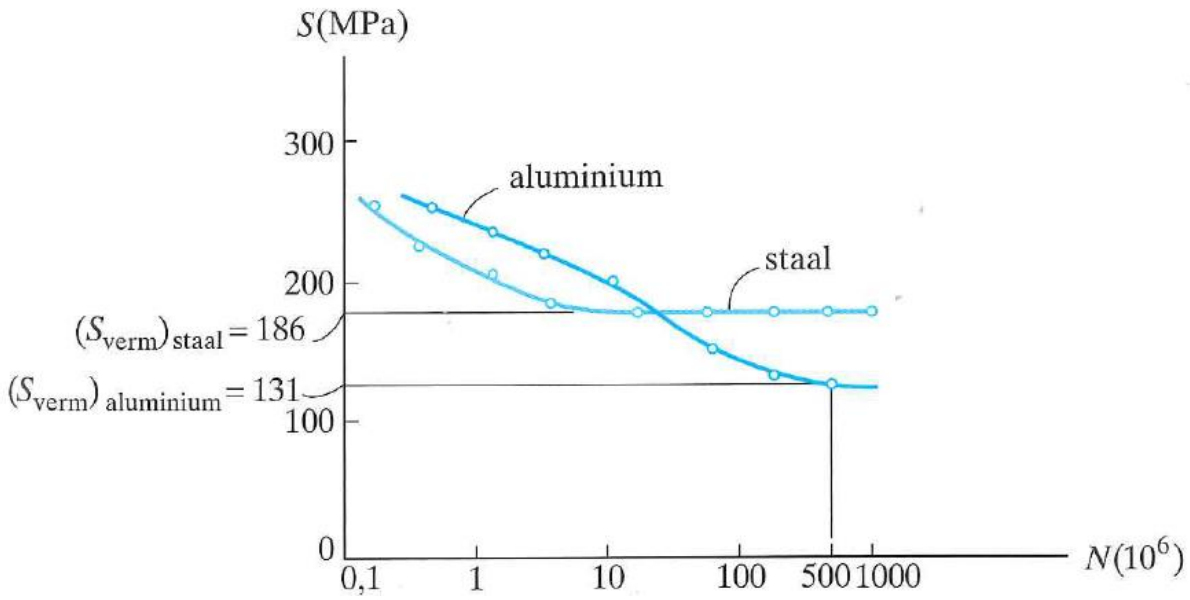


Figuur 34 - FEM resultaat bouten

Alle 20 M42 10,9 bouten voldoen aan de ingevoerde krachten. Deze uitwerking is in bijlage 10 te vinden.

6.6 Vermoeiing

Vermoeiing treedt op wanneer een constructie-element aan herhaalde spannings-of vervormingswisselingen wordt blootgesteld. Dit fenomeen kan voorkomen worden als men onder de vermoeiingsgrens van het materiaal blijft in zijn ontwerp. Deze vermoeiingsgrens kan worden bepaald door het S-N diagram.

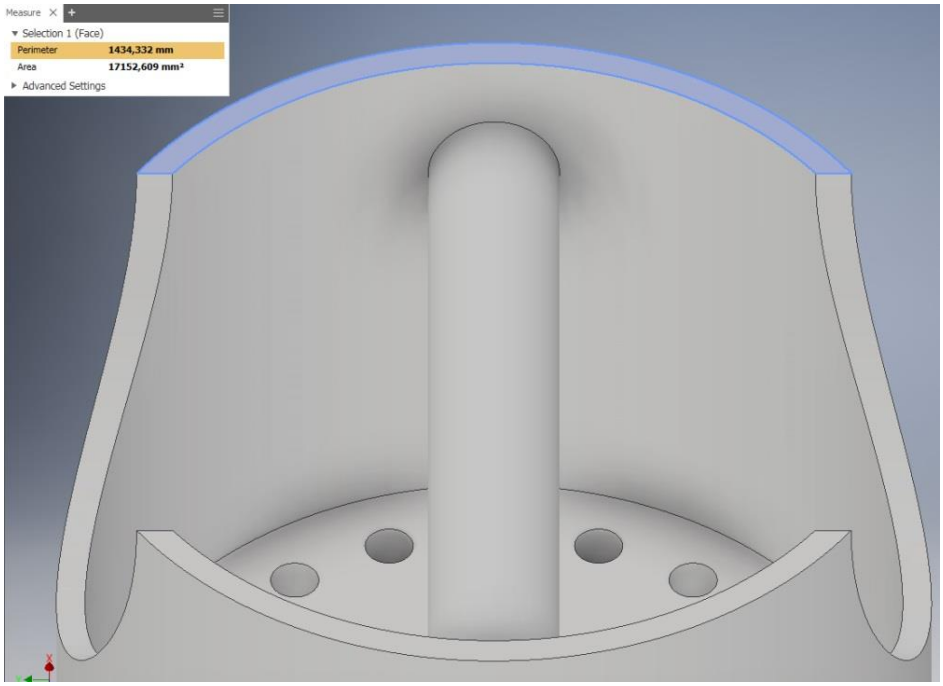


Figuur 35 - Vermoeiingsgrens staal

Zoals te zien is op figuur 35 heeft staal een vermoeiingsgrens van 186MPa. Wanneer de lokale spanningen hieronder blijven hoeft de student geen rekening te houden met vermoeiing. Uit de FEM-analyse van bijlage 11 blijkt echter ook dat de maximale spanning op de spudpaal 179,7MPa bedraagt. Hierbij is ook gerekend met het maximaal buigmoment en afschuifspanning, een situatie die nauwelijks tot nooit voorkomt. Echter stelt Bureau Veritas als eis dat er een materiaal verlies van 0,4 mm in de splashzone per jaar moet worden aangenomen wanneer er geen kathodische bescherming aanwezig is. Baars verwacht dat door deze eis en het feit dat de stormconditie zoveel als mogelijk vermeden zal worden de oplossing een levensduur heeft van ten minste 6 jaar.

6.7 Berekeningen

Buiten de FEM-analyses die zijn verricht met de verkregen data uit de analyse-fase rekent de student ook de nieuwe waardes uit. Dit doet de student met de meest ongunstigste situatie die zich voordoet in het ontwerp. Voor de eindoplossing is dit het doorsneeoppervlak in het middel van het luik welke te zien is op figuur 36. De totale oppervlakte die door inventor berekend is, is A_{cross} = 34305mm^2. Door het doorsneeoppervlakt van de gehele paal gelijk te stellen aan dit oppervlak kan men aflezen of de paal aan de structurele eisen voldoet van Bureau Veritas in deze situatie. Ook wordt de lengte aangepast naar 23m.



Figuur 36 - Dwarsdoorsnede eindoplossing

De beschreven veranderde invoerparameters resulteren in figuur 37. Hieruit blijkt dat de spudpaal nogmaals voldoet aan de gestelde structurele eisen van Bureau Veritas.

Resultaten

Definition	Symbol	Quantity	Unity	Remarks
Maximum bending stress y	$\sigma_{max,bendingy}$	180,02	MPa	When $\sigma_{max,bendingy} < \sigma_{cbyz}$ correct for Bureau Veritas
Maximum bending stress z	$\sigma_{max,bendingz}$	18,00		Assumed as 10% of y component
Allowable bending stress y&z	σ_{cbyz}	422,06	MPa	
Combined stress	σ_{comb}	204,15	MPa	When $\sigma_{comb} < \sigma_{max,design}$ correct for Bureau Veritas
Maximum design stress	$\sigma_{max,design}$	312,4	MPa	
Factor	σ_f	11.973,6	Mpa	
Allowable compressive stress	σ_{ca}	352,4	Mpa	
Actual leg axial stress	σ_{ax}	16,7	MPa	
max axial stress	σ_{xtot}	196,8	MPa	When $\sigma_{xtot} < \sigma_{ca}$ correct for Bureau Veritas
Tau	τ	31,4	MPa	
Checking criteria factor	-	0,059		
Checking criteria	-	0,6458		when cheking criteria < 1 correct for Bureau Veritas
Overturning moment	M_o	4079,2	kN/m	
Stabilizing moment	M_s	9110,4	kN/m	Spudlegside to end pontoon assumed at 0,83mm
Is it safe?		YES!		Safe when 1,25Ms = Mo
Stabilizing moment is this times higher:		2,23		

Figuur 37 - Resultaten eindoplossing

6.8 Financieel rendement

Tabel 7 geeft inzicht in de kosten voor het implementeren van de oplossing. De informatie over de huidige situatie zijn ook daadwerkelijk waargenomen of gemaakte kosten. Echter zijn de genoemde bedragen wat betreft de oplossing op basis van schattingen en informatie van Baars BV. Ondanks dat deze bedragen kunnen afwijken van de realiteit geeft het toch inzicht in de mate waarin het product rendabel is. Er is uitgegaan van een gemiddeld gebruik van twee keer per jaar. Dit houdt in dat de spudpaal 4x uit elkaar wordt gehaald per jaar. De exacte assemblage kosten vallen in de praktijk hoger uit dan beschreven. Dit komt door bijvoorbeeld het inhuren van een bouwkraan. Aangezien deze, en de transportkosten voor allebei gelden zijn ze komen te vervallen. De aanschafprijs wordt doorgerekend met de levensduur. Er wordt uitgegaan van vier spudpalen zoals in de configuratie is beschreven. Men verwacht dat de aanschafprijs een stuk hoger zou uitvallen maar dat dit op lange termijn rendabel wordt. Er is bovendien rekening gehouden met arbeids- en eventuele andere bijkomende kosten.

Tabel 7- Financieel rendement

Investering	*Kosten per spudpaal*	*Totale kosten per jaar*	*Totale kosten per 5 jaar*
Huidige situatie			
Aanschafprijs	€ 14.000	(€ 56.000)	(€56.000)
Levensduur [j]	4	€ 14.000	€ 70.000
Assemblagekosten	€ 3400	€ 13.600	€ 68.000
Onderhoudskosten	€ 960	€ 3.840	€19.200
Totaal		€ 31.440	€157.200
Na implementatie			
Aanschafprijs	€ 21.500	(€ 86.000)	(€ 86.000)
Levensduur [j]	6	€ 14.333)	€ 71.666
Assemblagekosten	€ 1680	€ 6.720	€ 33.600
Onderhoudskosten	€ 600	€ 2400	€ 12.000
Totaal		€ 23.453	€ 117.266
Financieel rendement		**€ 7.987**	**€ 39.934**

De oplossing heeft al een financieel rendement na één jaar. De assemblagekosten vallen een stuk lager uit aangezien Baars BV nu geen lasapparatuur en lascertificaten hoeft te regelen voor de desbetreffende locatie.

6.9 Integratie in modulair jack-up 6’ ponton

Om voor een succesvolle oplossing te zorgen zal de oplossing geïntegreerd moeten worden in het modulair jack-up 6’ponton. Het niet aanpassen van de buitendiameter is hier een voorbeeld van en was daarom ook een van de eisen van Baars BV. Echter heeft de huidige spudpaal ook nog verticale geleiders aan de huid zitten. Deze zorgen ervoor dat de paal niet kan draaien in de spudcontainer en de pennen die gebruikt worden om het ponton op zijn plek te houden te ontlasten. In bijlage 12 zijn de tekeningen te zien van de huidige spudpaal en die van de oplossing. Dezelfde geleiders zijn toegevoegd aan de eindoplossing zodat deze in dezelfde spudcontainer passen die Baars BV nu heeft. Overigens zijn de geleiders dusdanig zwak dat deze zijn verwaarloosd in de sterkteberekening. In bijlage 13 wordt de eindoplossing getoetst aan de eisen.

7.Conclusie & aanbevelingen

Voor het certificeren van het modulair jack-up 6' ponton is een onderzoek uitgevoerd om de huidige certificeringssituatie in kaart te brengen. Bovendien is er middels de uitgangspunten die hieruit voortgekomen zijn een uitgebreide analyse toegepast op het ponton welke uitvoerig zijn onderbouwd. Tevens zijn er verschillende concepten gegenereerd die resulteerde in een eindconcept die de wensen van Baars tegemoet kwam. Dit eindconcept is vervolgens uitgewerkt, en dient als resultaat voor het doorlopen traject. Uit dit gehele traject zijn verschillende conclusies getrokken met daarbij enkelen aanbevelingen richting de opdrachtgever.

7.1 Conclusie

De afstudeerscriptie heeft zich op structurele wijze gericht op het in kaart brengen van de certificeringseisen, het analyseren van deze, om uiteindelijk een passend ontwerp te bieden middels de volgende doelstelling:

"Achterhaal of het modulaire jack-up ponton 6' voldoet aan de benodigde certificering om 5 nautische mijlen uit de kust te mogen werken en herontwerp deze vóór 20 december naar de eisen en behoefte van de betrokken partijen met inachtneming van de eventuele aanwezige regelgeving."

Door het contact met Ben de Vries en Bureau Veritas bleken de volgende documenten nog niet in kaart te zijn gebracht:

- Berekeningen van milieubelastingen inclusief krachten en momenten van wind, golven, stroming, ijs, sneeuw, aardbevingen indien van toepassing.
- Globale Analyse in geheven positie.
- Lokale spanningen van de spudpaal.

Door deze informatie op te leveren en dit onder andere te vertalen naar een multi inzetbaar Excel document is de student geslaagd voor zijn afgesproken aandeel in het certificeringsproces.

De oplossing die de student heeft bedacht naar aanleiding van de nieuwe eisen van Baars BV voldoet aan het programma van eisen. Baars BV heeft hiermee enkele handvaten om de modulaire spudpaal daadwerkelijk te gaan gebruiken. Buiten het feit dat deze oplossing een langere levensduur heeft dan de huidige spudpaal, is deze oplossing al na één jaar rendabel. Ook past de modulaire spudpaal perfect in de huidige manier van werken van Baars BV. Concluderend kan gesteld worden dat het vraagstuk is beantwoord en de doelstelling behaald.

7.2 Aanbevelingen

Aangezien de schetstekeningen die zijn opgeleverd voor de modulaire spudpaal niet voor productie kunnen worden vrijgegeven adviseert de student Baars BV deze tekeningen dusdanig te veranderen dat dit wel kan.

De student adviseert Baars BV onderzoek te doen naar de exacte levensduur van de modulaire spudpaal. De student verwacht dat de levensduur positiever zou uitvallen dan eerder wordt gespeculeerd.

Ook adviseert de student Baars BV te laten kijken naar het werken van 20 nautische mijlen uit de kust. Ad van der Hoeve gaf namelijk aan dat het verschil tussen 5 en 20Nm in de regelgeving dusdanig klein is dat het commercieel gezien verstandig zal zijn als men voor de 20Nm kiest.

Het Excel document is dusdanig opgebouwd dat alle relaties tussen de begrippen te herleiden zijn. Wellicht kan een programmeur hiermee aan de gang om de gebruiksvriendelijkheid te verbeteren.

8.Competentieverantwoording

Tabel 8 geeft weer dat de student vooruitgang heeft geboekt in de competenties analyseren, ontwerpen, professionaliseren en onderzoeken.

Tabel 8 - Competentieset

Competentie	Startniveau	Gerealiseerd eindniveau	Beoogde deelcompetenties	Geplande activiteiten	Gerealiseerde activiteiten
Analyseren	2,5	3	1a3	Allereerst goed verdiepen in de certificeringseisen die gelden voor het modulair jack-up 6'ponton. Hiertoe gaat men zelfstandig relevante complexe aspecten selecteren.	Het uitzoeken van de certificeringseisen tijdens de analysefase (H4)
			1e3	Zelfstandig modelleren van mijn detailleringsmodel.	Zelfstandig mijn detailleringsmodel gemodelleerd (H6)
Ontwerpen	3	3	2a3	Relevante oplossingen bedenken die voor meer dan 50% gegarandeerd aan de eisen voldoen	Het opstellen van complexe conceptenoplossingen(bijlage 8) tijdens de ontwerpfase(H5)
			2b3	Mijn gekozen conceptoplossing gedetailleerd uitwerken	De gekozen conceptoplossing gedetailleerd uitgewerkt (H6)
			2d3	Gedetailleerde tekeningen en berekeningen maken van het eindontwerp zodat aan alle eisen kan worden getoetst	Gedetailleerd te werk gegaan zodat aan alle eisen kan worden voldoet en dit onderbouwd is (Bijlage 15)
Professionaliseren	2,5	3	8a3	Het leerdoel wordt in principe al benoemd in de studiewijzer. Men legt de focus op het uitvoeren van deze leerdoelen.	Het schrijven van een afstudeerverslag waarin het gekozen onderwerp voldoende is uitgewerkt en onderbouwd
			8d3	Toegankelijk opstellen wanneer men feedback probeert te geven. Hierdoor zal niet alleen de feedback nuttig zijn maar ook het contact. Mijn overige competenties kunnen door de ervaring van andere ook vooruitgang boeken.	Ben de Vries heeft feedback gegeven over de hydrodynamische berekening. (Excel bestand)
Onderzoeken	2	2,5	7c3	Een duidelijk en allesomvattende conclusie schrijven	Conclusie (H7.1)

Bibliografie

(18, november 15). Opgehaald van https://wetenschap.infonu.nl/techniek/182758-metaalmoeheid-vermoeiingslimiet-en-de-vermoeiingsbreuk.html

(18, December 1). Opgehaald van https://www.k-tainer.eu/nl/40ft-open-top-container

(18, november 10). Opgehaald van https://www.alurvs.nl/roestvast-staal/overzicht-bedrijfspresentaties-rvs/het-gedrag-van-roestvast-staal-in-water_10160/.

(18, augustus 28). Opgehaald van https://www.bureauveritas.nl/home/our-services/Classificatie

(18, November 11). Opgehaald van http://www.csmarine.com/jackup.htm

Aluminium eigenschapen. (sd). Opgehaald van Alumeco: http://www.alumeco.pl/Technische_informatie/Aluminium_eigenschappen.aspx

Barge Hire. (18, November 14). Opgehaald van Maritime Solutions: https://www.maritimesolutions.co.uk/barge-hire.html

Coating, P. M. (18, November 23). *Factsheet.* Opgehaald van Psmarine: Psmarine.nl

Dik, W. H. (2010). *Rapport over rapporteren.* Groningen/Houten: Noordhoff.

Hibbeler, R. C. (2014). *Dynamica.* Amsterdam: Pearson.

Hibbeler, R. C. (2014). *Statica.* Amsterdam: Pearson.

Hibbeler, R. C. (2014). *Sterkteleer.* Amsterdam: Pearson.

Jack up. (18, November 11). Opgehaald van Cs Marine: http://www.csmarine.com/jackup.htm

Kals, P. d. (2013). *Industriële productie.* Den Haag: Academic Service.

Leeuwen, G. D. (18, 12 4). *Studiewijzer Stage Werktuigbouwkunde 2018-2019.* Opgehaald van HHS.nl.

Veritas, B. (2010). *NI 534 Guidance Note for the Classification of Self-Elevating Units.* Neuilly: Marine Division.

Werktuigbouw.nl. (2018, November 30). Opgehaald van Werktuigbouw: http://www.werktuigbouw.nl/calculators/uts.htm

Wi, D. (2015, december 5). Competentieniveaus-niveaus HHS-TIS - opleiding. *Opleiding werktuigbouwkunde*.

Bijlagen

Bijlage 1 – Competenties

Competentie	Beschrijving
Analyseren	Het analyseren van een engineeringvraagstuk omvat de identificatie van het probleem of klantbehoefte, de afweging van mogelijke ontwerpstrategieën / oplossingsrichtingen en het eenduidig in kaart brengen van de eisen / doelstellingen / randvoorwaarden. Hierbij wordt een scala aan methoden gebruikt, waaronder wiskundige analyses, computermodellen, simulaties en experimenten. Randvoorwaarden op het gebied van o.a. (bedrijfs) economie & commercie, mens & maatschappij, gezondheid, veiligheid, milieu & duurzaamheid worden hierbij meegenomen.
Ontwerpen	Het realiseren van een engineeringontwerp en hierbij kunnen samenwerken met engineers en niet-engineers. Het te realiseren ontwerp kan voor een apparaat, een proces of een methode zijn en kan meer omvatten dan alleen het technisch ontwerp, waarbij de engineer een gevoel heeft voor de impact van zijn ontwerp op de maatschappelijke omgeving, gezondheid, veiligheid, milieu, duurzaamheid (bijv. cradle-to-cradle) en commerciële afwegingen. De engineer maakt bij het opstellen van zijn ontwerp gebruik van zijn kennis van ontwerpmethodieken en weet deze toe te passen. Het te realiseren ontwerp is gebaseerd op het programma van eisen en vormt een volledige en correcte implementatie van alle opgestelde eisen.
Realiseren	Het realiseren en opleveren van een product of dienst of de implementatie van een proces dat aan de gestelde eisen voldoet. De engineer ontwikkelt hiervoor praktische vaardigheden om engineeringproblemen op te lossen en voert hiervoor onderzoeken en testen uit. Deze vaardigheden omvatten kennis van het gebruik en de beperkingen van materialen, computer simulatie modellen, engineeringprocessen, apparatuur, praktische vaardigheden, technische literatuur en informatiebronnen. De bachelor is ook in staat om de (veelal niet-technische) gevolgen te overzien van zijn werkzaamheden, bijv. op het gebied van ethiek, maatschappelijke omgeving en duurzaamheid.
Beheren	Het optimaal laten functioneren van een product, dienst of proces in zijn toepassingscontext of werkomgeving, rekening houdend met aspecten op het gebied van veiligheid, milieu, technische en economische levensduur.
Managen	De engineer geeft richting en sturing aan organisatieprocessen en de daarbij betrokken medewerkers teneinde de doelen te realiseren van het organisatieonderdeel of het project waar hij leiding aan geeft.
Adviseren	De engineer geeft goed onderbouwde adviezen over het ontwerpen, verbeteren of toepassen van producten, processen en methoden en brengt renderende transacties tot stand met goederen of diensten.
Onderzoeken	De engineer heeft een kritisch onderzoekende houding en maakt gebruik van geschikte methoden en technieken m.b.t. het vergaren en beoordelen van informatie, om toegepast onderzoek uit te kunnen voeren. Deze methoden kunnen zijn: literatuuronderzoek, het ontwerp en de uitvoering van experimenten, de interpretatie van data en computer simulaties. Hiervoor worden databanken, standaarden en (veiligheids)normen geraadpleegd.
Professionaliseren	Het zich eigen maken en bijhouden van vaardigheden die benodigd zijn om de engineering competenties effectief uit te kunnen voeren. Deze vaardigheden kunnen ook in breder verband van toepassing zijn. Dit omvat onder meer het hebben van een internationale oriëntatie en het kunnen plaatsen van de nieuwste ontwikkelingen, bijvoorbeeld in relatie tot maatschappelijke normen, waarden en ethische dilemma's.

Competentieniveaus

	taak	context	zelfstandigheid
Niveau 1	gestructureerd eenvoudig	bekend eenvoudig	sturende begeleiding
Niveau 2	gestructureerd complex	bekend complex	begeleiding indien nodig
Niveau 3	ongestructureerd complex	onbekend complex	zelfstandig

Bijlage 2 - Gevraagde documenten

Doel: Duidelijk de essentiele kenmerken, algemene inrichting, dimensies, machines, hulpapparatuur en andere uitrustingen die betrekking hebben tot de classificering in kaart brengen.
Bureau Veritas verwacht de volgende documenten van Baars BV om het ponton volledig te certificeren:

- Part A ch1 Offshore Rules
- Design data, Dit moet zo uitgebreid als mogelijk gebeuren waarin ook duidelijk bewezen wordt dat het toepasselijke milieuaspecten zijn van goede bronnen.
    - Maximale deklading
    - Boorlading
    - Andere lading van hef en -hanteringsapparatuur
- Constructieberekeningen
    - <u>berekeningen van omgevingslasten inclusief krachten en momenten van wind, golven, stroming, ijs, sneeuw, aardbevingen zoals van toepassing</u>
    - berekeningen van belastingen veroorzaakt door de uitrusting
    - stabiliteitsberekeningen voor de intacte en beschadigde omstandigheden inclusief gedetailleerde berekening van blootgestelde gebieden windoppervlakken en, indien van toepassing, ijsvormingseffecten
    - <u>globale analyse in geheven positie</u>
    - <u>berekeningen van de weerstand van de SEP tegen kantelen terwijl hij op de zeebodem rust</u>
    - hydrodynamische berekening in drijvende toestand, indien relevant
    - rompberekening in drijvende toestand
    - berekening van de studpaalsterkte in drijvende toestand
    - lokale sterkteberekeningen van studpaal, studpaal / rompverbinding, rompbevestigingen en aanhorigheden, ...
    - vermoeidheidsberekening van structurele details
    - Jacking systeem (inclusief vergrendelingssysteem, indien aanwezig)berekeningen
    - berekening van gescheiden (segregeerde) belastingen tussen hef- en vergrendelsysteem
- constructietekeningen
    - Algemeen plan (in hef- en sleepconditie)
    - Dek plan
    - hoofdconstructietekeningen met structurele voorzieningen, spanten, staalkwaliteiten, gelaste verbindingen en structurele details. Op deze tekeningen moeten staan, indien van toepassing:
        - dwars- en lengtedoorsneden van de scheepsromp
        - dekken
        - beplating en frames
        - schotten en spanten
        - gehele studpaal
        - Gedetailleerde tekeningen van eventuele rekken, inclusief hun opstelling bij slepen en hijsen

- Operating manual

Bijlage 3 – Ben3D

Ben3D heeft eerder al de stabiliteit en vrij boord berekend bij de gebruikte configuratie. Wanneer het zwaartepunt van de containers op het hoogste punt wordt meegenomen in de zwaartepunts- en stabiliteitsberekening wat te zien is in onderstaande tabel hoeft er geen hellingproef te worden uitgevoerd. Vandaar dat de VCG van de containers op 1,83m ligt.

Baars 16WCO-046 **Stability Approximation d.d. 12th of October 2016**

Weigth calculation

ID	Quantity	Weight/each	Weight	LCG	TCG	VCG
[-]	[-]	[kg]	[tons]	[m]	[m]	[m]
20' Spud container	4	8500	34	9,14	0	1,83
20' moonpool container	1	6000	6	9,14	0	1,83
20' Standard	10	6000	60	9,14	0	1,83
HPU	1	3000	3	9,14	4,35	2,72
Anchor winch	4	1400	5,6	9,14	0	2,36
Anchor Frame	4	400	1,6	9,14	0	1,27
Fairleds	4	200	0,8	9,14	0	2,06
Anchor winch	4	500	2	9,14	0	0,5
3m3 Fueltank	1	4500	4,5	5,9	4,31	2,45
20 kVa Genset	1	1000	1	12,25	4,5	2,41
Lightmast	2	120	0,24	3,32	0	3,5
Navigation mast	2	300	0,6	15,24	0	4,5
Railing	1	1300	1,3	9,14	0	2,4
Bollards	4	200	0,8	9,14	0	1,92
Auxiliary Materials	1	2000	2	9,14	0	2,83
Drilling Rig Boart Longyear	1	6500	6,5	15,9	0	2,83
Miscellaneous	1	2000	2	9,14	0	2,33
Spudleg Ø762x25 - Modular L = 24m	4	12000	48	9,14	0	-3,95
Payload	1	50000	50	9,14	0	3,83

Remarks:

Drilling rig VCG assumed at 1m above decklevel
Geomil Trailer VCG assumed at 1m above decklevel
Auxiliary materials VCG assumed at 1m above decklevel
Miscellaneous VCG assumed at 0,5m above decklevel
Spud assumed at 5m below bottom of pontoon

Total weigth	**229,94**	**Tons**
LCG tot	**9,05**	**m**
VVG tot	**0,16**	**m**
TCG tot	**1,09**	**m**

In de afbeeldingen hieronder berekend Ben3D de vrijboord en stabiliteit van het ponton.

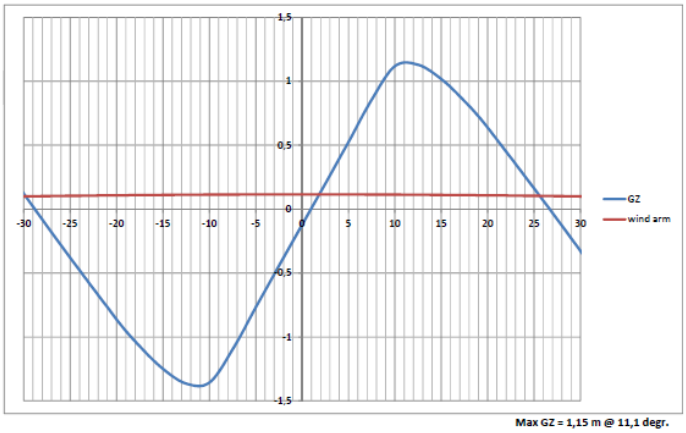
HYDROSTATICS

Draft Amidsh. m	0,929
Displacement tonne	205,1
Heel to Starboard degrees	0,93
Draft at FP m	0,973
Draft at AP m	0,885
Draft at LCF m	0,929
Trim (+ve by stern) m	-0,089
WL Length m	18,285
WL Beam m	12,192
Wetted Area m^2	282,887
Waterpl. Area m^2	220,844
Prismatic Coeff.	0,946
Block Coeff.	0,858
Midship Area Coeff.	0,907
Waterpl. Area Coeff.	0,991
LCB from zero pt. m	9,286
LCF from zero pt. m	9,138
KB m	0,463
KG fluid m	6,309
BMt m	13,221
BML m	29,694
GMt m	7,378
GML m	23,85
KMt m	13,684
KML m	30,157
Immersion (TPc) tonne/cm	2,208
MTc tonne.m	2,675
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	26,408
Max deck inclination deg	1
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,3

GZ-CURVE

windmoment approx.
23,5
tonm

COS part of heel, 0	Heel [rad]	Heel [degr]	GZ(m)
0,074	-0,87	-50	-0,642
0,088	-0,70	-40	-0,518
0,099	-0,52	-30	-0,379
0,108	-0,35	-20	-0,227
0,109	-0,31	-17,5	-0,188
0,111	-0,26	-15	-0,149
0,112	-0,22	-12,5	-0,109
0,113	-0,17	-10	-0,071
0,114	-0,13	-7,5	-0,121
0,114	-0,09	-5	-0,081
0,115	-0,04	-2,5	-0,041
0,115	0,00	0	0
0,115	0,04	2,5	0,041
0,114	0,09	5	0,081
0,114	0,13	7,5	0,121
0,113	0,17	10	0,071
0,112	0,22	12,5	0,109
0,111	0,26	15	0,149
0,109	0,31	17,5	0,188
0,108	0,35	20	0,227
0,099	0,52	30	0,378
0,088	0,70	40	0,518
0,074	0,87	50	0,642



Max GZ = 1,15 m @ 11,1 degr.

EQUILIBRIUM CONDITION WITH ADDED WIND MOMENT

Draft Amidsh. m	0,929
Displacement tonne	205,1
Heel to Starboard degrees	1,82
Draft at FP m	0,973
Draft at AP m	0,884
Draft at LCF m	0,929
Trim (+ve by stern) m	-0,089
WL Length m	18,285
WL Beam m	12,196
Wetted Area m^2	282,885
Waterpl. Area m^2	220,927
Prismatic Coeff.	0,946
Block Coeff.	0,788
Midship Area Coeff.	0,834
Waterpl. Area Coeff.	0,991
LCB from zero pt. m	9,286
LCF from zero pt. m	9,138
KB m	0,458
KG fluid m	6,309
BMt m	13,237
BML m	29,705
GMt m	7,396
GML m	23,864
KMt m	13,695
KML m	30,164
Immersion (TPc) tonne/cm	2,209
MTc tonne.m	2,677
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	26,471
Max deck inclination deg	1,8
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,3
Min. freeboard at equilibrium	**0,662** Pass

Preliminary Conclusions Regarding Pontoon Stability:

Pontoon easily meets ROSR criteria (freeboard >0,30 m)
Potoon has reasonable stability reserve

Strength Assessment

Weight calculation

The jack-up is built out of standard 20" Confloat units (see General Arrangement Plan 17-025-CO). The weight calculation in the jacked condition is given below (spud weight not taken into account).

Baars 16WCO-046 **Stability Approximation d.d. 12th of October 2016**

Weight calculation

ID	Quantity	Weight/each	Weight	LCG	TCG	VCG
[-]	[-]	[kg]	[tons]	[m]	[m]	[m]
20' Spud container	4	8500	34	9,14	0	1,83
20' moonpool container	1	6000	6	9,14	0	1,83
20' Standard	10	6000	60	9,14	0	1,83
HPU	1	3000	3	9,14	4,35	2,72
Anchor winch	4	1400	5,6	9,14	0	2,36
Anchor Frame	4	400	1,6	9,14	0	1,27
Fairleads	4	200	0,8	9,14	0	2,06
Anchor winch	4	500	2	9,14	0	0,5
3m3 Fuel tank	1	4500	4,5	5,9	4,31	2,45
20 kVa Genset	1	1000	1	12,25	4,5	2,41
Lightmast	2	120	0,24	3,32	0	3,5
Navigation mast	2	300	0,6	15,24	0	4,5
Railing	1	1300	1,3	9,14	0	2,4
Bollards	4	200	0,8	9,14	0	1,92
Auxiliary Materials	1	2000	2	9,14	0	2,83
Drilling Rig Boart Longyear	1	6500	6,5	15,9	0	2,83
Miscellaneous	1	2000	2	9,14	0	2,33
Spudleg Ø762x25 - Modular L = 24m	4	12000	48	9,14	0	-3,95
Payload	1	50000	50	9,14	0	3,83

Remarks:

Drilling rig VCG assumed at 1m above decklevel
Geomil Trailer VCG assumed at 1m above decklevel
Auxiliary materials VCG assumed at 1m above decklevel
Miscellaneous VCG assumed at 0,5m above decklevel
Spud assumed at 5m below bottom of pontoon

Total weight	**229,94**	**Tons**
LCG tot	**9,05**	**m**
VVG tot	**0,16**	**m**
TCG tot	**1,09**	**m**

Design Conditions

The following design conditions are applicable, see the table below.

Case

	Wind	Current	Hs	Waterdepth	Pen	Airgap	Wave period
	[m/s]	[m/s]	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]
Operational	13	3	2,5	18	2	2,45	5,39
Survival	50	3	2,5	10	2	2,45	5,39
Sheltered/shallow	50	3	2,5	10	2	2,45	5,39

Strength Calculations (spuds)

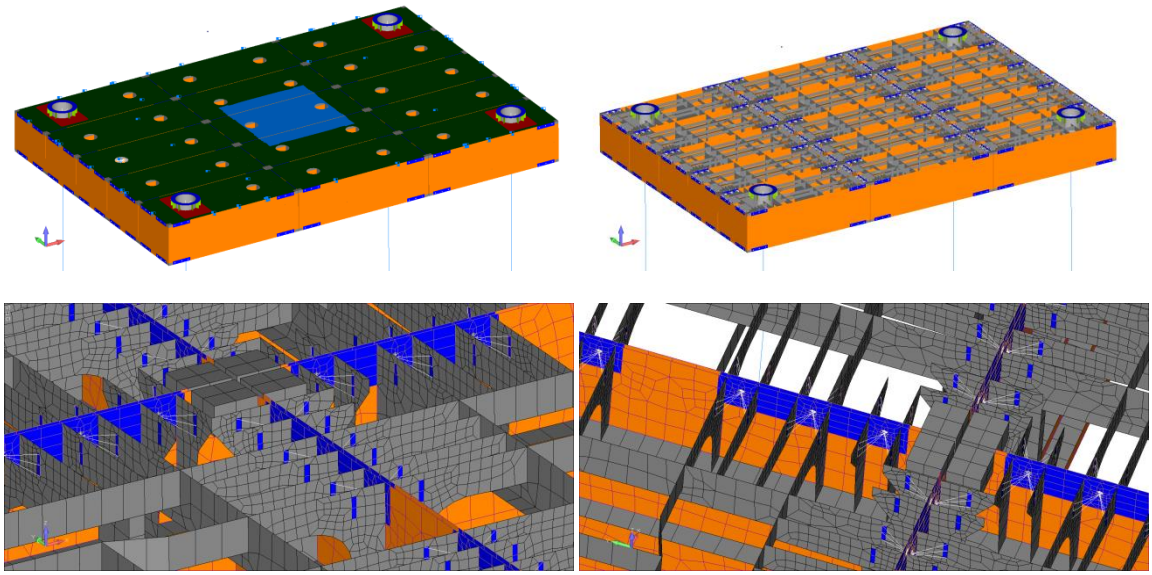
The results of the strength calculation for the above given design conditions are given in Appendix I. The Survival Condition results in the highest spud loads and the corresponding environmental loads are therefore included in the finite element calculations that is done in order to calculate the forces in the bolt couplings.

Strength Calculations (bolts)

The Confloat units are coupled by using M30 bolts. The Confloat Coupling System itself is classified for the following design loads within the bolts:

Maximum bolt forces:		
AXIAL design value	**20,0**	TON
SHEAR design value	**3,5**	TON

The total coupling system consists out of 408 bolts. In order to calculate the forces that occur in each of those bolts a finite element model was made. The model was built in Femap v11.1 and consists out of approx. 320.000 elements. It is shown in the plots below.



The model includes all parts of the inner stiffening structure of the Confloat units. The bolts are modelled as beam elements which are connected to the structure by using rigid elements. It is expected that the total model represents the actual stiffness of the jack-up structure.

The payload (maximum deck load) of 50 tons is located on a 4 x 4 [m] area at the centre of the deck area (blue elements as shown in the plot above). This represents a conservative approach. In the model the load is applied as a non-structural mass on these elements.

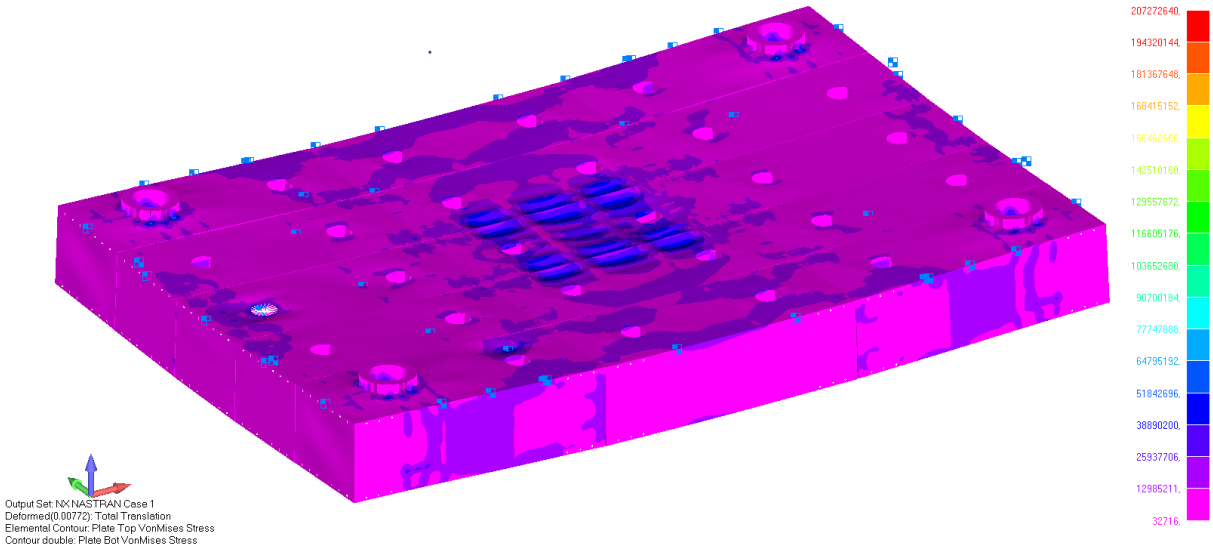
All other deck equipment is represented as point mass elements. The total mass of the structural model confirms the mass as calculated:

	Mass	Center_of_Gravity_in_CSys_0		
	----	X	Y	Z
Structural	129702.8	-3.527839	-11.32835	1.124483
NonStructural	60008.34	-3.055439	-11.40315	1.8202
Total	189711.2	-3.378412	-11.35201	1.344548

Note that the weight of the spuds is not included. The spuds themselves are modelled as beam elements (pipe 762 x 25 [mm]).

Static load case (without environmental conditions)

For this load case a body load (g_z = -9,81 [m/s^2]) is applied to the FEM model. The calculated (plate von Mises) stresses and deformation are shown in the plot below.



The calculation results of the shear forces (combination of PL1 and PL2 shear) and tension forces show maximum values as given below:

		SHEAR	TENSION
		[TONS]	[TONS]
Minimum		0,2	-8,9
Maximum		2,7	8,4

For each bolt, the calculated tension and shear forces are evaluated using the below given failure criterion for combined loading of bolts (Source: Design of Steel Structures by Prof. S.R. Satish Kumar and Prof. A.R. Santha Kumar).

Design of Steel Structures — Prof. S.R.Satish Kumar and Prof. A.R.Santha Kumar

3.2.5.3 Combined shear and tension failure

Bolt Subjected to Combined Shear and Tension – A bolt required to resist both design shear force (V_{sd}) and design tensile force (T_{nd}) at the same time shall satisfy

$$\left(\frac{V}{V_{sd}}\right)^2 + \left(\frac{T_e}{T_{nd}}\right)^2 \le 1.0 \qquad (3.13)$$

Where, V = applied shear; V_{sd} = design shear capacity; T_e = externally applied tension and T_{nd} = design tension capacity. This gives a circular interaction curve as shown in Fig. 3.11.

The results of all 408 bolts are given in Appendix II.

Appendix II

Strength Calculations of Bolts (static loading)

Bolt no	FEM ID	Shear [t]	Tension [t]	Criterion	Result	Bolt no	FEM ID	Shear [t]	Tension [t]	Criterion	Result	Bolt no	FEM ID	Shear [t]	Tension [t]	Criterion	Result
1	1	2,05	-8,81	0,53	OK	69	21333	1,20	-1,16	0,12	OK	137	62993	0,42	1,44	0,02	OK
2	2	1,11	-6,03	0,19	OK	70	21334	1,88	-0,70	0,29	OK	138	62994	0,65	1,18	0,04	OK
3	3	0,77	-3,96	0,09	OK	71	21335	1,02	-1,06	0,09	OK	139	62995	2,10	-1,64	0,36	OK
4	4	2,13	8,32	0,54	OK	72	21336	1,94	-1,43	0,31	OK	140	62996	1,16	-1,09	0,11	OK
5	5	1,14	5,90	0,19	OK	73	21337	1,71	-7,73	0,39	OK	141	62997	2,27	-0,50	0,42	OK
6	6	0,71	4,60	0,09	OK	74	21338	0,95	-5,34	0,14	OK	142	62998	1,20	-1,88	0,12	OK
7	7	0,68	1,08	0,04	OK	75	21339	0,64	-3,69	0,07	OK	143	62999	0,49	-1,13	0,02	OK
8	8	0,45	1,26	0,02	OK	76	21340	1,67	7,24	0,36	OK	144	63000	0,69	-0,91	0,04	OK
9	9	1,11	1,10	0,10	OK	77	21341	0,85	5,11	0,12	OK	145	63463	1,09	4,16	0,14	OK
10	10	1,77	0,64	0,25	OK	78	21342	0,49	4,30	0,07	OK	146	63464	0,51	3,84	0,06	OK
11	11	1,02	1,17	0,09	OK	79	21799	0,46	3,39	0,05	OK	147	63465	0,62	3,04	0,05	OK
12	12	1,95	1,36	0,31	OK	80	21800	0,16	3,30	0,03	OK	148	63466	0,38	2,55	0,03	OK
13	13	0,54	-0,94	0,03	OK	81	21801	0,32	2,72	0,03	OK	149	63467	0,17	3,34	0,03	OK
14	14	0,50	-1,15	0,02	OK	82	21802	0,33	2,42	0,02	OK	150	63468	0,48	3,55	0,05	OK
15	15	1,20	-1,16	0,12	OK	83	21803	0,44	3,33	0,04	OK	151	63469	1,07	-3,87	0,13	OK
16	16	1,88	-0,70	0,29	OK	84	21804	1,00	3,75	0,12	OK	152	63470	0,46	-3,97	0,06	OK
17	17	1,02	-1,06	0,09	OK	85	21805	0,44	-3,17	0,04	OK	153	63471	0,59	-3,20	0,05	OK
18	18	1,94	-1,43	0,31	OK	86	21806	0,18	-2,97	0,02	OK	154	63472	0,41	-2,79	0,03	OK
19	19	1,12	-8,10	0,27	OK	87	21807	0,41	-2,66	0,03	OK	155	63473	0,16	-3,07	0,03	OK
20	20	0,44	-5,90	0,10	OK	88	21808	0,35	-2,37	0,02	OK	156	63474	0,46	-3,27	0,04	OK
21	21	0,35	-3,93	0,05	OK	89	21809	0,46	-3,34	0,04	OK	157	83821	0,46	3,39	0,05	OK
22	22	1,25	7,61	0,27	OK	90	21810	1,01	-3,75	0,12	OK	158	83822	0,16	3,30	0,03	OK
23	23	0,50	5,91	0,11	OK	91	21811	1,83	-5,90	0,36	OK	159	83823	0,32	2,72	0,03	OK
24	24	0,18	4,70	0,06	OK	92	21812	0,67	-5,31	0,11	OK	160	83824	0,33	2,42	0,02	OK
25	493	2,75	-8,91	0,81	OK	93	21813	0,29	-3,81	0,04	OK	161	83825	0,44	3,33	0,04	OK
26	494	1,36	-6,15	0,24	OK	94	21814	1,97	5,85	0,40	OK	162	83826	1,00	3,75	0,12	OK
27	495	0,88	-4,10	0,10	OK	95	21815	0,86	5,04	0,12	OK	163	83827	0,44	-3,17	0,04	OK
28	496	2,71	8,41	0,77	OK	96	21816	0,41	4,42	0,06	OK	164	83828	0,18	-2,97	0,02	OK
29	497	1,41	6,00	0,25	OK	97	32215	0,90	1,18	0,07	OK	165	83829	0,41	-2,66	0,03	OK
30	498	0,87	4,68	0,12	OK	98	32216	0,38	1,32	0,02	OK	166	83830	0,35	-2,37	0,02	OK
31	955	0,90	1,18	0,07	OK	99	32217	0,59	1,18	0,03	OK	167	83831	0,46	-3,34	0,04	OK
32	956	0,38	1,32	0,02	OK	100	32218	0,31	1,19	0,01	OK	168	83832	1,01	-3,75	0,12	OK
33	957	0,59	1,18	0,03	OK	101	32219	0,34	1,33	0,01	OK	169	83833	2,05	-5,43	0,42	OK
34	958	0,31	1,19	0,01	OK	102	32220	0,89	1,16	0,07	OK	170	83834	0,89	-5,15	0,13	OK
35	959	0,34	1,33	0,01	OK	103	32221	0,82	-1,06	0,06	OK	171	83835	0,40	-4,28	0,06	OK
36	960	0,89	1,16	0,07	OK	104	32222	0,40	-1,28	0,02	OK	172	83836	2,17	5,72	0,46	OK
37	961	0,82	-1,06	0,06	OK	105	32223	0,58	-1,36	0,03	OK	173	83837	1,01	4,52	0,13	OK
38	962	0,40	-1,28	0,02	OK	106	32224	0,28	-1,56	0,01	OK	174	83838	0,54	3,93	0,06	OK
39	963	0,58	-1,36	0,03	OK	107	32225	0,34	-1,36	0,01	OK	175	84295	0,52	3,40	0,05	OK
40	964	0,28	-1,56	0,01	OK	108	32226	0,93	-1,06	0,07	OK	176	84296	0,19	3,30	0,03	OK
41	965	0,34	-1,36	0,01	OK	109	32227	1,94	-7,87	0,46	OK	177	84297	0,31	2,72	0,03	OK
42	966	0,93	-1,06	0,07	OK	110	32228	1,00	-5,44	0,16	OK	178	84298	0,27	2,43	0,02	OK
43	967	1,51	-8,13	0,35	OK	111	32229	0,64	-3,75	0,07	OK	179	84299	0,38	3,33	0,04	OK
44	968	0,62	-6,19	0,13	OK	112	32230	1,92	7,35	0,43	OK	180	84300	0,91	3,74	0,10	OK
45	969	0,38	-4,10	0,05	OK	113	32231	0,97	5,20	0,14	OK	181	84301	0,49	-3,18	0,05	OK
46	970	1,46	7,79	0,32	OK	114	32232	0,56	4,40	0,07	OK	182	84302	0,19	-2,97	0,03	OK
47	971	0,60	6,03	0,12	OK	115	32689	0,60	3,60	0,06	OK	183	84303	0,39	-2,66	0,03	OK
48	972	0,27	4,78	0,06	OK	116	32690	0,33	3,43	0,04	OK	184	84304	0,29	-2,38	0,02	OK
49	20857	2,10	1,57	0,36	OK	117	32691	0,72	2,97	0,06	OK	185	84305	0,40	-3,35	0,04	OK
50	20858	1,17	1,22	0,11	OK	118	32692	0,53	2,29	0,04	OK	186	84306	0,92	-3,75	0,10	OK
51	20859	2,15	0,46	0,37	OK	119	32693	0,29	3,12	0,03	OK	187	84307	2,05	-5,35	0,41	OK
52	20860	1,08	1,30	0,10	OK	120	32694	0,59	3,53	0,06	OK	188	84308	0,89	-5,11	0,13	OK
53	20861	0,42	1,44	0,02	OK	121	32695	0,61	-3,14	0,05	OK	189	84309	0,40	-4,27	0,06	OK
54	20862	0,65	1,18	0,04	OK	122	32696	0,29	-3,03	0,03	OK	190	84310	2,16	5,67	0,46	OK
55	20863	2,10	-1,64	0,36	OK	123	32697	0,71	-3,95	0,08	OK	191	84311	1,00	4,49	0,13	OK
56	20864	1,16	-1,09	0,11	OK	124	32698	0,44	-4,69	0,07	OK	192	84312	0,54	3,92	0,06	OK
57	20865	2,27	-0,50	0,42	OK	125	32699	0,15	-2,51	0,02	OK	193	94711	0,60	3,60	0,06	OK
58	20866	1,20	-1,88	0,12	OK	126	32700	0,54	-2,67	0,04	OK	194	94712	0,33	3,43	0,04	OK
59	20867	0,49	-1,13	0,02	OK	127	32701	1,49	-6,28	0,28	OK	195	94713	0,72	2,97	0,06	OK
60	20868	0,69	-0,91	0,04	OK	128	32702	0,56	-5,36	0,10	OK	196	94714	0,53	2,29	0,04	OK
61	21325	0,68	1,08	0,04	OK	129	32703	0,28	-3,81	0,04	OK	197	94715	0,29	3,12	0,03	OK
62	21326	0,45	1,26	0,02	OK	130	32704	1,60	6,03	0,30	OK	198	94716	0,59	3,53	0,06	OK
63	21327	1,11	1,10	0,10	OK	131	32705	0,68	5,17	0,10	OK	199	94717	0,61	-3,14	0,05	OK
64	21328	1,77	0,64	0,25	OK	132	32706	0,31	4,54	0,06	OK	200	94718	0,29	-3,03	0,03	OK
65	21329	1,02	1,17	0,09	OK	133	62989	2,10	1,57	0,36	OK	201	94719	0,71	-3,95	0,08	OK
66	21330	1,95	1,36	0,31	OK	134	62990	1,17	1,22	0,11	OK	202	94720	0,44	-4,69	0,07	OK
67	21331	0,54	-0,94	0,03	OK	135	62991	2,15	0,46	0,37	OK	203	94721	0,15	-2,51	0,02	OK
68	21332	0,50	-1,15	0,02	OK	136	62992	1,08	1,30	0,10	OK	204	94722	0,54	-2,67	0,04	OK

Bolt no	FEM ID	Shear [t]	Tension [t]	Criterion	Result	Bolt no	FEM ID	Shear [t]	Tension [t]	Criterion	Result	Bolt no	FEM ID	Shear [t]	Tension [t]	Criterion	Result
205	94723	1,70	-5,92	0,32	OK	273	146793	1,08	1,09	0,10	OK	341	188459	0,29	1,48	0,01	OK
206	94724	0,77	-5,09	0,11	OK	274	146794	1,71	0,67	0,24	OK	342	188460	0,54	1,28	0,03	OK
207	94725	0,38	-4,06	0,05	OK	275	146795	0,97	1,19	0,08	OK	343	188461	2,04	-1,70	0,34	OK
208	94726	1,79	5,79	0,34	OK	276	146796	1,87	1,36	0,29	OK	344	188462	1,12	-1,13	0,10	OK
209	94727	0,84	4,66	0,11	OK	277	146797	0,76	-0,94	0,05	OK	345	188463	2,21	-0,51	0,39	OK
210	94728	0,44	4,16	0,06	OK	278	146798	0,50	-1,13	0,02	OK	346	188464	1,20	-3,36	0,14	OK
211	95185	0,57	3,62	0,06	OK	279	146799	1,17	-1,14	0,11	OK	347	188465	0,45	-0,57	0,02	OK
212	95186	0,33	3,44	0,04	OK	280	146800	1,82	-0,73	0,27	OK	348	188466	0,72	-0,52	0,04	OK
213	95187	0,75	2,98	0,07	OK	281	146801	0,97	-1,08	0,08	OK	349	208357	0,75	1,06	0,05	OK
214	95188	0,55	2,29	0,04	OK	282	146802	1,86	-1,43	0,28	OK	350	208358	0,45	1,25	0,02	OK
215	95189	0,32	3,12	0,03	OK	283	146803	1,75	-7,46	0,39	OK	351	208359	1,08	1,09	0,10	OK
216	95190	0,64	3,53	0,06	OK	284	146804	0,96	-5,16	0,14	OK	352	208360	1,71	0,67	0,24	OK
217	95191	0,58	-3,13	0,05	OK	285	146805	0,64	-3,59	0,07	OK	353	208361	0,97	1,19	0,08	OK
218	95192	0,29	-3,02	0,03	OK	286	146806	1,69	7,00	0,35	OK	354	208362	1,87	1,36	0,29	OK
219	95193	0,73	-3,94	0,08	OK	287	146807	0,86	4,95	0,12	OK	355	208363	0,76	-0,94	0,05	OK
220	95194	0,44	-4,68	0,07	OK	288	146808	0,49	4,19	0,06	OK	356	208364	0,50	-1,13	0,02	OK
221	95195	0,18	-2,51	0,02	OK	289	157207	0,57	3,62	0,06	OK	357	208365	1,17	-1,14	0,11	OK
222	95196	0,60	-2,67	0,05	OK	290	157208	0,33	3,44	0,04	OK	358	208366	1,82	-0,73	0,27	OK
223	95197	1,66	-5,93	0,31	OK	291	157209	0,75	2,98	0,07	OK	359	208367	0,97	-1,08	0,08	OK
224	95198	0,75	-5,09	0,11	OK	292	157210	0,55	2,29	0,04	OK	360	208368	1,86	-1,43	0,28	OK
225	95199	0,36	-4,06	0,05	OK	293	157211	0,32	3,12	0,03	OK	361	208369	1,26	-7,77	0,28	OK
226	95200	1,72	5,78	0,32	OK	294	157212	0,64	3,53	0,06	OK	362	208370	0,49	-5,70	0,10	OK
227	95201	0,78	4,66	0,10	OK	295	157213	0,58	-3,13	0,05	OK	363	208371	0,35	-3,80	0,05	OK
228	95202	0,39	4,16	0,06	OK	296	157214	0,29	-3,02	0,03	OK	364	208372	1,32	7,33	0,28	OK
229	125485	1,09	4,16	0,14	OK	297	157215	0,73	-3,94	0,08	OK	365	208373	0,54	5,70	0,10	OK
230	125486	0,51	3,84	0,06	OK	298	157216	0,44	-4,68	0,07	OK	366	208374	0,22	4,53	0,06	OK
231	125487	0,62	3,04	0,05	OK	299	157217	0,18	-2,51	0,02	OK	367	208375	2,21	-8,41	0,57	OK
232	125488	0,38	2,55	0,03	OK	300	157218	0,60	-2,67	0,05	OK	368	208376	1,15	-5,79	0,19	OK
233	125489	0,17	3,34	0,03	OK	301	157219	1,46	-6,30	0,27	OK	369	208377	0,78	-3,81	0,09	OK
234	125490	0,48	3,55	0,05	OK	302	157220	0,54	-5,36	0,10	OK	370	208378	2,21	7,94	0,55	OK
235	125491	1,07	-3,87	0,13	OK	303	157221	0,26	-3,83	0,04	OK	371	208379	1,17	5,65	0,19	OK
236	125492	0,46	-3,97	0,06	OK	304	157222	1,63	6,01	0,31	OK	372	208380	0,73	4,42	0,09	OK
237	125493	0,59	-3,20	0,05	OK	305	157223	0,73	5,15	0,11	OK	373	208837	0,91	1,26	0,07	OK
238	125494	0,41	-2,79	0,03	OK	306	157224	0,35	4,53	0,06	OK	374	208838	0,39	1,38	0,02	OK
239	125495	0,16	-3,07	0,03	OK	307	157681	0,91	1,26	0,07	OK	375	208839	0,62	1,20	0,04	OK
240	125496	0,46	-3,27	0,04	OK	308	157682	0,39	1,38	0,02	OK	376	208840	0,33	1,18	0,01	OK
241	125959	0,99	4,18	0,12	OK	309	157683	0,62	1,20	0,04	OK	377	208841	0,37	1,33	0,02	OK
242	125960	0,45	3,86	0,05	OK	310	157684	0,33	1,18	0,01	OK	378	208842	0,95	1,15	0,08	OK
243	125961	0,56	3,05	0,05	OK	311	157685	0,37	1,33	0,02	OK	379	208843	0,97	-1,05	0,08	OK
244	125962	0,34	2,57	0,03	OK	312	157686	0,95	1,15	0,08	OK	380	208844	0,41	-1,24	0,02	OK
245	125963	0,18	3,36	0,03	OK	313	157687	0,97	-1,05	0,08	OK	381	208845	0,60	-1,36	0,03	OK
246	125964	0,50	3,56	0,05	OK	314	157688	0,41	-1,24	0,02	OK	382	208846	0,30	-1,55	0,01	OK
247	125965	0,96	-3,88	0,11	OK	315	157689	0,60	-1,36	0,03	OK	383	208847	0,36	-1,36	0,02	OK
248	125966	0,38	-3,98	0,05	OK	316	157690	0,30	-1,55	0,01	OK	384	208848	0,98	-1,05	0,08	OK
249	125967	0,53	-3,22	0,05	OK	317	157691	0,36	-1,36	0,02	OK	385	208849	1,19	-7,50	0,26	OK
250	125968	0,36	-2,86	0,03	OK	318	157692	0,98	-1,05	0,08	OK	386	208850	0,68	-6,81	0,15	OK
251	125969	0,15	-3,12	0,03	OK	319	157693	1,60	-7,64	0,35	OK	387	208851	0,31	-4,42	0,06	OK
252	125970	0,45	-3,30	0,04	OK	320	157694	0,82	-5,30	0,12	OK	388	208852	1,09	7,72	0,24	OK
253	146317	0,52	3,40	0,05	OK	321	157695	0,55	-3,75	0,06	OK	389	208853	0,44	5,98	0,11	OK
254	146318	0,19	3,30	0,03	OK	322	157696	1,59	7,27	0,34	OK	390	208854	0,16	4,76	0,06	OK
255	146319	0,31	2,72	0,03	OK	323	157697	0,79	5,18	0,12	OK	391	209323	2,21	-8,57	0,58	OK
256	146320	0,27	2,43	0,02	OK	324	157698	0,44	4,39	0,06	OK	392	209324	1,08	-6,01	0,19	OK
257	146321	0,38	3,33	0,04	OK	325	187981	0,99	4,18	0,12	OK	393	209325	0,69	-4,21	0,08	OK
258	146322	0,91	3,74	0,10	OK	326	187982	0,45	3,86	0,05	OK	394	209326	2,29	8,36	0,60	OK
259	146323	0,49	-3,18	0,05	OK	327	187983	0,56	3,05	0,05	OK	395	209327	1,20	5,96	0,21	OK
260	146324	0,19	-2,97	0,03	OK	328	187984	0,34	2,57	0,03	OK	396	209328	0,74	4,66	0,10	OK
261	146325	0,39	-2,66	0,03	OK	329	187985	0,18	3,36	0,03	OK	397	229213	2,03	1,63	0,34	OK
262	146326	0,29	-2,38	0,02	OK	330	187986	0,50	3,56	0,05	OK	398	229214	1,13	1,29	0,11	OK
263	146327	0,40	-3,35	0,04	OK	331	187987	0,96	-3,88	0,11	OK	399	229215	2,08	0,57	0,35	OK
264	146328	0,92	-3,75	0,10	OK	332	187988	0,38	-3,98	0,05	OK	400	229216	0,91	1,32	0,07	OK
265	146329	1,84	-5,78	0,36	OK	333	187989	0,53	-3,22	0,05	OK	401	229217	0,29	1,48	0,01	OK
266	146330	0,67	-5,22	0,10	OK	334	187990	0,36	-2,86	0,03	OK	402	229218	0,54	1,28	0,03	OK
267	146331	0,29	-3,75	0,04	OK	335	187991	0,15	-3,12	0,03	OK	403	229219	2,04	-1,70	0,34	OK
268	146332	1,98	5,75	0,40	OK	336	187992	0,45	-3,30	0,04	OK	404	229220	1,12	-1,13	0,10	OK
269	146333	0,86	4,95	0,12	OK	337	188455	2,03	1,63	0,34	OK	405	229221	2,21	-0,51	0,39	OK
270	146334	0,42	4,33	0,06	OK	338	188456	1,13	1,29	0,11	OK	406	229222	1,20	-3,36	0,14	OK
271	146791	0,75	1,06	0,05	OK	339	188457	2,08	0,57	0,35	OK	407	229223	0,45	-0,57	0,02	OK
272	146792	0,45	1,25	0,02	OK	340	188458	0,91	1,32	0,07	OK	408	229224	0,72	-0,52	0,04	OK

Appendix III

Strength Calculations of Bolts (Loadcase including maximum environmental conditions)

Bolt no	FEM ID	Shear [t]	Tension [t]	Criterion	Result	Bolt no	FEM ID	Shear [t]	Tension [t]	Criterion	Result	Bolt no	FEM ID	Shear [t]	Tension [t]	Criterion	Result
1	1	0,58	-9,67	0,26	OK	69	21333	2,22	1,14	0,40	OK	137	62993	0,76	-0,67	0,05	OK
2	2	0,20	-6,75	0,12	OK	70	21334	3,49	7,81	1,14	ONWAAR	138	62994	1,10	-1,04	0,10	OK
3	3	0,29	-4,33	0,05	OK	71	21335	2,61	6,04	0,64	OK	139	62995	4,91	4,02	2,00	ONWAAR
4	4	0,63	9,34	0,25	OK	72	21336	4,99	4,38	2,06	ONWAAR	140	62996	2,66	6,08	0,66	OK
5	5	0,22	6,90	0,12	OK	73	21337	2,63	-8,74	0,75	OK	141	62997	4,17	8,58	1,59	ONWAAR
6	6	0,20	5,30	0,07	OK	74	21338	1,32	-5,95	0,23	OK	142	62998	2,01	0,18	0,33	OK
7	7	1,13	-1,23	0,11	OK	75	21339	0,84	-4,06	0,10	OK	143	62999	0,82	0,91	0,06	OK
8	8	0,89	-1,01	0,07	OK	76	21340	2,58	8,16	0,71	OK	144	63000	1,12	1,31	0,11	OK
9	9	2,16	-1,27	0,38	OK	77	21341	1,21	5,68	0,20	OK	145	63463	4,49	1,98	1,64	ONWAAR
10	10	3,17	-8,48	0,99	OK	78	21342	0,67	4,81	0,09	OK	146	63464	1,86	1,42	0,29	OK
11	11	2,57	-5,76	0,62	OK	79	21799	1,21	2,50	0,13	OK	147	63465	1,87	1,19	0,29	OK
12	12	4,95	-4,42	2,03	ONWAAR	80	21800	0,53	2,35	0,04	OK	148	63466	0,95	1,79	0,08	OK
13	13	0,97	1,38	0,08	OK	81	21801	1,16	1,91	0,12	OK	149	63467	0,42	2,41	0,03	OK
14	14	0,92	1,03	0,07	OK	82	21802	1,31	0,59	0,14	OK	150	63468	1,23	2,66	0,14	OK
15	15	2,22	1,14	0,40	OK	83	21803	2,02	0,92	0,33	OK	151	63469	4,49	-1,73	1,64	ONWAAR
16	16	3,49	7,81	1,14	ONWAAR	84	21804	4,83	1,66	1,90	ONWAAR	152	63470	1,81	-1,59	0,27	OK
17	17	2,61	6,04	0,64	OK	85	21805	1,19	-2,32	0,13	OK	153	63471	1,84	-1,55	0,28	OK
18	18	4,99	4,38	2,06	ONWAAR	86	21806	0,57	-2,09	0,04	OK	154	63472	1,07	-2,14	0,10	OK
19	19	2,77	-9,13	0,83	OK	87	21807	1,32	-1,95	0,15	OK	155	63473	0,41	-2,20	0,03	OK
20	20	1,39	-6,44	0,26	OK	88	21808	1,34	-0,71	0,15	OK	156	63474	1,19	-2,44	0,13	OK
21	21	0,89	-4,34	0,11	OK	89	21809	2,04	-0,99	0,34	OK	157	83821	1,21	2,50	0,13	OK
22	22	2,97	8,52	0,90	OK	90	21810	4,85	-1,72	1,91	ONWAAR	158	83822	0,53	2,35	0,04	OK
23	23	1,55	6,26	0,29	OK	91	21811	2,05	-6,29	0,44	OK	159	83823	1,16	1,91	0,12	OK
24	24	0,97	5,05	0,14	OK	92	21812	0,76	-5,76	0,13	OK	160	83824	1,31	0,59	0,14	OK
25	493	1,34	-9,82	0,39	OK	93	21813	0,39	-4,13	0,06	OK	161	83825	2,02	0,92	0,33	OK
26	494	0,50	-6,84	0,14	OK	94	21814	2,19	6,17	0,48	OK	162	83826	4,83	1,66	1,90	ONWAAR
27	495	0,32	-4,44	0,06	OK	95	21815	0,97	5,54	0,15	OK	163	83827	1,19	-2,32	0,13	OK
28	496	1,26	9,46	0,35	OK	96	21816	0,51	4,97	0,08	OK	164	83828	0,57	-2,09	0,04	OK
29	497	0,53	6,98	0,14	OK	97	32215	0,92	-0,67	0,07	OK	165	83829	1,32	-1,95	0,15	OK
30	498	0,22	5,36	0,08	OK	98	32216	0,39	-0,24	0,01	OK	166	83830	1,34	-0,71	0,15	OK
31	955	0,92	-0,67	0,07	OK	99	32217	0,60	0,06	0,03	OK	167	83831	2,04	-0,99	0,34	OK
32	956	0,39	-0,24	0,01	OK	100	32218	0,33	0,22	0,01	OK	168	83832	4,85	-1,72	1,91	ONWAAR
33	957	0,60	0,06	0,03	OK	101	32219	0,31	-0,18	0,01	OK	169	83833	2,41	-5,71	0,55	OK
34	958	0,33	0,22	0,01	OK	102	32220	0,87	-0,72	0,06	OK	170	83834	1,16	-5,19	0,18	OK
35	959	0,31	-0,18	0,01	OK	103	32221	0,85	0,80	0,06	OK	171	83835	0,66	-4,29	0,08	OK
36	960	0,87	-0,72	0,06	OK	104	32222	0,41	0,26	0,01	OK	172	83836	2,51	5,91	0,60	OK
37	961	0,85	0,80	0,06	OK	105	32223	0,58	-0,28	0,03	OK	173	83837	1,23	4,44	0,17	OK
38	962	0,41	0,26	0,01	OK	106	32224	0,30	-0,61	0,01	OK	174	83838	0,72	3,86	0,08	OK
39	963	0,58	-0,28	0,03	OK	107	32225	0,31	0,16	0,01	OK	175	84295	0,25	4,29	0,05	OK
40	964	0,30	-0,61	0,01	OK	108	32226	0,92	0,81	0,07	OK	176	84296	0,22	4,24	0,05	OK
41	965	0,31	0,16	0,01	OK	109	32227	2,93	-8,76	0,89	OK	177	84297	0,53	3,53	0,05	OK
42	966	0,92	0,81	0,07	OK	110	32228	1,37	-5,94	0,24	OK	178	84298	0,71	4,27	0,09	OK
43	967	3,20	-9,06	1,04	ONWAAR	111	32229	0,79	-4,07	0,09	OK	179	84299	1,19	5,74	0,20	OK
44	968	1,57	-6,70	0,31	OK	112	32230	2,90	8,17	0,85	OK	180	84300	2,92	5,82	0,77	OK
45	969	0,96	-4,50	0,12	OK	113	32231	1,32	5,68	0,22	OK	181	84301	0,26	-4,18	0,05	OK
46	970	3,21	8,62	1,02	ONWAAR	114	32232	0,70	4,86	0,10	OK	182	84302	0,20	-4,00	0,04	OK
47	971	1,64	6,35	0,32	OK	115	32689	1,41	2,82	0,18	OK	183	84303	0,53	-3,48	0,05	OK
48	972	0,99	5,12	0,14	OK	116	32690	0,62	2,68	0,05	OK	184	84304	0,70	-4,15	0,08	OK
49	20857	4,85	-4,00	1,94	ONWAAR	117	32691	0,97	2,40	0,09	OK	185	84305	1,18	-5,87	0,20	OK
50	20858	2,61	-5,80	0,64	OK	118	32692	0,67	1,77	0,04	OK	186	84306	2,91	-5,94	0,78	OK
51	20859	3,84	-9,29	1,41	ONWAAR	119	32693	0,59	2,39	0,04	OK	187	84307	1,70	-5,08	0,30	OK
52	20860	1,90	-0,81	0,29	OK	120	32694	1,42	2,74	0,18	OK	188	84308	0,63	-5,07	0,10	OK
53	20861	0,76	-0,67	0,05	OK	121	32695	1,43	-2,39	0,18	OK	189	84309	0,19	-4,25	0,05	OK
54	20862	1,10	-1,04	0,10	OK	122	32696	0,59	-2,32	0,04	OK	190	84310	1,82	5,48	0,34	OK
55	20863	4,91	4,02	2,00	ONWAAR	123	32697	0,96	-3,44	0,10	OK	191	84311	0,79	4,57	0,10	OK
56	20864	2,66	6,08	0,66	OK	124	32698	0,56	-4,22	0,07	OK	192	84312	0,40	3,99	0,05	OK
57	20865	4,17	8,58	1,59	ONWAAR	125	32699	0,47	-1,81	0,03	OK	193	94711	1,41	2,82	0,18	OK
58	20866	2,01	0,18	0,33	OK	126	32700	1,37	-1,91	0,16	OK	194	94712	0,62	2,68	0,05	OK
59	20867	0,82	0,91	0,06	OK	127	32701	1,74	-6,71	0,36	OK	195	94713	0,97	2,40	0,09	OK
60	20868	1,12	1,31	0,11	OK	128	32702	0,71	-5,89	0,13	OK	196	94714	0,67	1,77	0,04	OK
61	21325	1,13	-1,23	0,11	OK	129	32703	0,39	-4,19	0,06	OK	197	94715	0,59	2,39	0,04	OK
62	21326	0,89	-1,01	0,07	OK	130	32704	1,86	6,34	0,38	OK	198	94716	1,42	2,74	0,18	OK
63	21327	2,16	-1,27	0,38	OK	131	32705	0,85	5,72	0,14	OK	199	94717	1,43	-2,39	0,18	OK
64	21328	3,17	-8,48	0,99	OK	132	32706	0,46	5,12	0,08	OK	200	94718	0,59	-2,32	0,04	OK
65	21329	2,57	-5,76	0,62	OK	133	62989	4,85	-4,00	1,94	ONWAAR	201	94719	0,96	-3,44	0,10	OK
66	21330	4,95	-4,42	2,03	ONWAAR	134	62990	2,61	-5,80	0,64	OK	202	94720	0,56	-4,22	0,07	OK
67	21331	0,97	1,38	0,08	OK	135	62991	3,84	-9,29	1,41	ONWAAR	203	94721	0,47	-1,81	0,03	OK
68	21332	0,92	1,03	0,07	OK	136	62992	1,90	-0,81	0,29	OK	204	94722	1,37	-1,91	0,16	OK

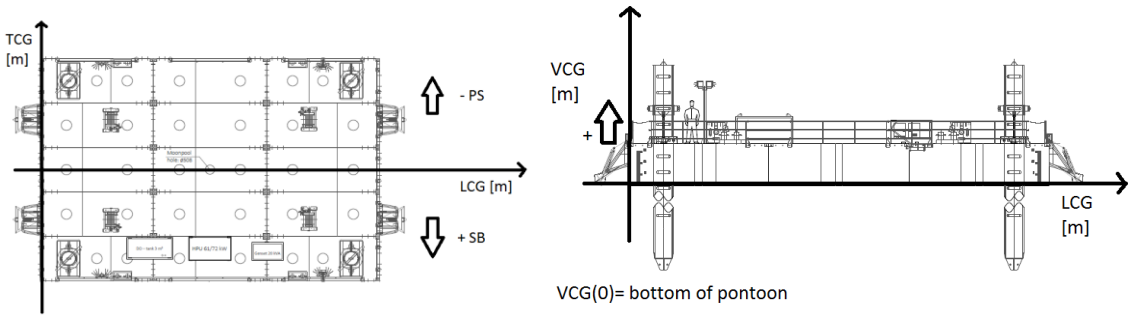
Bolt no	FEM ID	Shear [t]	Tension [t]	Criterion	Result	Bolt no	FEM ID	Shear [t]	Tension [t]	Criterion	Result	Bolt no	FEM ID	Shear [t]	Tension [t]	Criterion	Result
205	94723	2,02	-6,22	0,43	OK	273	146793	1,02	3,45	0,11	OK	341	188459	0,58	3,60	0,06	OK
206	94724	0,96	-5,10	0,14	OK	274	146794	0,66	9,79	0,28	OK	342	188460	0,19	3,51	0,03	OK
207	94725	0,53	-4,05	0,06	OK	275	146795	1,00	8,12	0,25	OK	343	188461	0,95	-7,49	0,21	OK
208	94726	2,09	5,95	0,44	OK	276	146796	1,26	7,15	0,26	OK	344	188462	0,86	-8,45	0,24	OK
209	94727	0,99	4,55	0,13	OK	277	146797	0,38	-3,39	0,04	OK	345	188463	0,50	-9,74	0,26	OK
210	94728	0,53	4,07	0,06	OK	278	146798	0,51	-3,44	0,05	OK	346	188464	1,19	-5,53	0,19	OK
211	95185	0,33	4,40	0,06	OK	279	146799	1,13	-3,55	0,14	OK	347	188465	0,56	-2,75	0,04	OK
212	95186	0,29	4,19	0,05	OK	280	146800	0,63	-9,39	0,25	OK	348	188466	0,26	-2,86	0,03	OK
213	95187	0,56	3,56	0,06	OK	281	146801	1,04	-8,33	0,26	OK	349	208357	0,38	3,37	0,04	OK
214	95188	0,47	2,82	0,04	OK	282	146802	1,33	-7,38	0,28	OK	350	208358	0,48	3,53	0,05	OK
215	95189	0,25	3,86	0,04	OK	283	146803	0,94	-6,48	0,18	OK	351	208359	1,02	3,45	0,11	OK
216	95190	0,26	4,32	0,05	OK	284	146804	0,67	-4,55	0,09	OK	352	208360	0,66	9,79	0,28	OK
217	95191	0,30	-4,03	0,05	OK	285	146805	0,49	-3,21	0,04	OK	353	208361	1,00	8,12	0,25	OK
218	95192	0,24	-3,87	0,04	OK	286	146806	0,88	6,08	0,16	OK	354	208362	1,26	7,15	0,26	OK
219	95193	0,53	-4,56	0,07	OK	287	146807	0,59	4,39	0,08	OK	355	208363	0,38	-3,39	0,04	OK
220	95194	0,38	-5,25	0,08	OK	288	146808	0,37	3,67	0,04	OK	356	208364	0,51	-3,44	0,05	OK
221	95195	0,20	-3,36	0,03	OK	289	157207	0,33	4,40	0,06	OK	357	208365	1,13	-3,55	0,14	OK
222	95196	0,29	-3,57	0,04	OK	290	157208	0,29	4,19	0,05	OK	358	208366	0,63	-9,39	0,25	OK
223	95197	1,35	-5,64	0,23	OK	291	157209	0,56	3,56	0,06	OK	359	208367	1,04	-8,33	0,26	OK
224	95198	0,56	-5,07	0,09	OK	292	157210	0,47	2,82	0,04	OK	360	208368	1,33	-7,38	0,28	OK
225	95199	0,23	-4,05	0,05	OK	293	157211	0,25	3,86	0,04	OK	361	208369	0,81	-6,76	0,17	OK
226	95200	1,43	5,62	0,25	OK	294	157212	0,26	4,32	0,05	OK	362	208370	0,89	-5,16	0,13	OK
227	95201	0,63	4,78	0,09	OK	295	157213	0,30	-4,03	0,05	OK	363	208371	1,16	-3,39	0,14	OK
228	95202	0,30	4,25	0,05	OK	296	157214	0,24	-3,87	0,04	OK	364	208372	0,75	6,41	0,15	OK
229	125485	4,49	1,98	1,64	ONWAAR	297	157215	0,53	-4,56	0,07	OK	365	208373	0,75	5,35	0,12	OK
230	125486	1,86	1,42	0,29	OK	298	157216	0,38	-5,25	0,08	OK	366	208374	0,95	4,18	0,12	OK
231	125487	1,87	1,19	0,29	OK	299	157217	0,20	-3,36	0,03	OK	367	208375	3,67	-7,52	1,23	ONWAAR
232	125488	0,95	1,79	0,08	OK	300	157218	0,29	-3,57	0,04	OK	368	208376	2,09	-5,07	0,42	OK
233	125489	0,42	2,41	0,03	OK	301	157219	1,21	-5,87	0,20	OK	369	208377	1,67	-3,46	0,26	OK
234	125490	1,23	2,66	0,14	OK	302	157220	0,39	-4,81	0,07	OK	370	208378	3,72	6,94	1,24	ONWAAR
235	125491	4,49	-1,73	1,64	ONWAAR	303	157221	0,18	-3,45	0,03	OK	371	208379	2,11	4,65	0,42	OK
236	125492	1,81	-1,59	0,27	OK	304	157222	1,37	5,70	0,23	OK	372	208380	1,58	3,71	0,24	OK
237	125493	1,84	-1,55	0,28	OK	305	157223	0,56	4,60	0,08	OK	373	208837	0,89	3,11	0,09	OK
238	125494	1,07	-2,14	0,10	OK	306	157224	0,19	3,95	0,04	OK	374	208838	0,39	2,94	0,03	OK
239	125495	0,41	-2,20	0,03	OK	307	157681	0,89	3,11	0,09	OK	375	208839	0,61	2,32	0,04	OK
240	125496	1,19	-2,44	0,13	OK	308	157682	0,39	2,94	0,03	OK	376	208840	0,32	2,16	0,02	OK
241	125959	2,41	6,35	0,57	OK	309	157683	0,61	2,32	0,04	OK	377	208841	0,42	2,84	0,03	OK
242	125960	0,92	6,27	0,17	OK	310	157684	0,32	2,16	0,02	OK	378	208842	0,98	3,03	0,10	OK
243	125961	0,69	4,89	0,10	OK	311	157685	0,42	2,84	0,03	OK	379	208843	0,93	-3,04	0,09	OK
244	125962	0,23	3,34	0,03	OK	312	157686	0,98	3,03	0,10	OK	380	208844	0,40	-2,92	0,03	OK
245	125963	0,08	4,30	0,05	OK	313	157687	0,93	-3,04	0,09	OK	381	208845	0,60	-2,55	0,05	OK
246	125964	0,25	4,44	0,05	OK	314	157688	0,40	-2,92	0,03	OK	382	208846	0,29	-2,61	0,02	OK
247	125965	2,46	-6,18	0,59	OK	315	157689	0,60	-2,55	0,05	OK	383	208847	0,39	-3,03	0,04	OK
248	125966	0,97	-6,51	0,18	OK	316	157690	0,29	-2,61	0,02	OK	384	208848	0,99	-3,06	0,10	OK
249	125967	0,72	-4,99	0,10	OK	317	157691	0,39	-3,03	0,04	OK	385	208849	0,82	-6,59	0,16	OK
250	125968	0,30	-3,62	0,04	OK	318	157692	0,99	-3,06	0,10	OK	386	208850	0,82	-6,31	0,15	OK
251	125969	0,10	-4,13	0,04	OK	319	157693	0,72	-6,78	0,16	OK	387	208851	0,99	-4,02	0,12	OK
252	125970	0,28	-4,28	0,05	OK	320	157694	0,56	-4,80	0,08	OK	388	208852	0,88	6,87	0,18	OK
253	146317	0,25	4,29	0,05	OK	321	157695	0,46	-3,42	0,05	OK	389	208853	0,78	5,65	0,13	OK
254	146318	0,22	4,24	0,05	OK	322	157696	0,75	6,44	0,15	OK	390	208854	0,94	4,41	0,12	OK
255	146319	0,53	3,53	0,05	OK	323	157697	0,55	4,70	0,08	OK	391	209323	3,63	-7,63	1,21	ONWAAR
256	146320	0,71	4,27	0,09	OK	324	157698	0,37	3,92	0,05	OK	392	209324	1,99	-5,31	0,39	OK
257	146321	1,19	5,74	0,20	OK	325	187981	2,41	6,35	0,57	OK	393	209325	1,53	-3,88	0,23	OK
258	146322	2,92	5,82	0,77	OK	326	187982	0,92	6,27	0,17	OK	394	209326	3,75	7,34	1,28	ONWAAR
259	146323	0,26	-4,18	0,05	OK	327	187983	0,69	4,89	0,10	OK	395	209327	2,11	4,99	0,42	OK
260	146324	0,20	-4,00	0,04	OK	328	187984	0,23	3,34	0,03	OK	396	209328	1,56	3,98	0,24	OK
261	146325	0,53	-3,48	0,05	OK	329	187985	0,08	4,30	0,05	OK	397	229213	0,87	7,21	0,19	OK
262	146326	0,70	-4,15	0,08	OK	330	187986	0,25	4,44	0,05	OK	398	229214	0,80	8,31	0,22	OK
263	146327	1,18	-5,87	0,20	OK	331	187987	2,46	-6,18	0,59	OK	399	229215	0,52	10,32	0,29	OK
264	146328	2,91	-5,94	0,78	OK	332	187988	0,97	-6,51	0,18	OK	400	229216	1,16	3,43	0,14	OK
265	146329	1,62	-5,40	0,29	OK	333	187989	0,72	-4,99	0,10	OK	401	229217	0,58	3,60	0,06	OK
266	146330	0,59	-4,76	0,08	OK	334	187990	0,30	-3,62	0,04	OK	402	229218	0,19	3,51	0,03	OK
267	146331	0,19	-3,41	0,03	OK	335	187991	0,10	-4,13	0,04	OK	403	229219	0,95	-7,49	0,21	OK
268	146332	1,76	5,43	0,32	OK	336	187992	0,28	-4,28	0,05	OK	404	229220	0,86	-8,45	0,24	OK
269	146333	0,76	4,45	0,10	OK	337	188455	0,87	7,21	0,19	OK	405	229221	0,50	-9,74	0,26	OK
270	146334	0,32	3,78	0,04	OK	338	188456	0,80	8,31	0,22	OK	406	229222	1,19	-5,53	0,19	OK
271	146791	0,38	3,37	0,04	OK	339	188457	0,52	10,32	0,29	OK	407	229223	0,56	-2,75	0,04	OK
272	146792	0,48	3,53	0,05	OK	340	188458	1,16	3,43	0,14	OK	408	229224	0,26	-2,86	0,03	OK

Bijlage 4 – Berekenen van toets waardes

In deze bijlage worden een aantal berekeningen die zijn verricht uitvoeriger toegelicht. Echter wijst de student de lezer op het Excel document wat is meegeleverd met deze scriptie. Hierin zijn alle gedefinieerde waardes, symbolen, eenheden, gebruikte formules en referentie beschreven.

Het zwaartepunt & gewicht

Op het zwaartepunt van een object mag men alle relevante krachtvectoren laten aangrijpen. Denk hierbij aan het gewicht van het ponton of de dynamische versterkingskracht. De student bepaald het zwaartepunt van de SEP door het gewicht van alle componenten weer te geven op een zelfgekozen assenstelsel. Dit 3-dimensionale assenstelsel is in onderstaande afbeeldingen te zien.



Het gewicht van alle componenten is vervolgens ingevoerd als coördinaat op dit assenstelsel die voldoen aan de configuratie zoals Baars BV die heeft opgegeven. Dit is te zien op onderstaande afbeelding.

ID	Quantity	Weight/each	Weight	LCG	TCG	VCG	Remarks
[-]	[-]	[kg]	[tons]	[m]	[m]	[m]	
20' Spud container	4	8500	34,0	9,14	0	0,915	
20' Standard	11	6000	66,0	9,14	0	0,915	
HPU	1	3000	3,0	9,14	4,35	2,72	
Anchor winch	4	1400	5,6	9,14	0	2,36	
Anchor Frame	4	400	1,6	9,14	0	1,27	
Fairleds	4	200	0,8	9,14	0	2,06	
Anchor winch	4	500	2,0	9,14	0	0,5	
3m3 Fueltank	1	4500	4,5	5,9	4,31	2,45	
20 kVa Genset	1	1000	1,0	12,25	4,5	2,41	
Lightmast	2	120	0,2	3,32	0	3,5	
Navigation mast	2	300	0,6	15,24	0	4,5	
Railing	1	1300	1,3	9,14	0	2,4	
Bollards	4	200	0,8	9,14	0	1,92	
Auxiliary Materials	1	2000	2,0	9,14	0	2,83	VCG assumed at 1m above deck level
Drilling Rig Boart Longyear	1	6500	6,5	15,9	0	2,83	VCG assumed at 1m above deck level
Miscellaneous	1	2000	2,0	9,14	0	2,33	VCG assumed at 0,5m above deck level
Spudleg Ø762x25 - Modular L = 24r	4	12000	48,0	9,14	0	-3,95	
Payload	1	50000	50	9,14	0	3,83	VCG assumed at 2m above deck level

Vervolgens is het zwaartepunt bepaald met de volgende formules:

$$Total\ weight = \Sigma(\text{massa componenten})$$

$$Total\ LCG = \frac{\Sigma(\text{Mcomponent} * \text{LCGcomponent} + \text{Mcomponentn} * \text{LCGcomponentn})}{\Sigma N}$$

$$Total\ TCG = \frac{\Sigma(\text{Mcomponent} * \text{TCGcomponent} + \text{Mcomponentn} * \text{TCGcomponentn})}{\Sigma N}$$

$$Total\ VCG = \frac{\Sigma(\text{Mcomponent} * \text{VCGcomponent} + \text{Mcomponentn} * \text{VCGcomponentn})}{\Sigma N}$$

Resultaat

Begrip	*Aantal*	*Eenheid*
Total Weight	229,94	Tons
Weight spudlegs	48,00	Tons
Weight pontoon + equipment	131,94	Tons
Total LCG	9,29	m
Total TCG	0,16	m
Total VCG	0,74	m

De resultaten zijn in bovenstaande tabel zien. Hieruit blijkt dus dat het zwaartepunt van het ponton uit het midden ligt en zich op 74 cm boven onderkant ponton bevindt. De massa waarmee men moet rekenen is 229,94 ton. Dit is inclusief de gevraagde draagkracht van 50ton.

Milieuomstandigheden
Bureau Veritas stelt eisen aan het onderbouwen van de milieuomstandigheden en het (wanneer nodig) doorrekenen met deze. Aangezien de geschetste situatie afkomstig is vanuit Baars BV hoeft de student deze beginwaardes niet te verantwoorden. De doorrekenwaardes echter wél. De milieuomstandigheden kunnen worden opgedeeld in 4 delen:

De gedefinieerde waardes

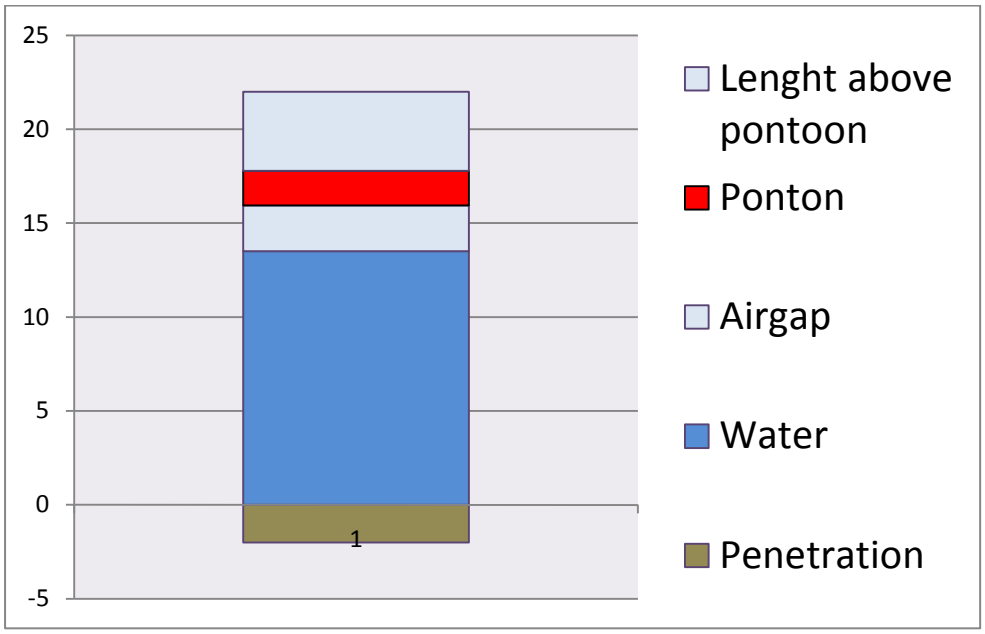
De windkracht en het aangrijpingspunt van deze

De hydrodynamische kracht die op het ponton werkt

De dynamische versterkingslading die voortkomt uit de hydrodynamische kracht

Gedefinieerde waardes

Op onderstaand figuur is een overzicht van de situatie te zien. Er moet gerekend worden met het waterniveau Max still Water level (SWL). Dit is het normale waterniveau met daarbij de stormvloed en het getij respectievelijk 10, 1.5 en 2 meter. De hoogte vanaf onderkant ponton tot de zeebodem wordt ook bepaald middels regelgeving van Bureau Veritas evenals de airgap welke respectievelijk 15,95 en 2,45meter zijn.



Hydrodynamica

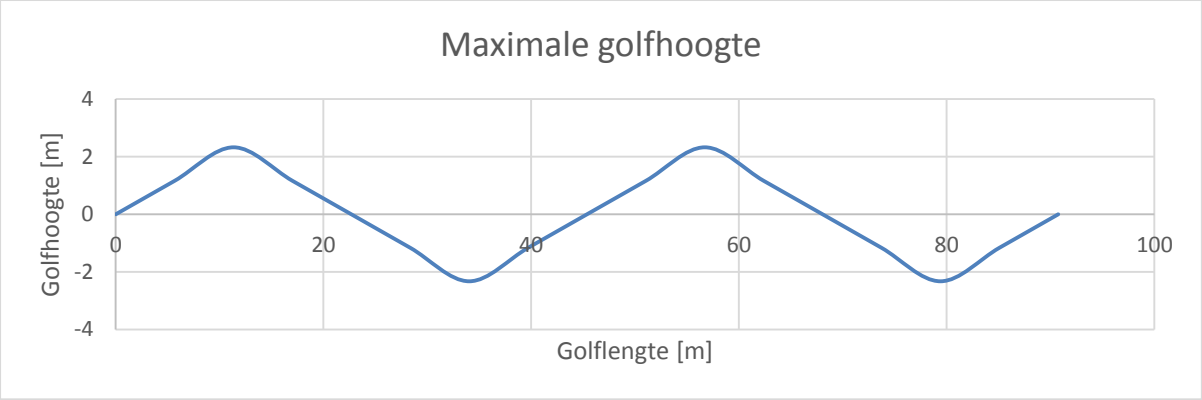
De significante golfhoogte die Baars Bv in zijn gebruikersomgeving heeft gekozen is 2.5m. De significante golfhoogte is de gemiddelde hoogte van de hoogste één-derde deel van de gemeten golven. Dit is dus niet de maximale golfhoogte. Deze bepaald Bureau Veritas als volgt: $Hmax = 1{,}86\ Hs$. Hieruit volgt een maximale golfhoogte van 4,65m. Echter is niet alleen de hoogte belangrijk van de golf. De periode en golflengte zijn ook essentieel om met een golf te rekenen. Deze periode en golflengte worden als volgt bepaald(indien niet beschreven door de aanvrager) door Bureau Veritas:

$$Golfperiode = T_{ass} = 2{,}5 * \sqrt{H_{max}} = 5{,}39s$$

$$Golflengte = \lambda = \frac{g}{2\Pi} * T_{ass}^2 = 45{,}38m$$

<u>Resultaat</u>

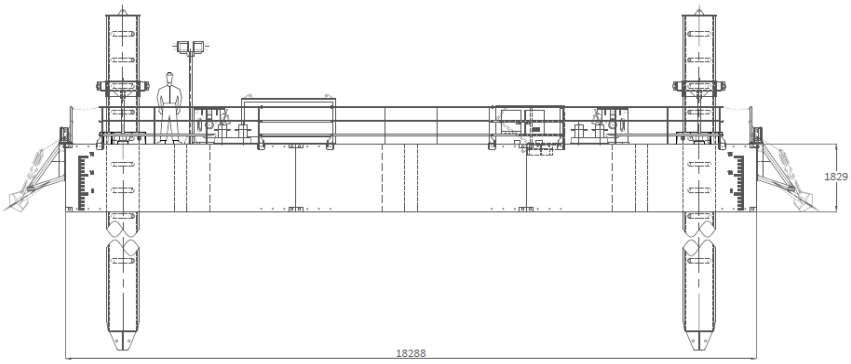
Het resultaat van de golfperiode en de golflengte is in onderstaand figuur te zien.



In de gebruikersomgeving van Baars Bv bevindt zich een stromingssnelheid van 3m/s. Bureau Veritas heeft als enigste eis hierbij dat de dichtheid van het water moet aangenomen worden als 1025kg/m^3.

Wind

Bij het berekenen van het modulaire jack-up 6' ponton in geheven positie moet men ook rekening houden met de wind. De dichtheid van de wind moet aangenomen worden als 1,222kg/m^3. Ook moet men ervan uitgaan dat de wind in alle richtingen op het ponton kan aangrijpen. Echter moet er gerekend worden met het grootst mogelijke oppervlak. Het aanzicht waarbij de SEP het grootste windoppervlak heeft wordt aangegeven in onderstaand figuur.

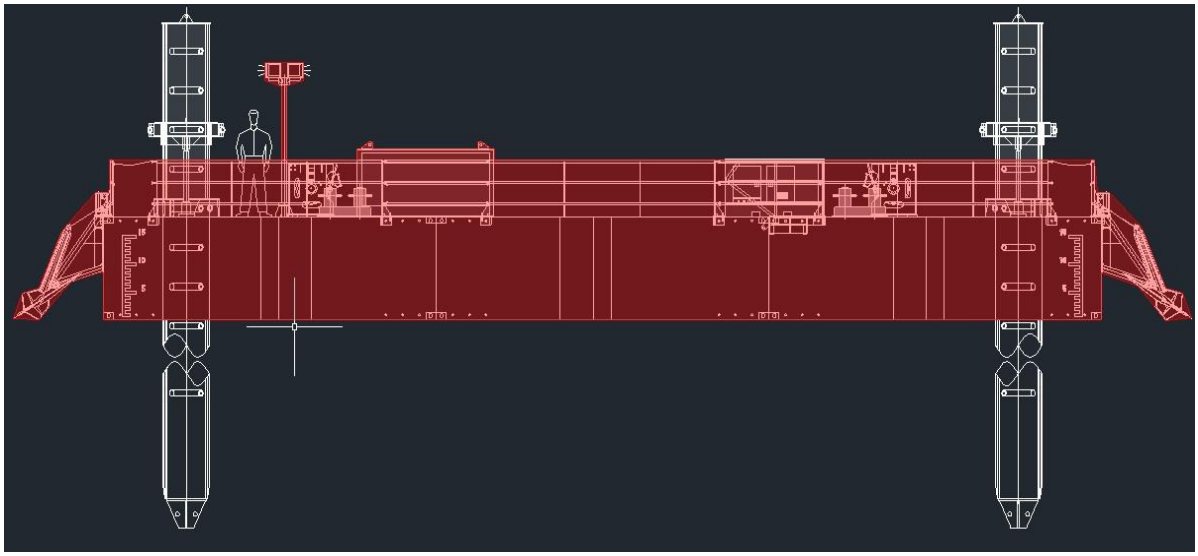


Windkracht & aangrijpingspunt
De windkracht moet worden bepaald volgens de vergelijking:

$$Windkracht = F_{wind} = \frac{1}{2} * C_h * \rho_{air} * ((A_{wind,ponton} * C_{s,ponton}) + (A_{wind,spud} * C_{s,spud})) * V_{wind}^2 * 10^{-3}$$

Gegevens
Windkracht = F_{wind} = ?
Weerstand coëfficiënt ponton = $C_{s,ponton}$ = 1.4
Weerstand coëfficiënt spud = $C_{s,spud}$ = 0,5
Hoogte coëfficiënt = C_h = 1
Dichtheid lucht = P_{air} = 1,222kg/m^3
Windoppervlak $A_{wind,ponton}$ = ?
Windoppervlak $A_{wind,spud}$ = ?
V_{wind} = 50m/s

Om de windkracht te berekenen moeten dus eerst de windoppervlaktes worden berekend. De student heeft hierbij de Autocad bestanden van de configuratie gebruikt. Met behulp van een polyline om het volledige windoppervlak heen is vervolgens het oppervlak afgelezen. Het berekende oppervlak is in onderstaand figuur te zien en bedraagt 56,01m^2.



In het windoppervlak van het ponton is deels ook die van de palen meegenomen. De afstand van onderkant ponton tot bovenkant windoppervlak is $H_{oneffectief}$ = 2,8m. Voor het windoppervlak geldt ook dat alle 4 de palen hiervoor in aanmerking komen en niet alleen de twee die op bovenstaand figuur te vinden zijn. Het windoppervlak van de palen is als volgt berekend:

$$A_{wind,spud} = (H_{Airgap} + H_{effectief}) * D_{spud} * n$$

Gegevens
H_{airgap} = 2,45m
$H_{effectief}$ = 3,25m
D_{spud} = 0,762m
n = 4

invullen geeft:

$$A_{wind,spud} = (2{,}45 + 3{,}25) * 0{,}762 * 4 = 17.37m^2$$

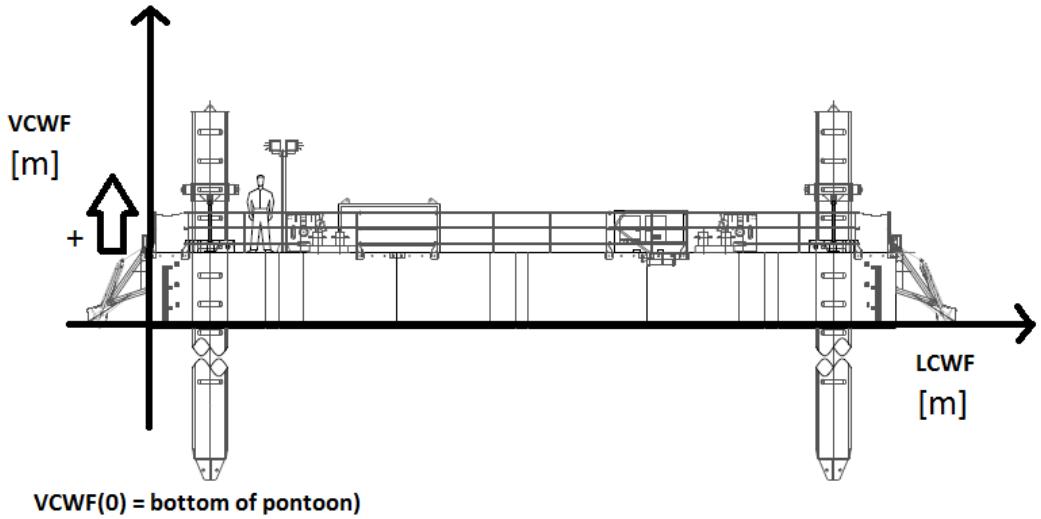
Resultaat

De windkracht wordt dus:

$$Windkracht = F_{wind} = \frac{1}{2} * 1 * 1{,}222 * ((56{,}01 * 1{,}4) + (17{,}37 * 0{,}5)) * 50^2 * 10^{-3} = 133{,}05\ kN$$

Aangrijpingspunt

Het aangrijpingspunt kan via dezelfde methode worden berekend als die van het zwaartepunt. Echter is dit punt nu 2-dimensionaal en daarvoor geldt onderstaand figuur.



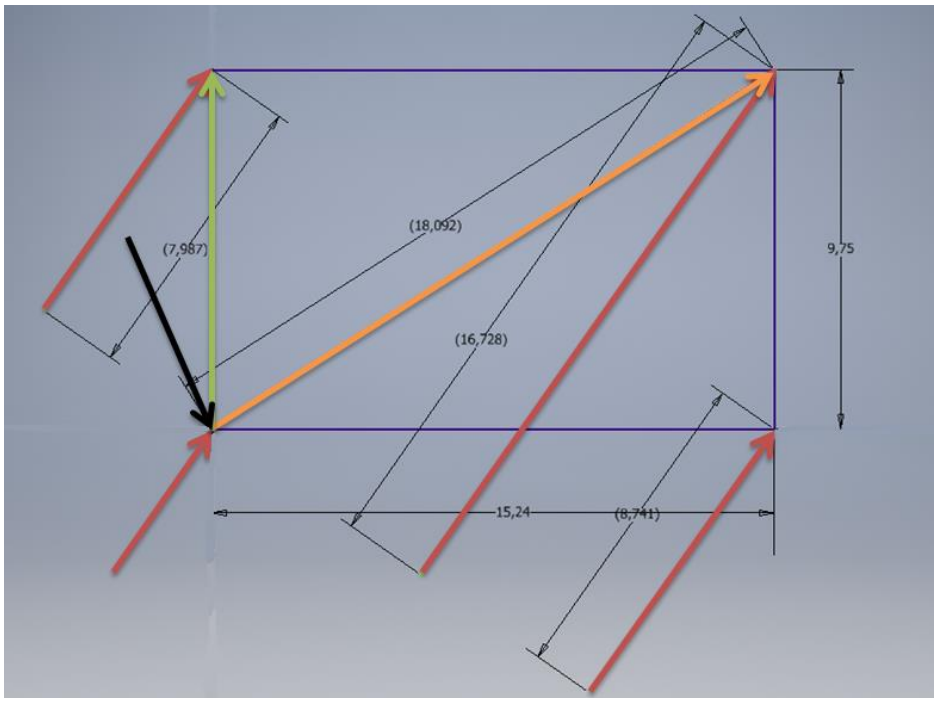
$$Total\ LCWF = \frac{\Sigma\left(A_{wind,ponton} * LCWF_{ponton} + A_{wind,spud} * LCWF_{spud}\right)}{2} = 9{,}10\ m$$

$$Total\ VCWF = \frac{\Sigma\left(A_{wind,ponton} * VCWF_{ponton} + A_{wind,spud} * VCWF_{spud}\right)}{2} = 1{,}29\ m$$

Het aangrijpingspunt van de wind bevindt zich dus 45mm naar links vanaf het midden en ligt op 1,29m boven de onderkant van het ponton. Gekeken naar de situatie is dit een realistische uitkomst.

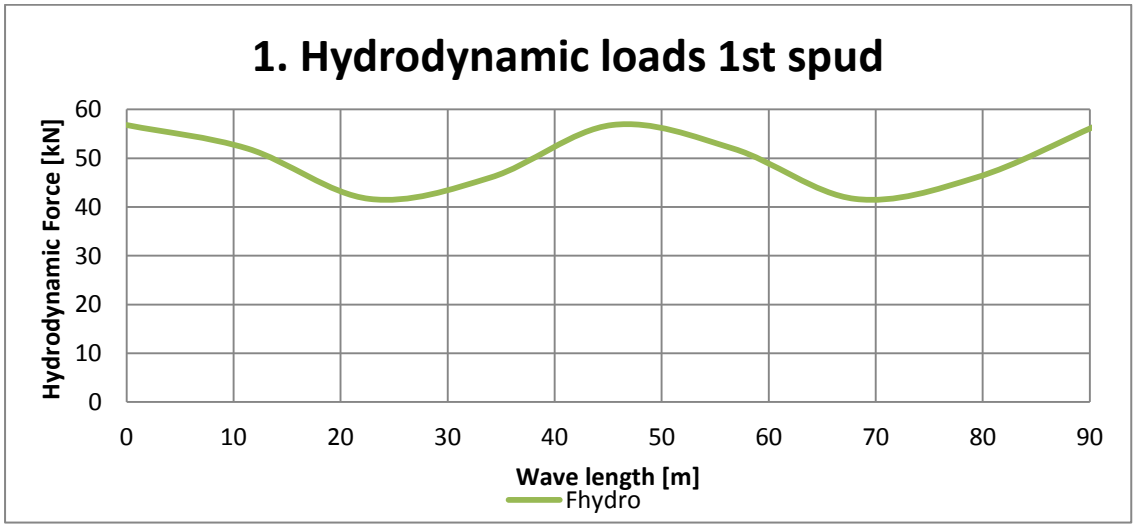
De hydrodynamische kracht

De hydrodynamische kracht is de kracht die voortkomt uit de stroming en de golfslag die op het ponton werkt. Deze kracht is in zijn geheel als een recht evenredig verdeelde belasting benaderd. De golf- en stromingsrichting is volgens onderstaand figuur benaderd. Elke hoek in de rechthoek stelt een spudpaal voor.

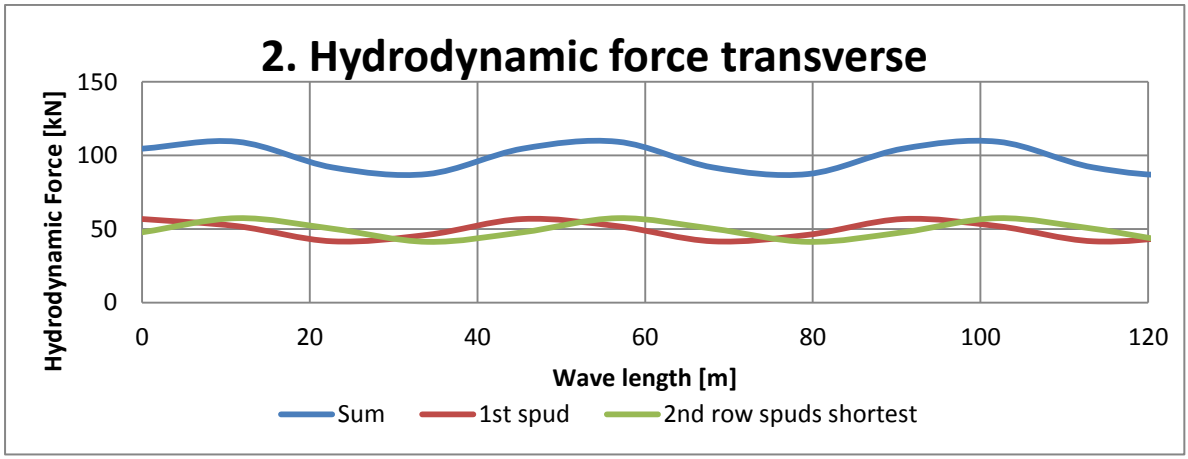


Situatie 1: De golf grijpt aan op één paal.
Situatie 2: De golf grijpt aan op 2 palen via de kortste weg.(transverse)
Situatie 3: De golf grijpt aan op 2 palen via de langste weg.(longitudinal)
Situatie 4: De golf grijpt aan op 4 palen met een hoek van 35 graden.

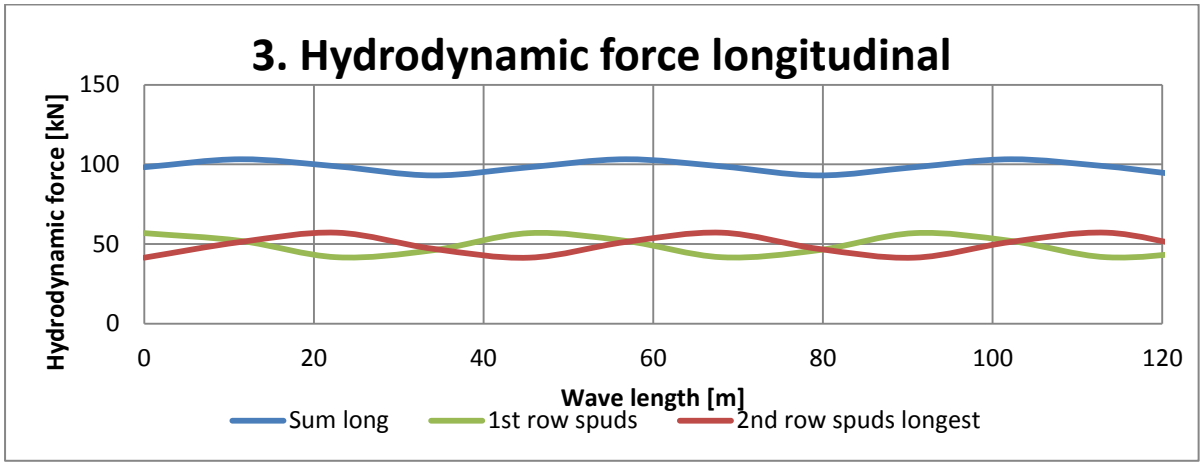
Het kan namelijk voorkomen dat een golf dezelfde periode heeft als de afstand tussen de palen wat zal resulteren in een versterking evenals het kan fungeren als een verzwakking. Vervolgens is de hydrodynamische kracht bepaald en de BS factor. De BS factor is een factor die nodig is in het berekenen van de dynamische versterkingskracht. Situatie 1 is te zien op onderstaand figuur.



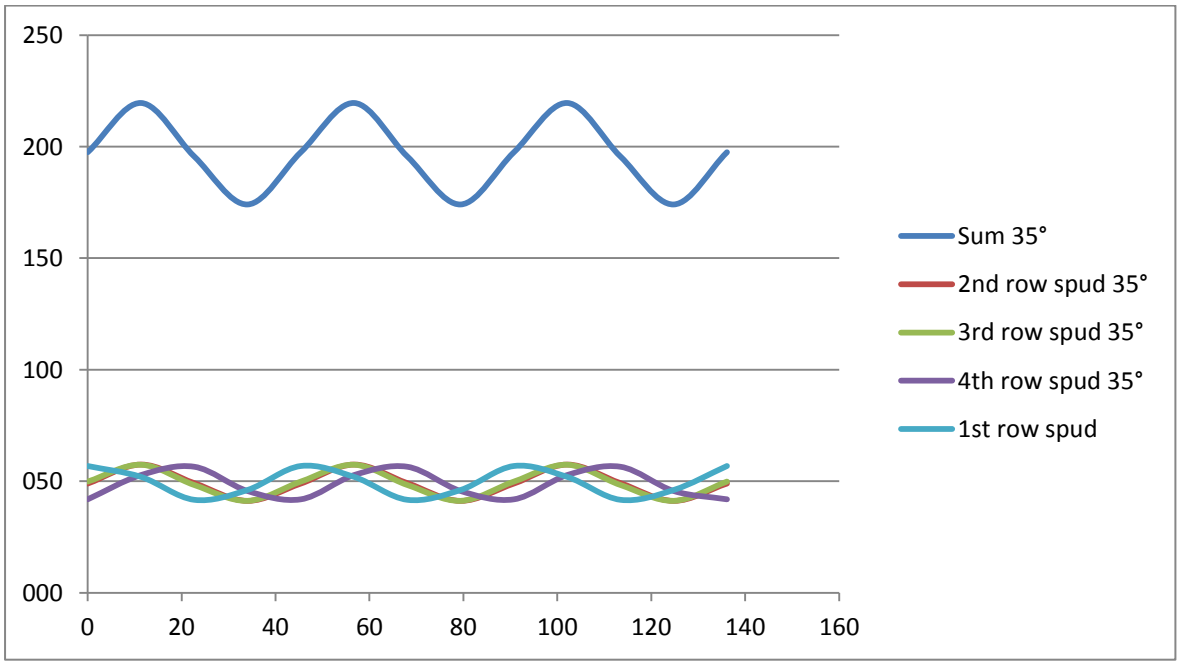
De uitkomst van situatie 2 is te zien op onderstaand figuur.



De uitkomst van situatie 3 is te zien op onderstaand figuur.



De uitkomst van situatie 4 is te zien op onderstaand figuur.



Resultaat

De maximale hydrodynamische kracht kan worden bepaald door de resultaten van de vier situaties.
De BS wordt bepaald door:

$$BS = \frac{BS_{max} * BS_{min}}{2}$$

Situation	*Fhydro,max*	*Fhydro,min*	*BS (per spud)*
1st row spud	56,81	41,66	
2nd row spuds shortest	54,67	43,68	2,75
2nd row spuds longest	51,60	46,52	1,27
35° 2nd spud	57,46	41,19	4,07
35° 3rd spud	57,39	41,2	4,05
35° 4th spud	56,48	41,9	3,65

Zoals in bovenstaande tabel is te zien gaat er dus met een hydrodynamische kracht van 57,46kN en een BS van 4,07 verder gerekend worden.

De dynamische versterkingskracht

De dynamische versterkingskracht is de kracht die voortkomt uit de natuurlijke periode van het ponton in combinatie met de golfperiode. De kracht wordt toegevoegd om deze situatie mee te nemen in de sterkte berekeningen en wordt berekend door vergelijking.

$$Dynamische\ versterkingskracht = F_{dyn} = (DAF - 1) * BS$$

Gegevens

F_{dyn} = ?
Dynamische versterkingsfactor = DAF = ?
BS = 4,07

Dynamische versterkingsfactor

De dynamische versterkingsfactor wordt bepaald door de verhouding tussen de natuurlijke periode en de golfperiode. Hiervoor geldt de vergelijking.

$$DAF = \frac{1}{\sqrt{((1-\Omega^2)^2 + (2\xi\Omega)^2)}}$$

Gegevens

$$Verhouding\ = \Omega = \frac{T_n}{T_{ass}}$$

Percentage kritische demping = 0,04

Natuurlijke periode rekening houdend met het effect van Euler

De natuurlijke periode van het ponton is de tijd die één schommeling van het ponton maakt. Deze periode kan gelijk zijn aan die van de golven. De natuurlijke periode wordt versterkt door het effect van Euler. Om de natuurlijke periode met dit effect te berekenen wordt de volgende formule gebruikt:

$$Tn = \frac{To}{\sqrt{1 - \frac{p_a}{P_{euler}}}}$$

Gegevens

$Kritische\ Euler\ belasting = Peuler = \frac{\Pi^2 EI}{(kl)^2} * 10^{-5}$ = 7096.1 kN

$Maximale\ drukbelasting = Pa = \frac{M*9{,}81}{n}$ = 576,99 kN

$Natuurlijke\ periode = \ To = 2\Pi\sqrt{\frac{M}{K}}$ = 2,33 s

Invullen geeft

$$Natuurlijke\ periode\ incl. Euler = \ Tn = \frac{2{,}33}{\sqrt{1 - \frac{576{,}99}{7096{,}1}}} = 2{,}43s$$

$$Verhouding = \Omega = \frac{\mathrm{T}_n}{T_{ass}} = \frac{2{,}43}{5{,}39} = 0{,}45$$

$$Dynamische\ versterkings\ factor = DAF = \frac{1}{\sqrt{((1 - 0{,}45^2)^2 + (2 * 0{,}04 * 0{,}45)^2)}} = 1{,}25$$

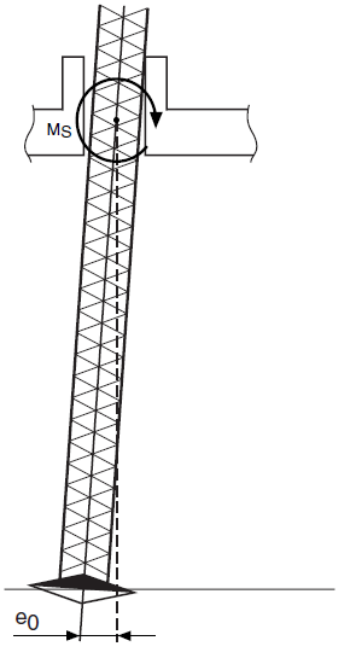
Resultaat

De dynamische kracht die voortkomt uit de natuurlijke periode van het modulair jack-up 6' ponton en de golfperiode is dus:

$$Dynamische\ versterkingskracht = F_{dyn} = (1{,}25 - 1) * 4{,}07 = 1{,}03\ kN$$

Het bepalen van het excentrisch moment op het ponton

Het excentrisch moment op het ponton komt voort uit de statische helling die de spudpaal kan hebben. Dit moment moet meegenomen worden in de verdere belasting van de spudpaal. Deze situatie is in onderstaand figuur geschetst.



Het excentrisch moment wordt bepaald middels de onderstaande vergelijking

$$Excentrisch\ moment = M_s = \frac{P_a e_0}{1 - \frac{P_a}{P_{euler}}} = ?$$

Gegevens

E_0 = 0,24 m
P_a = 576,995 kN
P_{Euler} = 7096,01 kN

Resultaat

Het excentrisch moment wat op de spudpaal staat is dus:

$$Excentrisch\ moment = M_s = \frac{576{,}99 * 0{,}24}{1 - \frac{576{,}99}{7096{,}01}} = 150{,}7\ kNm$$

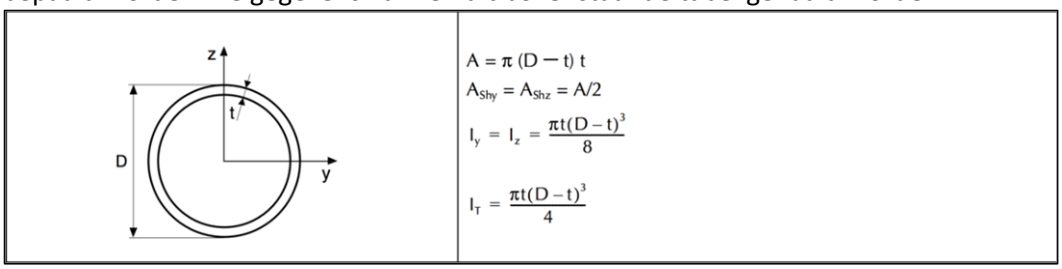
Eigenschappen spudpaal

De gegevens van de huidige spudpaal van Baars BV worden weergeven in onderstaand tabel.

Gegeven	*Aantal*	*Eenheid*
Aantal spudpalen	4	-
Diameter	762	mm
Wanddikte	25	Mm
Inwendige diameter	712	Mm
Lengte	24	M
Materiaal	S355	
Dichtheid	7850	Kg/m^3
Elasticiteitsmodulus	210	GPa
Vloeigrens	350	MPa
Minimale treksterkte	470	MPa
Maximale treksterkte	630	MPa

(Effectief) oppervlak en traagheidsmoment

Het oppervlak, effectief oppervlak en het traagheidsmoment moet volgens onderstaand figuur bepaald worden. De gegevens kunnen uit bovenstaande tabel gehaald worden.



Figuur 38 - SEP Rules Sec 2, table 1

$$Oppervlakte = A = \pi(762 - 25)25 = 5{,}79 * 10^4 mm^2$$

$$Effectieve\ oppervlakte = A_{eff} = \frac{5{,}79}{2} * 10^4 = 2{,}89 * 10^4 mm^2$$

$$Traagheidsmoment = I = \frac{25\pi(762 - 25)^3}{8} = 3{,}93 * 10^9 mm^4$$

Weerstand coëfficiënt

De weerstand coëfficiënten volgen uit de regelgeving van Bureau Veritas:

Beam shape	Surface condition	C_D	C_M
Cylindrical cross-section (outer diameter < 1,5 m)	smooth	0,65	2,0
	rough	1,0	1,8
Rectangular cross-section	rough	2,0	$1 + \frac{\pi}{4}\left(\frac{D}{B} + \frac{1}{2}\sqrt{\frac{D}{B}}\right)$
B : Sectional dimension parallel to flow D : Sectional dimension normal to flow.			

Shape	C_s
Spherical	0,40
Cylindrical	0,50
Large flat surface (hull, declasse, smooth underdeck areas)	1,00
Drilling derrick	1,25
Wires	1,20
Exposed beams and girders under deck	1,30
Small parts	1,40
Isolated shapes (crane, beam, etc.)	1,50
Clustered deckhouses or similar structures	1,10

Voor de stroming geldt: C_d = 1 omdat het oppervlak cilindrisch en ruig is.
Voor de golven geldt: C_m = 1,8 omdat het oppervlak cilindrisch en ruig is.
Voor de wind geldt: C_s = 0,5 omdat het oppervlak cilindrisch is.

Maximaal toelaatbare spanningen

Bureau Veritas stelt eisen aan de maximaal toelaatbare spanningen van de spudpaal. Uiteindelijk zal de spudpaal hier dus op worden getoetst. Om te weten wat deze toelaatbare spanningen zijn wordt er gebruik gemaakt van een aantal eisen afkomstig van Bureau Veritas.

1. $Algemene\ toelaatbare\ spanningsfactor, \alpha = 0{,}8$
2. $Toelaatbare\ ontwerpspanning, \sigma_a = 312{,}4\ MPa$
3. $Toelaatbare\ drukspanning, \sigma_e = 352{,}1 MPa$
4. $Toelaatbare\ buigspanning, 443{,}75\ MPa$
5. Tevens moeten de spanningen aan de vergelijking in onderstaand figuur voldoen.

2.3.5 Checking criteria

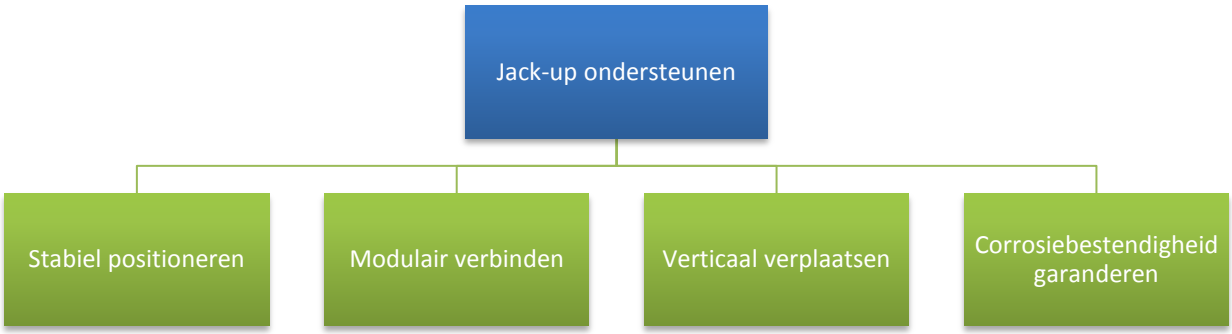
It is to be checked that the scantling of the leg is in compliance with the following criteria:

$$\frac{|\sigma_{ax}|}{\alpha\sigma_{ca}} + \frac{8}{9}\left(\frac{|\sigma_{by}|}{\alpha\sigma_{cby}} + \frac{|\sigma_{bz}|}{\alpha\sigma_{cbz}}\right) \leq 1 \qquad \text{for} \qquad \frac{|\sigma_{ax}|}{\alpha\sigma_{ca}} \geq 0{,}2$$

$$\frac{|\sigma_{ax}|}{2\alpha\sigma_{ca}} + \left(\frac{|\sigma_{by}|}{\alpha\sigma_{cby}} + \frac{|\sigma_{bz}|}{\alpha\sigma_{cbz}}\right) \leq 1 \qquad \text{for} \qquad \frac{|\sigma_{ax}|}{\alpha\sigma_{ca}} < 0{,}2$$

Bijlage 5 – Functie analyse spudpaal

De spudpaal heeft als hoofdfunctie het ondersteunen van het ponton. De deelfuncties zijn in onderstaand figuur te vinden.



Bijlage 6 - Programma van eisen en wensen

Het desbetreffende programma van eisen bestaat uit vaste en variabele eisen. Vaste eisen zijn ontwerpcriteria die een exacte waarde of criterium aangeven waaraan het ontwerp moet voldoen. Variabele eisen zijn daarentegen ontwerpcriteria die een bereik aangeven waaraan het ontwerp moet voldoen.

Tabel 9 Vaste eisen

Nummer	*Datum*	*Bron*	*Eis*	*Verificatie*
1.0	10-9-18	Baars BV	Het jack-up 6' ponton moet voldoen aan de gestelde eisen van Bureau Veritas betreffende dit onderwerp	Onderbouwing
1.1	10-9-18	Baars BV	De configuratie van het huidige jack-up 6' model mag niet worden aangepast.	Berekening
1.2	25-9-18	Baars BV	De jack-up moet een extra belasting kunnen dragen van 50ton.	Berekening
1.3	25-9-18	Bureau Veritas	De aanvrager moet kunnen aantonen dat het jack-up ponton voldoet aan de beschreven gebruikersomgeving van Baars BV met daarin een significante golfhoogte Hs=2,5	Berekening
1.4	25-9-18	Baars BV	De toetsing moet benaderd worden conform NI 534 Guidance Note for the Classification of Self-Elevating Units, september 2010 van Bureau Veritas	Berekening + onderbouwing
1.5	25-9-18	Baars BV	De student moet geen rekening houden met een vlaggenstaat.	Onderbouwing
1.9	25-9-18	Baars BV	De jack-up moet in survivalmodus voldoen aan een getij van 2m.	Berekening
1.10	25-9-18	Baars BV	De jack-up moet in survivalmodus voldoen aan een stormvloed van 1,5m	Berekening
1.11	25-9-18	Baars BV	Er moet aangenomen worden dat $L_{spudpen}$ = 2m zonder het gebruik van een spudcan.	Berekening
1.12	25-9-18	Baars BV	De ontwerptemperatuur moet 0°C zijn.	Onderbouwing
1.13	25-9-18	Baars BV	De jack-up moet in survival modus voldoen aan een windbelasting van V_{wind} = 50 m/s	Berekening
1.15	25-9-18	Baars BV	De jack-up moet in survival modus voldoen aan een MWL = 10m	Berekening
1.16	25-9-18	Baars BV	De jack-up opereert niet in een sneeuw/ijs- en aardbevingsgevoelige omgeving	Onderbouwing
1.17	25-9-18	Baars BV	Er moet rekening worden gehouden met een planten aangroei op de spudpalen van 12,5mm	Berekening
1.16	5-11-18	Baars BV	De spudpaal moet modulair uitgevoerd worden.	Onderbouwing
1.17	5-11-18	Baars BV	De spudpaal moet een buitendiameter hebben van 762mm.	Onderbouwing +tekening
1.18	5-11-18	Baars BV	De complete spudpaal moet een maximale lengte hebben van 24m.	Tekening

Nummer	*Datum*	*Bron*	*Eis*	*Verificatie*
2.0	5-11-18	Baars BV	De lengte van een spudpaal deel moet tussen de 6 en 11,58m liggen.	Tekening
2.1	5-11-18	Baars BV	De verbinding tussen de modulaire spudpalen moet tussen de 0m – 0,5m hoog zijn.	Onderbouwing + tekening
2.2	5-11-18	Baars BV	De totale lengte van de spudpaal moet tussen de 20m en 25m zijn.	Tekening

Wensen

Aan de hand van de wensen van de opdrachtgever wordt er een reeds succescriteria opgesteld waaraan de concepten worden getoetst. Deze uitslag zal doorslaggevend zijn in de uiteindelijke keuze van het eindconcept welke in het project verder zal worden uitgewerkt.

Tabel 10 pakket van wensen

Nummer	*Wens*	*Bron*	*Context*	*Criterium*	*Toets methode*
3.1	Aanschafwaarde	Baars BV	De spudpaal kan voor een aantrekkelijke prijs gebruikt worden	De oplossing moet zo kostenefficiënt als mogelijk zijn ten opzichte van de huidige verbinding.	Kostenraming
3.2	Ergonomisch verantwoord	Baars BV	De werknemer ervaart het monteren als prettig	De oplossing moet gebruiksvriendelijk worden uitgevoerd	Mening werknemer
3.3	Montagetijd	Baars BV	De montage van de spudpaal heeft geen grote invloed op het assembleerproces van de jack-up	De oplossing moet zo snel als mogelijk in elkaar worden gezet	Mening werknemer
3.4	Onderhoudskosten	Baars BV	De extra kosten wat betreft het modulair maken van de spudpaal moeten geminimaliseerd worden	De oplossing moet zo goedkoop als mogelijk zijn in haar onderhoud	Kostenraming
3.5	Zoutwatermilieubestendig	Baars BV	De spudpaal moet in een zoutmilieu opereren	De oplossing moet zo goed als mogelijk bestendig zijn tegen een zoutwatermilieu.	Onderbouwing materiaalspecificaties

Bijlage 7 – Creatieve sessie

Om zo goed als mogelijk de mogelijkheden te verkennen om aan de klantwensen te voldoen heeft de student de belangrijkste succescriteria als uitgangspunt genomen om ideeën te bedenken voor de hoofdfunctie met daarbij inachtneming de gestelde eisen. Door middel van prikkelende vragen te stellen probeert de student tot innovatieve oplossingen te komen.

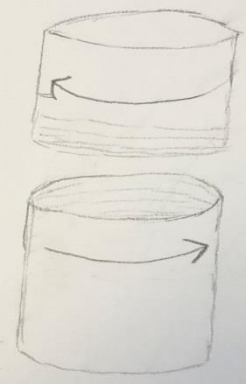
De prikkelende vragen zijn:

- Hoe kan de modulaire verbinding zo comfortabel en gebruiksvriendelijk mogelijk gemaakt worden?
- Hoe kan het product zo goedkoop als mogelijk gerealiseerd worden?
- Welke bestaande of nieuwe mogelijkheden zijn er wat betreft het heffen van de jack-up?
- Welke coating of materialen kunnen goed tegen een zoutmilieu?

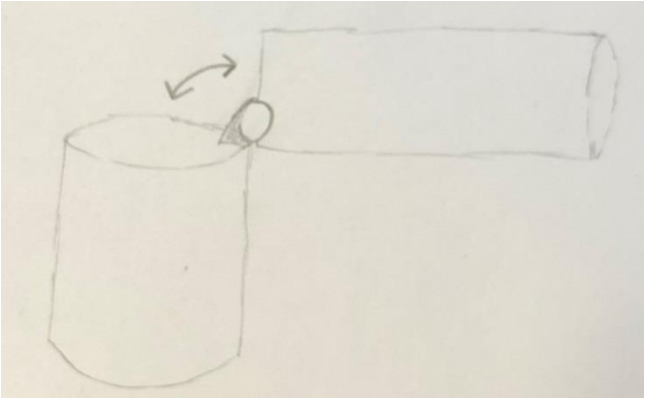
Middels deze vragen is een creatieve sessie gehouden waarin de student alles heeft opgeschreven wat in hem opkwam.

Hoe kan de modulaire verbinding zo comfortabel en gebruiksvriendelijk mogelijk gemaakt worden?

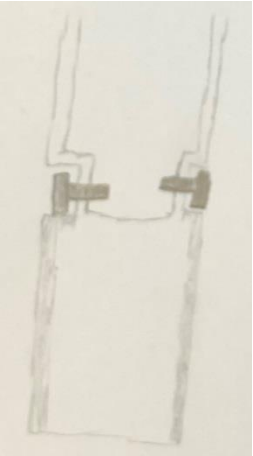
- Schroefdraad verbinding



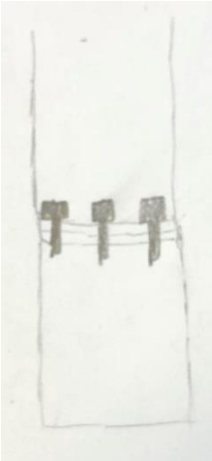
- Scharnierverbinding



- Verzonken bout en moer verbinding



- Inwendige flensverbinding

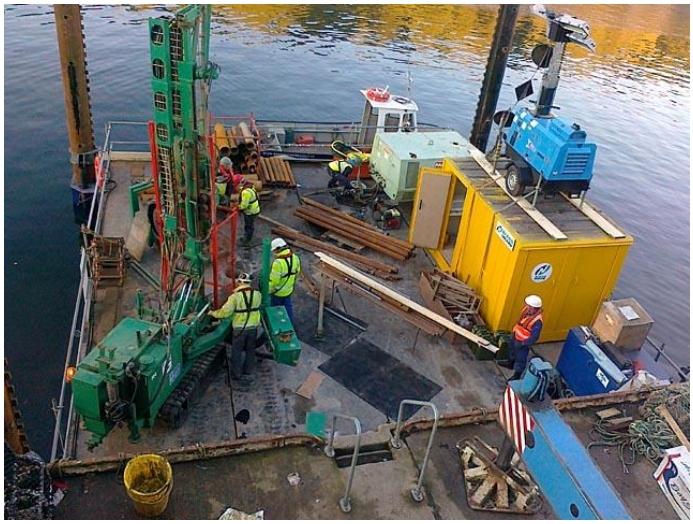


Hoe kan het product zo goedkoop als mogelijk gerealiseerd worden?

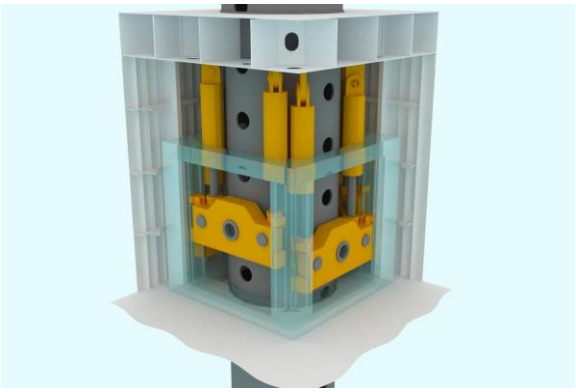
- Door zo min mogelijk materiaal te gebruiken
- Door een relatief goedkoop materiaal te gebruiken
    - Constructiestaal
    - Plastic
    - Hout
    - Aluminium
- Door relatief goedkope productietechnieken te gebruiken

Welke bestaande of nieuwe mogelijkheden zijn er wat betreft het heffen van de jack-up?

- Met behulp van tandwielen. Op onderstaand figuur is een tandwielheffingsmechanisme te zien van concurrent Maritime Solutions.

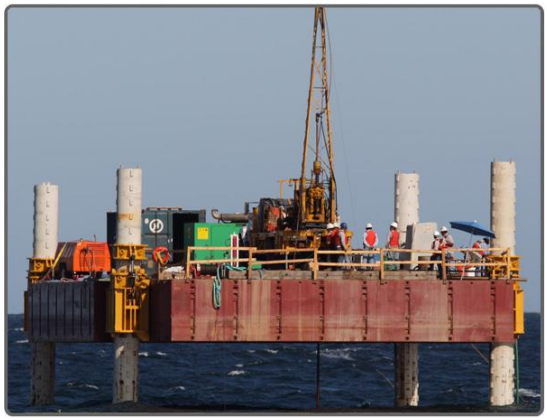


- Met behulp van 2 hydraulische cilinders die door de spudpaal steken. Op afbeelding is deze verbinding te zien.



- Met behulp van lieren. Op onderstaande afbeelding is deze verbinding te zien.

- Met behulp van hydraulische cilinders die zich vastklampen op blokken die aan de paal zitten zoals op onderstaande afbeelding te zien is.



Welke coating of materialen kunnen goed tegen een zoutmilieu?

- Roestvaststaal
- Sigma vicoat 12 (huidige coating van Baars Bv)
- Geanodiseerd constructiestaal
- De student heeft contact op genomen met de huidige coating leverancier van Baars Bv. Deze spreekt zijn voorkeur uit naar een laag SigmaCover 280 Yellowgreen met daarop een laag SigmaShield 420 Zwart.

Bijlage 8 – Concepten

Elk uitgewerkt concept bevat een schets, beschrijving, de voor-en nadelen, toegepaste berekeningen, materiaalkeuze, fabriceerbaarheid, serviceability, kosten, verwachting en de toetsing aan het PVE.

Concept 1

Dit concept bestaat uit een verbinding die redelijk eenvoudig is namelijk de bout en moer verbinding. De bout is verzonken omdat de buitendiameter niet mag afwijken van de bestaande paal. Ook heeft dit concept een spudcan waardoor er een aanzienlijke kracht op de paal wordt verminderd. Dit komt door de regelgeving van Bureau Veritas waarbij geldt dat wanneer er geen spudcan aanwezig is de helft van de aangenomen paalpenetratie bij de rekenlengte van de paal komt. Hierdoor nemen alle momenten en de hydrodynamische belasting af. Als vernieuwend materiaal is er gekozen voor aluminium. Dit is een nieuw materiaal in deze branche voor deze toepassing. Als hefmechanisme worden lieren gebruikt.

Schets

Op de figuur hiernaast is een schets te zien van dit concept. Er is expres voor een onjuiste verhouding gekozen om er voor te zorgen dat alle keuzes duidelijk in beeld zijn.

Voor-en nadelen

Een aantal voordelen zijn:

- Aluminium is makkelijk te bewerken.
- De regelgeving van Bureau Veritas is minder streng omdat er een spudcan wordt gebruikt.
- De verbinding is ergonomisch verantwoordt.

Een aantal nadelen zijn:

- Aluminium is een stuk zachter dan staal. Hierdoor kunnen de bouten in het materiaal gaan werken.
- De betrouwbaarheid moet goed nagerekend worden aangezien aluminium nog nooit eerder is gebruikt voor een spudpaal.
- De beschermende oxidelaag is zeer kwetsbaar.
- Aluminium kan slecht tegen fluctuerende temperaturen en spanningen.
- De spudcan kan niet worden gemonteerd wanneer de jack-up in het water ligt.
- Het lassen van aluminium is erg duur.

Berekeningen

Als invoer parameters in de Excel sheet zijn de volgende waardes veranderd:

Elasticiteitsmodulus = E = 70GPa
Treksterkte = R = 295 MPa
Min. Rekgrens = 240
Soortelijk gewicht = 2770 kg/m^3

Hieruit volgt onderstaand figuur en blijkt dus dat de aluminium spudpaal zal voldoen aan de eisen van Bureau Veritas. Echter heeft Bureau Veritas de optie om te vragen naar een vermoeiingsanalyse en de student verwacht dat de spudpaal hierop zal falen.

Definition	Symbol	Quantity	Unity
Maximum bending stress y	$\sigma_{max,bendingy}$	117,25	MPa
Maximum bending stress z	$\sigma_{max,bendingz}$	11,72	
Allowable bending stress y&z	σ_{cbyz}	368,75	MPa
Combined stress	σ_{comb}	131,81	MPa
Maximum design stress	$\sigma_{max,design}$	259,6	MPa
Factor	σ_f	3.567,0	Mpa
Allowable compressive stress	σ_{ca}	288,9	Mpa
Actual leg axial stress	σ_{ax}	10,0	MPa
max axial stress	σ_{xtot}	127,2	MPa
Tau	τ	19,9	MPa
Checking criteria factor	-	0,043	
Checking criteria	-	0,4803	
Overturning moment	M_o	4290,8	kN/m
Stabilizing moment	M_s	9110,4	kN/m
Is it safe?		YES!	
Stabilizing moment is this times higher:		2,1	

Materiaalkeuze

De student heeft zijn keuze gelegd op de AL6082 T651 legering waarvan de eigenschappen op afbeelding te zien zijn. Door zijn goede lasbaarheid en redelijke sterkte vond de student dit een goede optie. Aluminium staat erom bekend een goed beschermende oxide laag te hebben maar wanneer deze wordt gebroken kan het materiaal snel achteruitgaan.

Legering	Min. Rekgrens R_p 0,2 (N/mm2)	Min. Trek sterkte R_m (N/mm2)	Min. Rek A5%	Brinell hard-heid HBS	Soorte-lijk gewicht g/cm³	Warmte geleiding W/cmxK	Uitzett-ingscoeff-icient cm x K (20-100°C)	Lasbaarheid	Annealing cm/10⁶ x °C	Smeltpunt/ interval C°	Elastic-iteitsmo-dulus KN/mm²	Electrische geleidbaar-heid bij 20° ohm-mm²
5754 H111	80	190	12	52	2,66	1,3-1,7	23,7	Excellent	330-360	610-640	70	18-23
5083 H111	125	275	12	75	2,66	1,1-1,2	23,8	Excellent	330-400	580-640	71	17
6082 T651	240	295	8	89	2,70	1,5-1,9	23,4	Goed	350-400	585-650	70	24-32
2017A T4	245	390	12	110	2,80	1,3-1,7	22,8	Slecht	350-400	512-650	72	21-28
2024 T3	290	440	13	110	2,77	1,3-1,7	22,8	Slecht	350-400	505-640	73	18-26
2014 T651	400	460	6	133	2,80	1,6	23,0	Slecht	350-400	510-640	72	23-29
7020 T651	270	340	8	101	2,77	1,2-1,6	23,0	Goed	350-400	580-650	70	18-24
7022 T651	350	430	5	127	2,78	1,3-1,5	23,6	Slecht	--	515-640	71	17-19
7075 T651	440	525	4	155	2,80	1,3-1,6	23,3	Slecht	--	500-640	72	17-20
7050 Hokotol	532	757	7,8	180	2,83	1,54	23,5	Slecht	--	560-600	70,3	23

Fabriceerbaarheid
Aluminium kan in vergelijking tot staal en in het bijzonder roestvrijstaal heel goed bewerkt worden. Het is een relatief zacht materiaal en vonkt niet. Echter zorgt de spudcan er wel voor dat er meer laswerk moet worden verricht ten op zichtte van de huidige spudpaal. Ook wordt er een hoge nauwkeurigheid verwacht zodat de twee delen goed in elkaar kunnen schuiven.

Serviceability
Doordat de bouten vanaf de buitenkant moeten worden ingebracht is de serviceability en ergonomie tijdens het onderhouden goed. Echter heeft de student nog geen idee wat voor problemen er kunnen optreden met het lierenhefsysteem. Het zal ook ontzettend veel moeite kosten om ervoor te zorgen dat de spudpaal met daaraan de spudcan via de onderkant door het ponton wordt gestoken. Het ponton wordt namelijk altijd op het water geassembleerd.

Kosten
Voor dit concept is een schatting gemaakt van de kosten in overleg met werkvoorbereider Adam Usarek. Deze schatting is in onderstaande tabel te vinden.

	Huidige situatie	*Oplossing 1*
Aanschafkosten	36000	65000
Aantal keer assembleren per jaar	1,5	1,5
Benodige Uren per keer assembleren	12	20
Totale werknemerskosten	420	700
Aantal keer onderhouden per jaar	1	1
onderhoudskosten per keer	7000	9000
Levensduur [j]	4	4
Totaal per 5 jaar	**€46.400**	**€135.583**

Verwachting
De student verwacht dat er betere oplossingen zijn aangezien de betrouwbaarheid en assemblage waarschijnlijk heel erg zullen tegenvallen. Ook wordt er op dit moment niet gewerkt met aluminium waardoor enige flexibiliteit van het bedrijf en haar werknemers wordt gevraagd.

Toetsing

Het concept is getoetst middels het programma van eisen. Deze bestaat uit vaste en variabele eisen en is in onderstaande tabel te vinden.

Nummer	*Datum*	*Bron*	*Eis*	*Verificatie*	*Voldoet*
1.0	10-9-18	Baars BV	Het jack-up 6' ponton moet voldoen aan de gestelde eisen van Bureau Veritas betreffende dit onderwerp	Onderbouwing	Hier kan de student nog geen uitspraak over doen zonder voldoende detaillering.
1.1	10-9-18	Baars BV	De configuratie van het huidige jack-up 6' model mag niet worden aangepast.	Berekening	Ja, de configuratie is intact gebleven tijdens de berekening
1.2	25-9-18	Baars BV	De jack-up moet een extra belasting kunnen dragen van 50ton.	Berekening	Ja
1.3	25-9-18	Bureau Veritas	De aanvrager moet kunnen aantonen dat het jack-up ponton voldoet aan de beschreven gebruikersomgeving van Baars BV met daarin een significante golfhoogte Hs=2,5	Berekening	Ja
1.4	25-9-18	Baars BV	De toetsing moet benaderd worden conform NI 534 Guidance Note for the Classification of Self-Elevating Units, september 2010 van Bureau Veritas	Berekening + onderbouwing	Ja
1.5	25-9-18	Baars BV	De student moet geen rekening houden met een vlaggenstaat.	Onderbouwing	Ja
1.9	25-9-18	Baars BV	De jack-up moet in survivalmodus voldoen aan een getij van 2m.	Berekening	Ja
1.10	25-9-18	Baars BV	De jack-up moet in survivalmodus voldoen aan een stormvloed van 1,5m	Berekening	Ja
1.11	25-9-18	Baars BV	Er moet aangenomen worden dat $L_{spudpen}$ = 2m zonder het gebruik van een spudcan.	Berekening	Ja
1.12	25-9-18	Baars BV	De ontwerptemperatuur moet 0°C zijn.	Berekening	Ja
1.13	25-9-18	Baars BV	De jack-up moet in survival modus voldoen aan een windbelasting van V_{wind} = 50 m/s	Berekening	Ja
1.15	25-9-18	Baars BV	De jack-up moet in survival modus voldoen aan een MWL = 10m	Berekening	Ja
1.16	25-9-18	Baars BV	De jack-up opereert niet in een sneeuw/ijs- en aardbevingsgevoelige omgeving	Onderbouwing	Ja
1.17	25-9-18	Baars BV	Er moet rekening worden gehouden met een planten aangroei op de spudpalen van 12,5mm	Berekening	Ja
1.16	5-11-18	Baars BV	De spudpaal moet modulair uitgevoerd worden.	Onderbouwing	Ja
1.17	5-11-18	Baars BV	De spudpaal moet een buitendiameter hebben van 762mm.	Onderbouwing + tekening	Haalbaar, hier kan de student nog geen uitspraak over doen zonder voldoende detaillering.
1.18	5-11-18	Baars BV	De complete spudpaal moet een maximale lengte hebben van 24m.	Tekening	Haalbaar, hier kan de student nog geen uitspraak over doen zonder voldoende detaillering.
2.0	5-11-18	Baars BV	De lengte van een spudpaal deel moet tussen de 6 en 11,58m liggen.	Tekening	Haalbaar, hier kan de student nog geen uitspraak over doen zonder voldoende detaillering.
2.1	5-11-18	Baars BV	De verbinding tussen de modulaire spudpalen moet tussen de 0m – 0,5m hoog zijn.	Onderbouwing + tekening	Haalbaar, hier kan de student nog geen uitspraak over doen zonder voldoende detaillering.
2.2	5-11-18	Baars BV	De totale lengte van de spudpaal moet tussen de 20m en 25m zijn.	Tekening	Haalbaar, hier kan de student nog geen uitspraak over doen zonder voldoende detaillering.

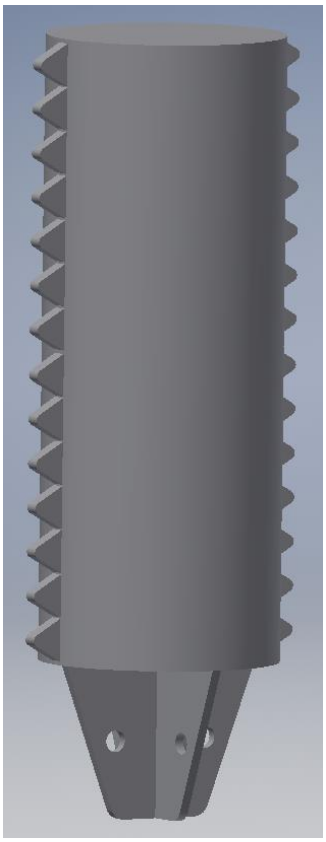
Succescriteria

Om te bepalen hoe goed het concept aan de wensen van Baars Bv voldoet wordt dit concept aan de succescriteria getoetst welke in onderstaande tabel is te zien. Dit gebeurt in overleg met de werkvoorbereider van Baars Bv de heer Adam Usarek.

Nummer	*Wens*	*Bron*	*Context*	*Criterium*	*Toets methode*	*Score [1-10]*	*Argumentatie*
3.1	Aanschafwaarde	Baars BV	De spudpaal kan voor een aantrekkelijke prijs gebruikt worden	De oplossing moet zo kostenefficiënt als mogelijk zijn ten opzichte van de huidige verbinding.	Kostenraming door medewerker	4	De aanschafwaarde valt toch zeer negatief uit door de bijkomende kosten met het werken van aluminium.
3.2	Ergonomisch verantwoord	Baars BV	De werknemer ervaart het monteren als prettig	De oplossing moet gebruiksvriendelijk worden uitgevoerd	Mening werknemer	3	Adam vond dat de modulaire verbinding goed kon worden bevestigd maar dat de spudpaal zelf heel lastig te monteren is.
3.3	Montagetijd	Baars BV	De montage van de spudpaal heeft geen grote invloed op het assembleerproces van de jack-up	De oplossing moet zo snel als mogelijk in elkaar worden gezet	Mening werknemer	1	De spudpaal met spudcan is zeer lastig te monteren.
3.4	Onderhoudskosten	Baars BV	De extra kosten wat betreft het modulair maken van de spudpaal moeten geminimaliseerd worden	De oplossing moet zo goedkoop als mogelijk zijn in haar onderhoud	Kostenraming	4	De onderhoudskosten vallen negatiever uit dan de huidige kosten.
3.5	Zoutwatermilieubestendig	Baars BV	De spudpaal moet in een zoutmilieu opereren	De oplossing moet zo goed als mogelijk bestendig zijn tegen een zoutwatermilieu.	Onderbouwing materiaalspecificaties + mening werknemer	2	Adam verwacht dat de oplossing hard achteruit zal gaan wanneer de jack-up opereert.

Concept 2

Het concept bestaat vooral uit keuzes die de ergonomie van de oplossing bevorderen. Dit concept heeft als verbinding schroefdraad. Deze draad moet zeer nauwkeurig worden gesneden. Het heeft geen spudcan waardoor de eisen van Bureau Veritas negatiever zullen uitvallen maar wat wel de montagetijd tegemoet komt. De spudpaal is gemaakt van een roestvrijstaal. Als hefmechanisme worden tandwielen gebruikt.



Schets

Op de figuur hiernaast is een schets te zien van dit concept. Er is expres voor een onjuiste verhouding gekozen om er voor te zorgen dat alle keuzes duidelijk in beeld zijn.

Voor-en nadelen

Een aantal voordelen zijn:

- Het heffingsmechanisme is zeer gebruiksvriendelijk

Een aantal nadelen zijn:

- Het schroefdraad moet zeer nauwkeurig gesneden worden zodat de tanden op de spudpaalcomponenten goed uitgelijnd zijn.
- Het hefmechanisme is ontzettend kostbaar om te maken.
- Men weet niet hoe het schroefdraad reageert in een zoutmilieu.

Berekeningen

Als invoer parameters zijn de volgende waardes veranderd:

Elasticiteitsmodulus = E = 1,93 GPa
Treksterkte = R = 240 MPa
Min. Rekgrens = 530 MPa
Soortelijk gewicht = 8000 kg/m^3

Hieruit volgt de figuur rechts en blijkt dus dat de roestvrijstalen spudpaal zal voldoen aan de eisen van Bureau Veritas.

Definition	Symbol	Quantity	Unity
Maximum bending stress y	$\sigma_{max,bendingy}$	108,49	MPa
Maximum bending stress z	$\sigma_{max,bendingz}$	10,85	
Allowable bending stress y&z	σ_{cbyz}	300,00	MPa
Combined stress	σ_{comb}	122,69	MPa
Maximum design stress	$\sigma_{max,design}$	211,2	MPa
Factor	σ_f	98.346,1	Mpa
Allowable compressive stress	σ_{ca}	239,9	Mpa
Actual leg axial stress	σ_{ax}	10,0	MPa
max axial stress	σ_{xtot}	118,5	MPa
Tau	τ	18,4	MPa
Checking criteria factor	-	0,052	
Checking criteria	-	0,5492	
Overturning moment	M_o	4094,9	kN/m
Stabilizing moment	M_s	9110,4	kN/m
Is it safe?		YES!	
Stabilizing moment is this times higher:		2,2	

Materiaalkeuze
De student heeft zijn keuze gelegd bij roestvrijstaal 316. Dit materiaal kan onbehandeld goed tegen een zoutmilieu mits aan de juiste condities wordt gedaan. Onder andere een hoge stromingssnelheid is van groot belang zodat de oxidelaag niet kapot kan gaan door bezinksel.

Fabriceerbaarheid
Dit is een groot heikel punt bij dit concept. De tanden op de paal moeten nauwkeurig gelast worden. Ook moet het schroefdraad perfect worden uitgesneden. Het lassen van roestvrijstaal in vergelijking met constructiestaal is vele malen duurder. Ook hebben de werknemers van Baars Bv hier nauwelijks of geen ervaring in. Dit zal uiteraard resulteren in een zeer hoge aanschafprijs en onderhoudskosten.

Serviceability
Zonder een gedetailleerd onderzoek naar het gedrag van de schroefdraadverbinding kan de student hier nog geen uitspraken overdoen.

Kosten
Voor dit concept is een schatting gemaakt van de kosten in overleg met werkvoorbereider Adam Usarek. Deze schatting is in onderstaande tabel te vinden.

	Huidige situatie	*Oplossing 2*
Aanschafkosten	36000	900000
Aantal keer assembleren per jaar	1,5	1,5
Benodige Uren per keer assembleren	12	40
Totale werknemerskosten	420	1400
Aantal keer onderhouden per jaar	1	1
onderhoudskosten per keer	7000	9000
Levensduur [j]	4	4
Totaal per 5 jaar	€46.400	€1.125.420

Verwachting
De student verwacht dat dit concept te duur zal zijn voor Baars Bv.

Toetsing

Het concept is getoetst middels het programma van eisen. Deze bestaat uit vaste en variabele eisen en is in onderstaande tabel te vinden.

Nummer	*Datum*	*Bron*	*Eis*	*Verificatie*	*Voldoet*
1.0	10-9-18	Baars BV	Het jack-up 6' ponton moet voldoen aan de gestelde eisen van Bureau Veritas betreffende dit onderwerp	Onderbouwing	hier kan de student nog geen uitspraak over doen zonder voldoende detaillering.
1.1	10-9-18	Baars BV	De configuratie van het huidige jack-up 6' model mag niet worden aangepast.	Berekening	Ja, de configuratie is intact gebleven tijdens de berekening
1.2	25-9-18	Baars BV	De jack-up moet een extra belasting kunnen dragen van 50ton.	Berekening	Ja
1.3	25-9-18	Bureau Veritas	De aanvrager moet kunnen aantonen dat het jack-up ponton voldoet aan de beschreven gebruikersomgeving van Baars BV met daarin een significante golfhoogte Hs=2,5	Berekening	Ja
1.4	25-9-18	Baars BV	De toetsing moet benaderd worden conform NI 534 Guidance Note for the Classification of Self-Elevating Units, september 2010 van Bureau Veritas	Berekening + onderbouwing	Ja
1.5	25-9-18	Baars BV	De student moet geen rekening houden met een vlaggenstaat.	Onderbouwing	Ja
1.9	25-9-18	Baars BV	De jack-up moet in survivalmodus voldoen aan een getij van 2m.	Berekening	Ja
1.10	25-9-18	Baars BV	De jack-up moet in survivalmodus voldoen aan een stormvloed van 1,5m	Berekening	Ja
1.11	25-9-18	Baars BV	Er moet aangenomen worden dat $L_{spudpen}$ = 2m zonder het gebruik van een spudcan.	Berekening	Ja
1.12	25-9-18	Baars BV	De ontwerptemperatuur moet 0°C zijn.	Berekening	Ja
1.13	25-9-18	Baars BV	De jack-up moet in survival modus voldoen aan een windbelasting van V_{wind} = 50 m/s	Berekening	Ja
1.15	25-9-18	Baars BV	De jack-up moet in survival modus voldoen aan een MWL = 10m	Berekening	Ja
1.16	25-9-18	Baars BV	De jack-up opereert niet in een sneeuw/ijs- en aardbevingsgevoelige omgeving	Onderbouwing	Ja
1.17	25-9-18	Baars BV	Er moet rekening worden gehouden met een planten aangroei op de spudpalen van 12,5mm	Berekening	Ja
1.16	5-11-18	Baars BV	De spudpaal moet modulair uitgevoerd worden.	Onderbouwing	Ja
1.17	5-11-18	Baars BV	De spudpaal moet een buitendiameter hebben van 762mm.	Onderbouwing +tekening	Haalbaar, hier kan de student nog geen uitspraak over doen zonder voldoende detaillering.
1.18	5-11-18	Baars BV	De complete spudpaal moet een maximale lengte hebben van 24m.	Tekening	Haalbaar, hier kan de student nog geen uitspraak over doen zonder voldoende detaillering.
2.0	5-11-18	Baars BV	De lengte van een spudpaal deel moet tussen de 6 en 11,58m liggen.	Tekening	Haalbaar, hier kan de student nog geen uitspraak over doen zonder voldoende detaillering.
2.1	5-11-18	Baars BV	De verbinding tussen de modulaire spudpalen moet tussen de 0m – 0,5m hoog zijn.	Onderbouwing + tekening	Haalbaar, hier kan de student nog geen uitspraak over doen zonder voldoende detaillering.
2.2	5-11-18	Baars BV	De totale lengte van de spudpaal moet tussen de 20m en 25m zijn.	Tekening	Haalbaar, hier kan de student nog geen uitspraak over doen zonder voldoende detaillering.

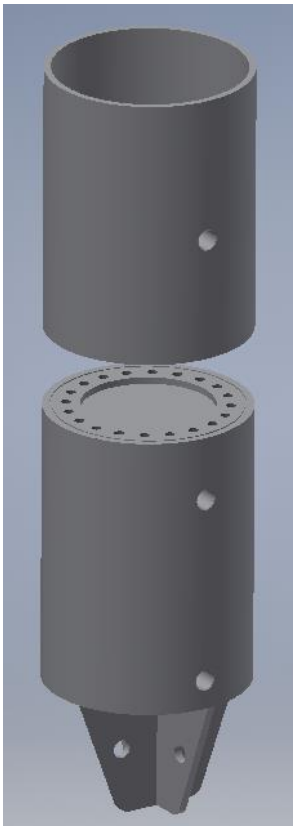
Succescriteria

Om te bepalen hoe goed het concept aan de wensen van Baars Bv voldoet wordt dit concept aan de succescriteria getoetst welke in onderstaande tabel is te zien. Dit gebeurt in overleg met de werkvoorbereider van Baars Bv de heer Adam Usarek.

Nummer	*Wens*	*Bron*	*Context*	*Criterium*	*Toets methode*	*Score [1-10]*	*Argumentatie*
3.1	Aanschafwaarde	Baars BV	De spudpaal kan voor een aantrekkelijke prijs gebruikt worden	De oplossing moet zo kostenefficiënt als mogelijk zijn ten opzichte van de huidige verbinding.	Kostenraming	1	Dit concept is erg duur vergeleken de huidige spudpaal.
3.2	Ergonomisch verantwoord	Baars BV	De werknemer ervaart het monteren als prettig	De oplossing moet gebruiksvriendelijk worden uitgevoerd	Mening werknemer	4	Adam verwacht ergonomische problemen met het monteren via de schroefverbinding
3.3	Montagetijd	Baars BV	De montage van de spudpaal heeft geen grote invloed op het assembleerproces van de jack-up	De oplossing moet zo snel als mogelijk in elkaar worden gezet	Mening werknemer	5	Adam verwacht geen problemen maar het personeel heeft nog geen ervaring in het werken met een tandwielsysteem.
3.4	Onderhoudskosten	Baars BV	De extra kosten wat betreft het modulair maken van de spudpaal moeten geminimaliseerd worden	De oplossing moet zo goedkoop als mogelijk zijn in haar onderhoud	Kostenraming	4	Het onderhoud valt waarschijnlijk duurder uit dan de huidige oplossing.
3.5	Zoutwatermilieubestendig	Baars BV	De spudpaal moet in een zoutmilieu opereren	De oplossing moet zo goed als mogelijk bestendig zijn tegen een zoutwatermilieu.	Onderbouwing materiaalspecificaties + mening werknemer	5	Adam verwacht dat de oplossing bestendiger is dan het 1^{e} concept. Echter ziet hij nog problemen met de jack-up wanneer het water rustiger is.

Concept 3

Dit concept is gebaseerd op een corrosiebestendige oplossing. Het betreft twee onderdelen waarbij het mannelijke deel in het onderste valt. Vervolgens kunnen door een inwendige flensverbinding de beide palen aan elkaar worden gekoppeld. Het ontwerp heeft geen spudcan zodat de spudpalen gemakkelijk door het ponton heen kunnen worden gehesen. Het hefmechanisme is hetzelfde als de huidige manier waarbij er gebruik wordt gemaakt van hydraulische cilinders die een vergrendelsysteem aanduwen waarin pennen kunnen worden bevestigd die door de paal steken. Echter vereist deze verbinding dus wel begeleiding van een werknemer. Doordat de verbinding waterdicht wordt gemaakt met behulp van een rubberen ring minimaliseert men de eventuele corrosie tussen de onderdelen en het schroefdraad. Het concept bestaat uit constructiestaal met een Sigma-Cover en Sigma-shield coating.



Schets

Op de figuur rechts is een schets te zien van dit concept. Er is expres voor een onjuiste verhouding gekozen om er voor te zorgen dat alle keuzes duidelijk in beeld zijn.

Voor-en nadelen

Een aantal voordelen zijn:

- Het heffingsmechanisme is betrouwbaar omdat Baars Bv deze al gebruikt.
- De oplossing is corrosiebestendig.
- De oplossing is robuust.

Een aantal nadelen zijn:

- De regelgeving van Bureau Veritas is strenger omdat er geen spudcan wordt gebruikt.
- Men kan nauwelijks de bouten vastdraaien.

Berekeningen

De berekeningen die hiervoor uitgevoerd kunnen worden zijn overbodig aangezien deze dezelfde uitkomsten zou hebben als de geanalyseerde (huidige) spudpaal. Dit komt omdat de huidige spudpaal ook van constructiestaal is gemaakt. De berekening of de bouten voldoen is op dit moment te complex en gedetailleerd.

Materiaalkeuze

Als materiaal is er gekozen voor S355. De huidige spudpaal heeft deze staalsoort ook. De paal wordt voorzien van 2 laagse coating welke zeer corrosiebestendig is.

Fabriceerbaarheid

De onderdelen van dit concept zijn allemaal relatief makkelijk te maken. Echter moeten deze uiteindelijk worden gelast in zeer benauwde posities. Dit is een groot heikelpunt van de concept.

Serviceability
De verbinding is zeer slecht te bereiken vanaf de binnenkant. Hierdoor zullen inspecties zeer veel tijd in beslag nemen. Dit zal resulteren in hogere onderhoudskosten. Echter is het personeel van Baars Bv bekend met de hefverbinding wat dus de onderhoudsvriendelijkheid intact houdt.

Kosten
Voor dit concept is een schatting gemaakt van de kosten in overleg met werkvoorbereider Adam Usarek. Deze schatting is in onderstaande tabel te vinden.

	Huidige situatie	*Oplossing 3*
Aanschafkosten	36000	44000
Aantal keer assembleren per jaar	1,5	1,5
Benodige Uren per keer assembleren	12	30
Totale werknemerskosten	420	1050
Aantal keer onderhouden per jaar	1	1
onderhoudskosten per keer	7000	8000
Levensduur [j]	4	4
Totaal per 5 jaar	€46.400	€55.315

Verwachting
De student verwacht dat deze oplossing positief zal opvallen mede door het gebruik van de bestaande hefverbinding.

Toetsing

Het concept is getoetst middels het programma van eisen. Deze bestaat uit vaste en variabele eisen en is in onderstaande tabel te vinden.

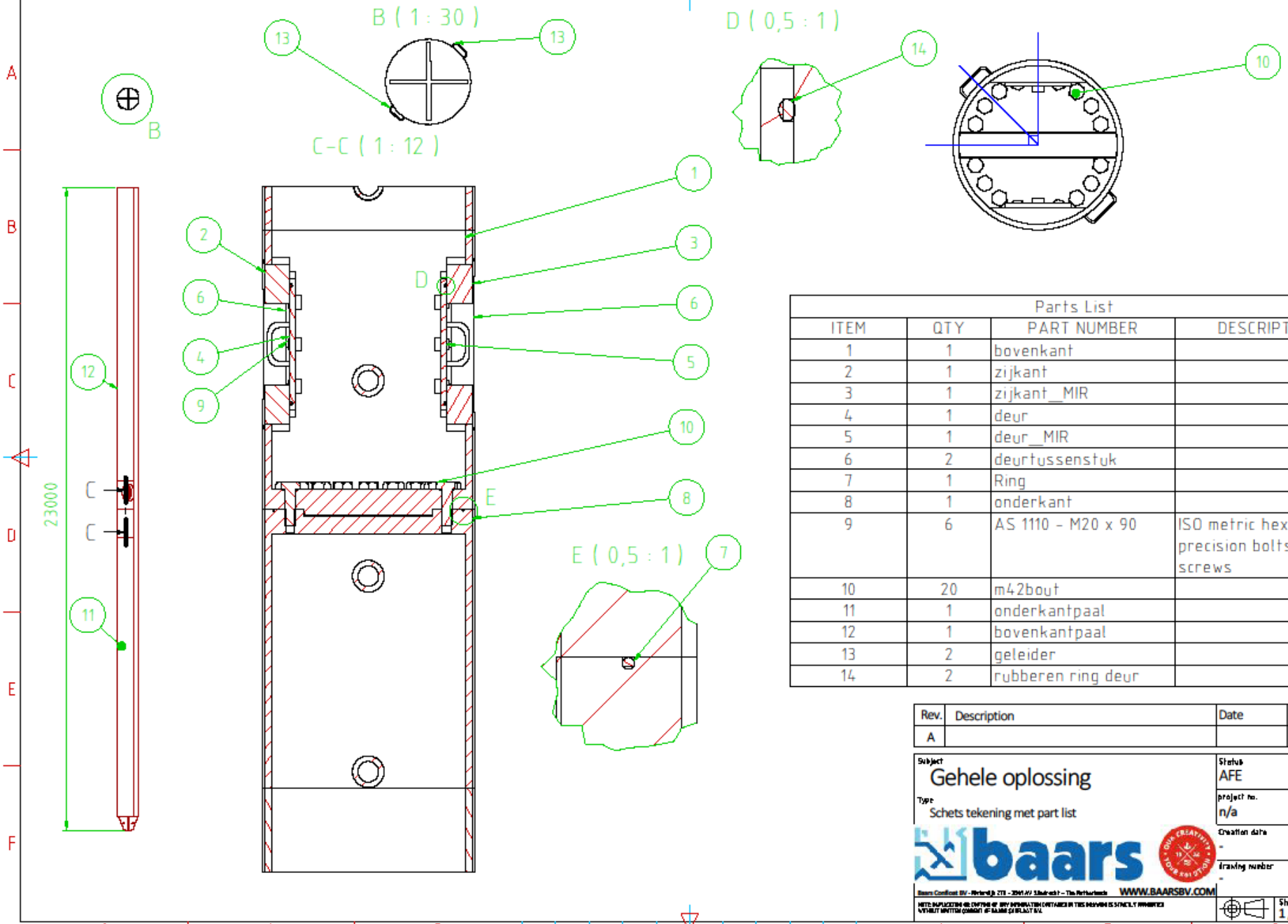
Nummer	*Datum*	*Bron*	*Eis*	*Verificatie*	*Voldoet*
1.0	10-9-18	Baars BV	Het jack-up 6' ponton moet voldoen aan de gestelde eisen van Bureau Veritas betreffende dit onderwerp	Onderbouwing	hier kan de student nog geen uitspraak over doen zonder voldoende detaillering.
1.1	10-9-18	Baars BV	De configuratie van het huidige jack-up 6' model mag niet worden aangepast.	Berekening	Ja, de configuratie is intact gebleven tijdens de berekening
1.2	25-9-18	Baars BV	De jack-up moet een extra belasting kunnen dragen van 50ton.	Berekening	Ja
1.3	25-9-18	Bureau Veritas	De aanvrager moet kunnen aantonen dat het jack-up ponton voldoet aan de beschreven gebruikersomgeving van Baars BV met daarin een significante golfhoogte Hs=2,5	Berekening	Ja
1.4	25-9-18	Baars BV	De toetsing moet benaderd worden conform NI 534 Guidance Note for the Classification of Self-Elevating Units, september 2010 van Bureau Veritas	Berekening + onderbouwing	Ja
1.5	25-9-18	Baars BV	De student moet geen rekening houden met een vlaggenstaat.	Onderbouwing	Ja
1.9	25-9-18	Baars BV	De jack-up moet in survivalmodus voldoen aan een getij van 2m.	Berekening	Ja
1.10	25-9-18	Baars BV	De jack-up moet in survivalmodus voldoen aan een stormvloed van 1,5m	Berekening	Ja
1.11	25-9-18	Baars BV	Er moet aangenomen worden dat $L_{spudpen}$ = 2m zonder het gebruik van een spudcan.	Berekening	Ja
1.12	25-9-18	Baars BV	De ontwerptemperatuur moet 0°C zijn.	Berekening	Ja
1.13	25-9-18	Baars BV	De jack-up moet in survival modus voldoen aan een windbelasting van V_{wind} = 50 m/s	Berekening	Ja
1.15	25-9-18	Baars BV	De jack-up moet in survival modus voldoen aan een MWL = 10m	Berekening	Ja
1.16	25-9-18	Baars BV	De jack-up opereert niet in een sneeuw/ijs- en aardbevingsgevoelige omgeving	Onderbouwing	Ja
1.17	25-9-18	Baars BV	Er moet rekening worden gehouden met een planten aangroei op de spudpalen van 12,5mm	Berekening	Ja
1.16	5-11-18	Baars BV	De spudpaal moet modulair uitgevoerd worden.	Onderbouwing	Ja
1.17	5-11-18	Baars BV	De spudpaal moet een buitendiameter hebben van 762mm.	Onderbouwing +tekening	Ja
1.18	5-11-18	Baars BV	De complete spudpaal moet een maximale lengte hebben van 24m.	Tekening	Haalbaar, hier kan de student nog geen uitspraak over doen zonder voldoende detaillering.
2.0	5-11-18	Baars BV	De lengte van een spudpaal deel moet tussen de 6 en 11,58m liggen.	Tekening	Haalbaar, hier kan de student nog geen uitspraak over doen zonder voldoende detaillering.
2.1	5-11-18	Baars BV	De verbinding tussen de modulaire spudpalen moet tussen de 0m – 0,5m hoog zijn.	Onderbouwing + tekening	Haalbaar, hier kan de student nog geen uitspraak over doen zonder voldoende detaillering.
2.2	5-11-18	Baars BV	De totale lengte van de spudpaal moet tussen de 20m en 25m zijn.	Tekening	Haalbaar, hier kan de student nog geen uitspraak over doen zonder voldoende detaillering.

Succescriteria

Om te bepalen hoe goed het concept aan de wensen van Baars Bv voldoet wordt dit concept aan de succescriteria getoetst welke in onderstaande is te zien. Dit gebeurt in overleg met de werkvoorbereider van Baars Bv de heer Adam Usarek.

Nummer	*Wens*	*Bron*	*Context*	*Criterium*	*Toets methode*	*Score [1-10]*	*Argumentatie*
3.1	Aanschafwaarde	Baars BV	De spudpaal kan voor een aantrekkelijke prijs gebruikt worden	De oplossing moet zo kostenefficiënt als mogelijk zijn ten opzichte van de huidige verbinding.	Kostenraming	8	Dit concept is goed betaalbaar.
3.2	Ergonomisch verantwoord	Baars BV	De werknemer ervaart het monteren als prettig	De oplossing moet gebruiksvriendelijk worden uitgevoerd	Mening werknemer	3	Adam verwacht ergonomische problemen met het monteren.
3.3	Montagetijd	Baars BV	De montage van de spudpaal heeft geen grote invloed op het assembleerproces van de jack-up	De oplossing moet zo snel als mogelijk in elkaar worden gezet	Mening werknemer	1	Adam verwacht geen problemen maar het personeel heeft nog geen ervaring in het werken met een tandwielsysteem.
3.4	Onderhoudskosten	Baars BV	De extra kosten wat betreft het modulair maken van de spudpaal moeten geminimaliseerd worden	De oplossing moet zo goedkoop als mogelijk zijn in haar onderhoud	Kostenraming	3	Het onderhoud valt waarschijnlijk duurder uit dan de huidige oplossing.
3.5	Zoutwatermilieubestendig	Baars BV	De spudpaal moet in een zoutmilieu opereren	De oplossing moet zo goed als mogelijk bestendig zijn tegen een zoutwatermilieu.	Onderbouwing materiaalspecificaties + mening werknemer	9	Adam verwacht dat de oplossing bestendiger is dan het 1e concept. Echter ziet hij nog problemen met de jack-up wanneer het water rustiger is.

Bijlage 9 – Schetstekeningen



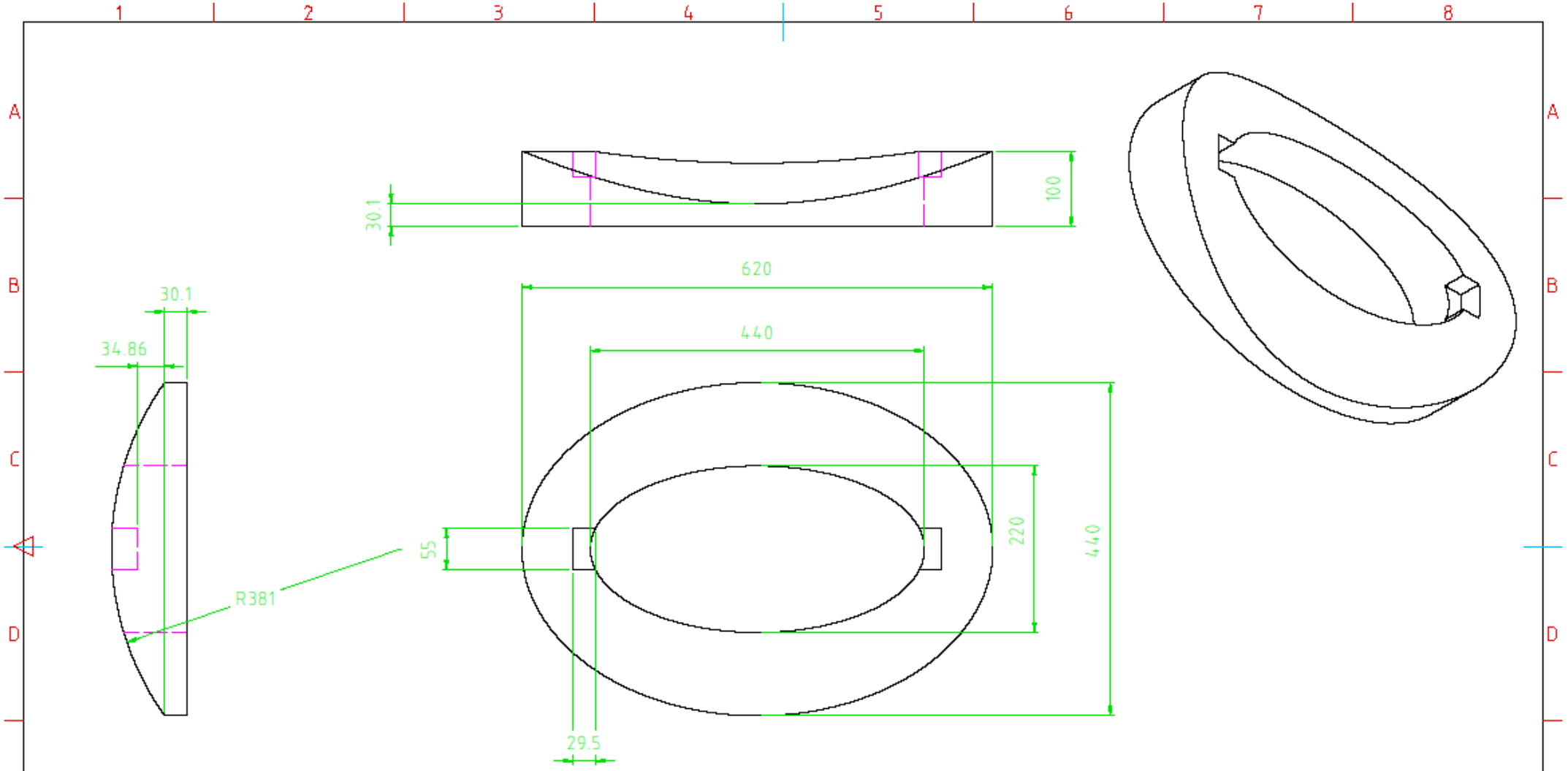
Parts List			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	bovenkant	
2	1	zijkant	
3	1	zijkant_MIR	
4	1	deur	
5	1	deur_MIR	
6	2	deurtussenstuk	
7	1	Ring	
8	1	onderkant	
9	6	AS 1110 - M20 x 90	ISO metric hexagon precision bolts and screws
10	20	m42bout	
11	1	onderkantpaal	
12	1	bovenkantpaal	
13	2	geleider	
14	2	rubberen ring deur	

Rev.	Description	Date	Chkd.	Appr.
A				

Subject: Gehele oplossing
Type: Schets tekening met part list

baars
WWW.BAARSBV.COM

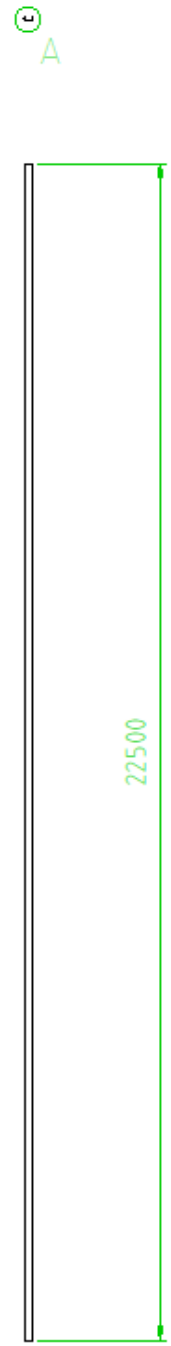
Status: AFE	Rev.: A
project no.: n/a	Drawn: MD
Creation date: -	Scale: MISC
drawing number: -	
Sheet no.: 1/1	Papersize: A0

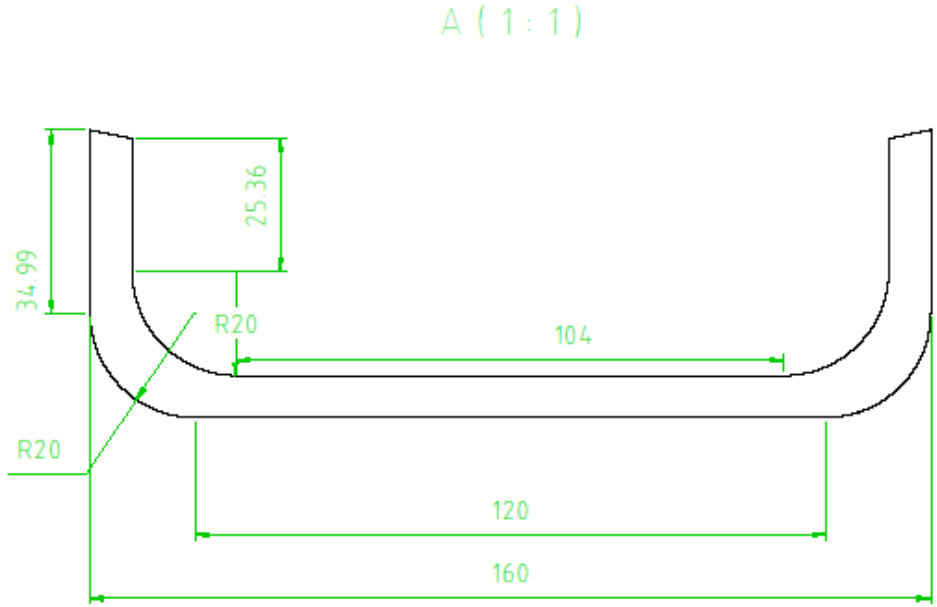


Rev.	Description	Date	Chkd.	Appr.
A				

Subject: Frame	Status: AFE	Rev.: A
Type: Schets tekening	project no.: n/a	Drawn: MD
baars	Creation date: -	Scale: MISC
	drawing number: -	

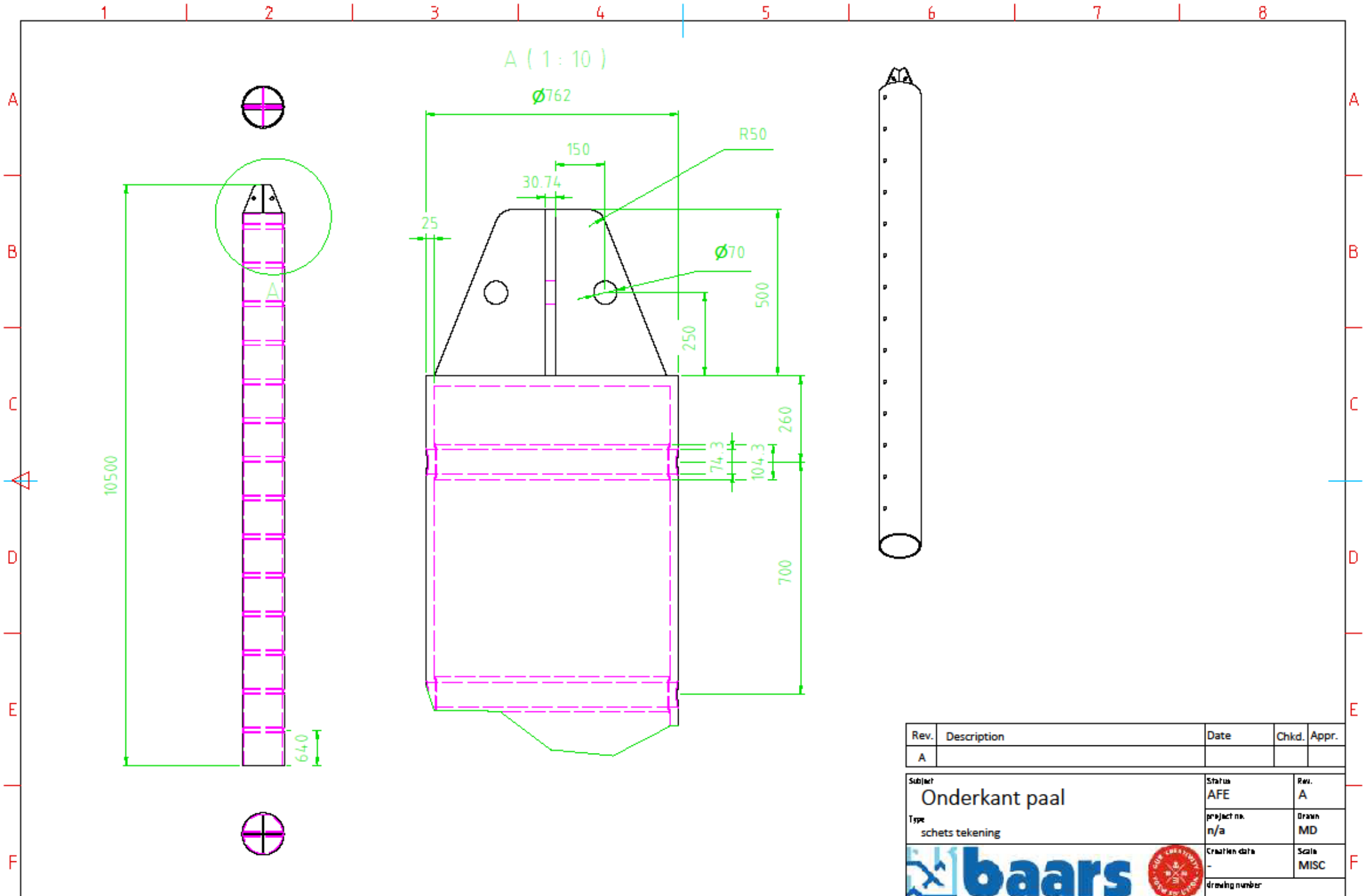
WWW.BAARSBV.COM





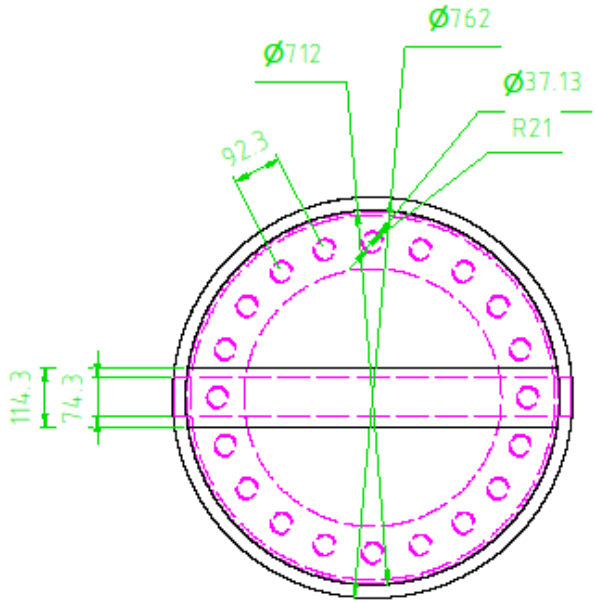
Rev.	Description	Date	Chkd.	Appr.
A				

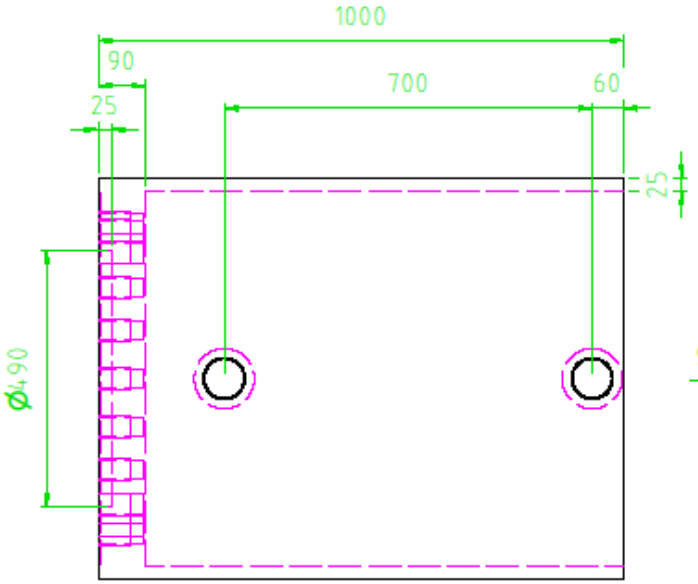
Subject: Geleider	Status: AFE	Rev.: A
Type: Schets tekening	project no.: n/a	Drawn: MD
baars	Creation date: -	Scale: MISC
	drawing number: -	

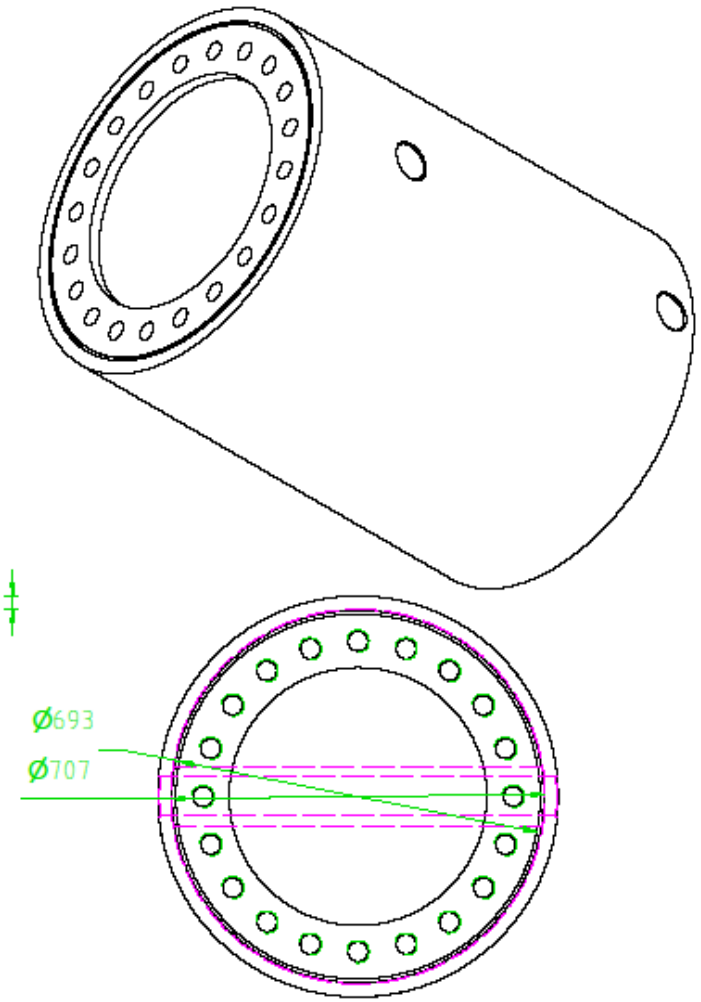


Rev.	Description	Date	Chkd.	Appr.
A				

Subject: Onderkant paal	Status: AFE	Rev.: A
Type: schets tekening	project no.: n/a	Drawn: MD
baars	Creation date: -	Scale: MISC
	drawing number:	

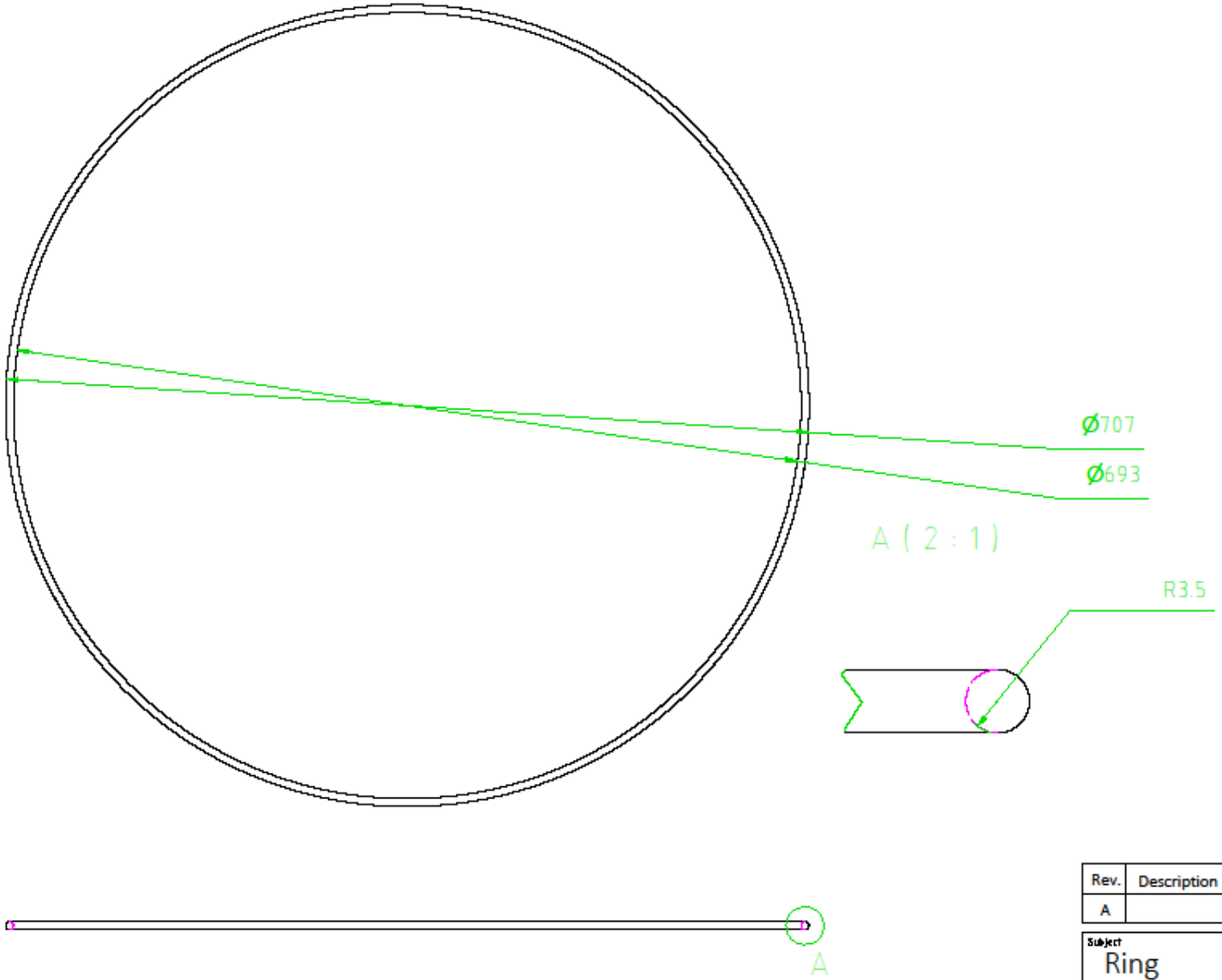






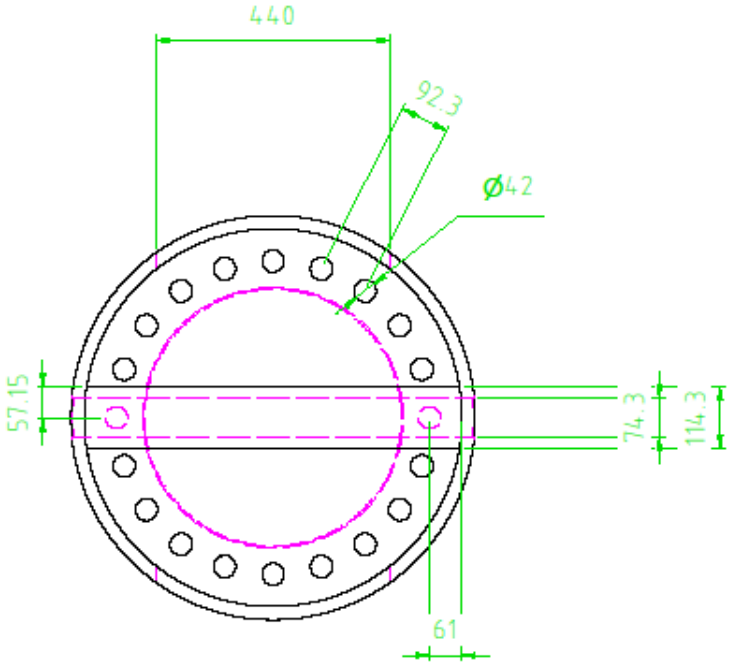
Rev.	Description	Date	Chkd.	Appr.
A				

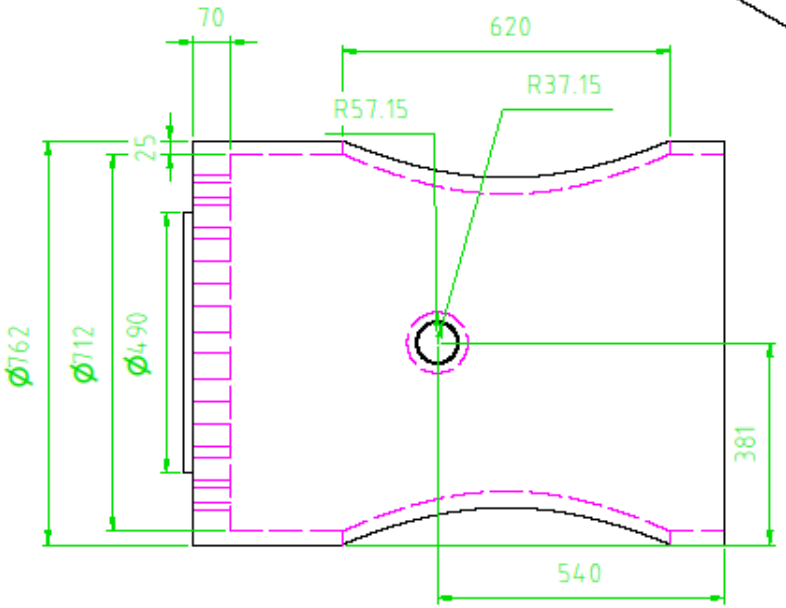
Subject: Onderkant verbinding	Status: AFE	Rev.: A
Type: Schets tekening	project no.: n/a	Drawn: MD
baars	Creation date: -	Scale: MISC
	drawing number:	

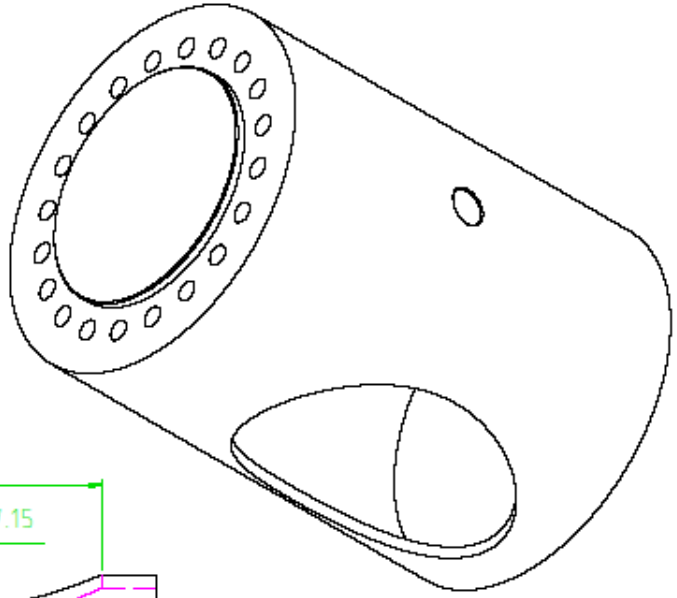


Rev.	Description	Date	Chkd.	Appr.
A				

Subject: Ring	Status: AFE	Rev.: A
Type: Schets tekening	project no.: n/a	Drawn: MD
baars	Creation date: -	Scale: MISC
	drawing number:	

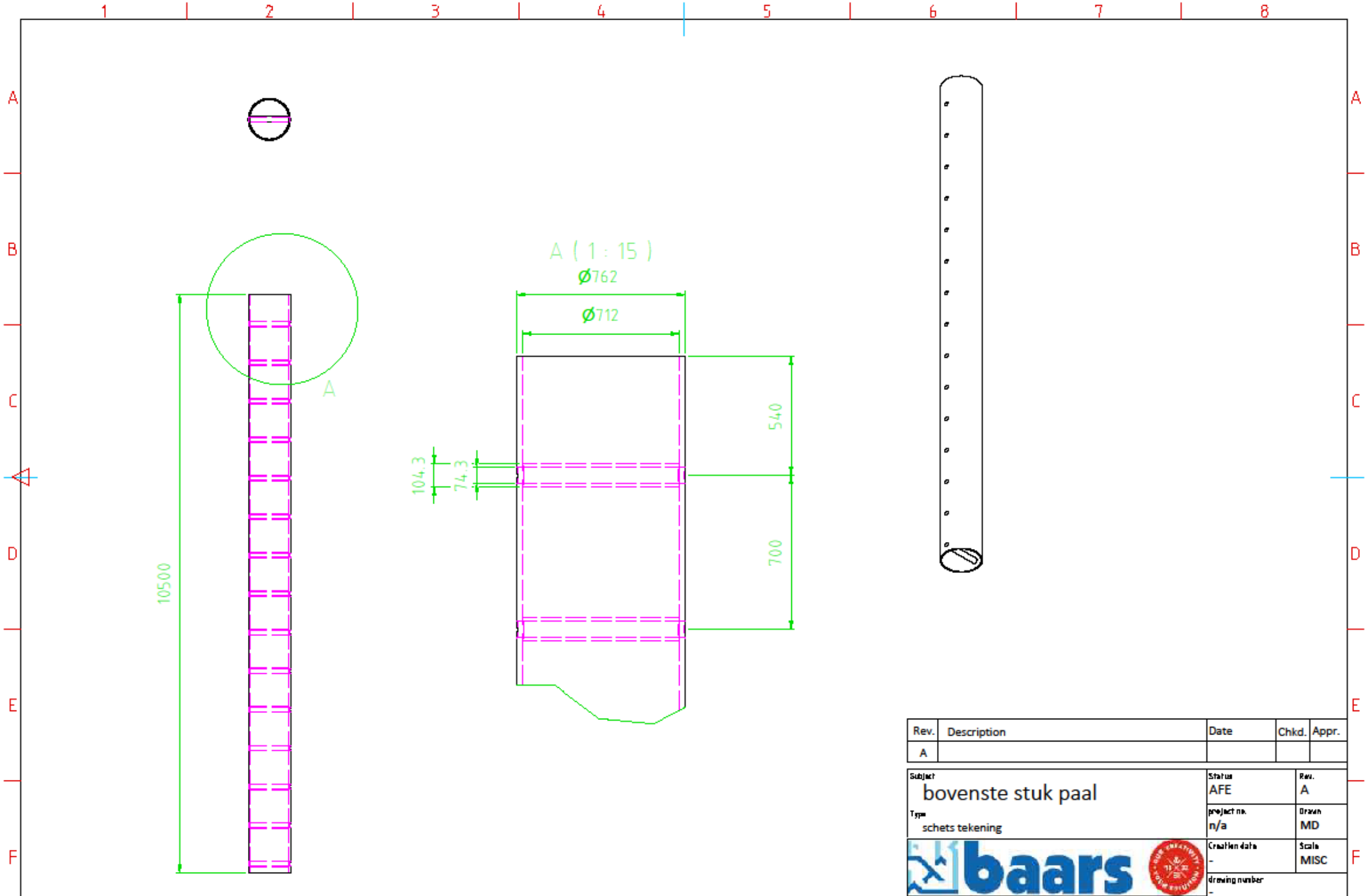






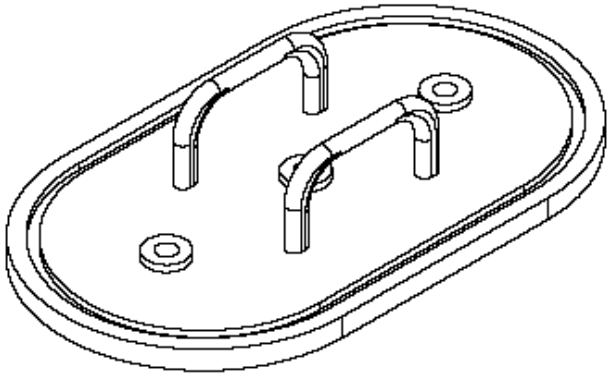
Rev.	Description	Date	Chkd.	Appr.
A				

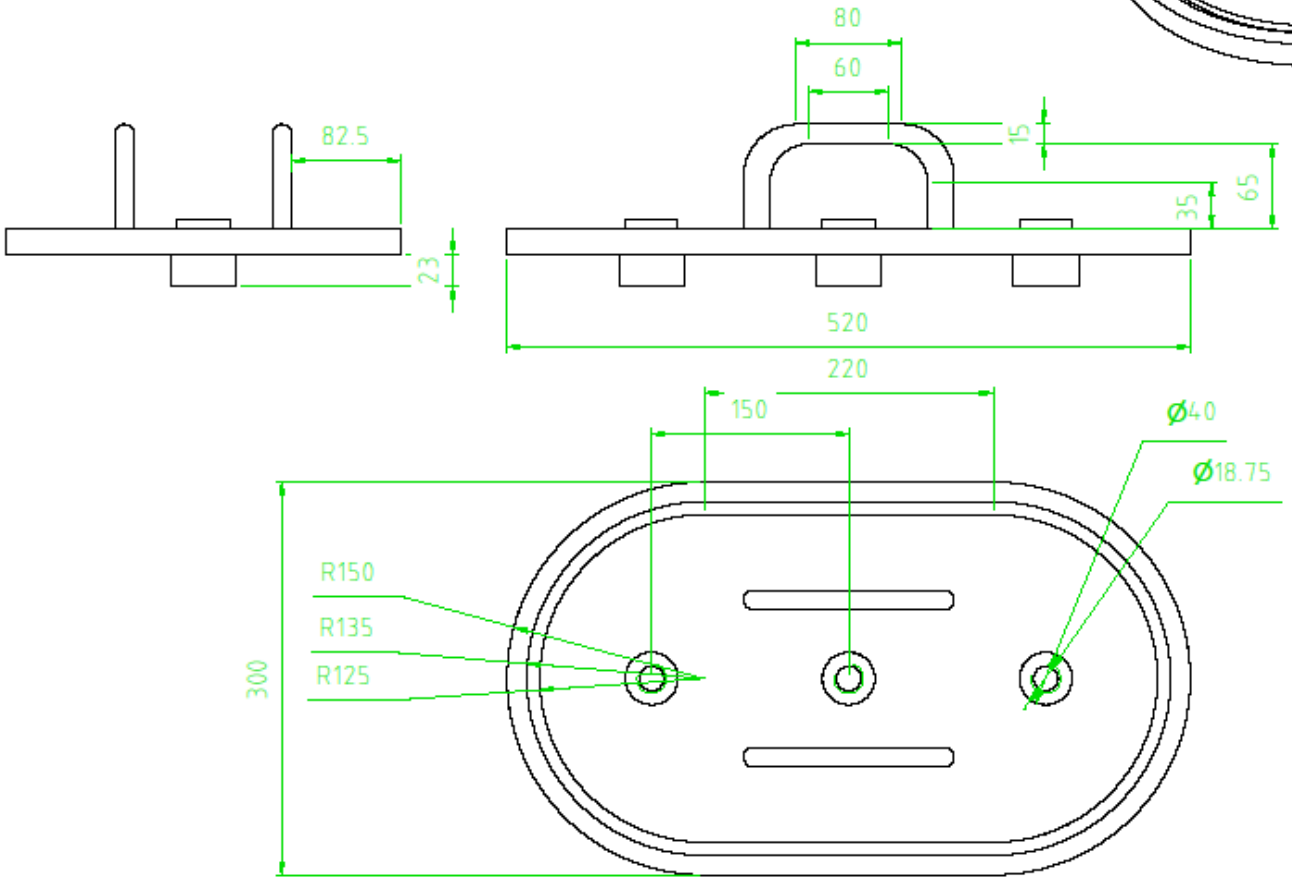
Subject: Man-gedeelte	Status: AFE	Rev.: A
Type: Schets tekening	project no.: n/a	Drawn: MD
baars	Creation date: -	Scale: MISC
	drawing number:	



Rev.	Description	Date	Chkd.	Appr.
A				

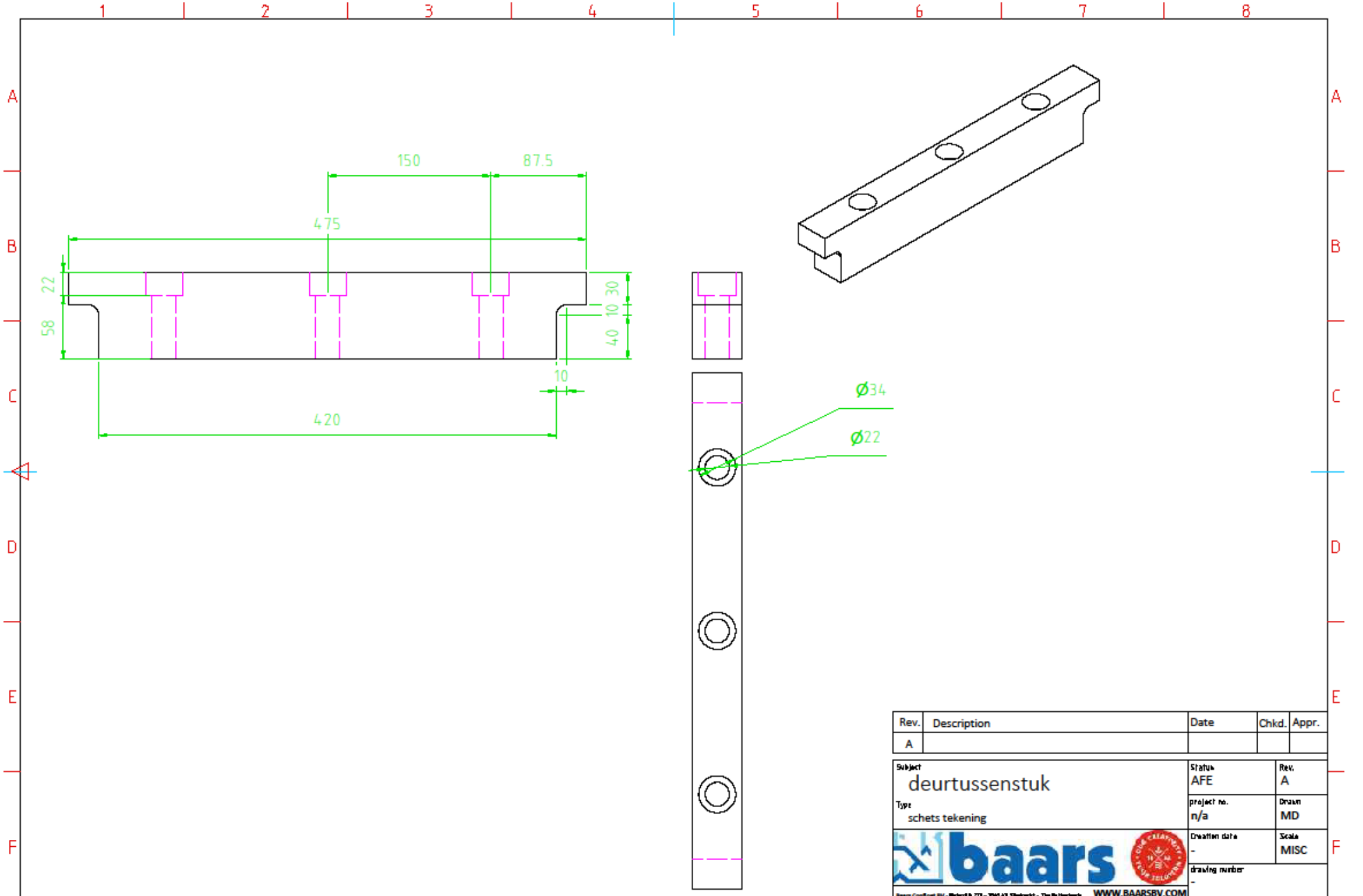
Subject: bovenste stuk paal	Status: AFE	Rev.: A
Type: schets tekening	project no.: n/a	Drawn: MD
baars	Creation date: -	Scale: MISC
	drawing number: -	





Rev.	Description	Date	Chkd.	Appr.
A				

Subject: Deur	Status: AFE	Rev.: A
Type: schets tekening	project no.: n/a	Drawn: MD
baars	Creation date: -	Scale: MISC
	drawing number: -	



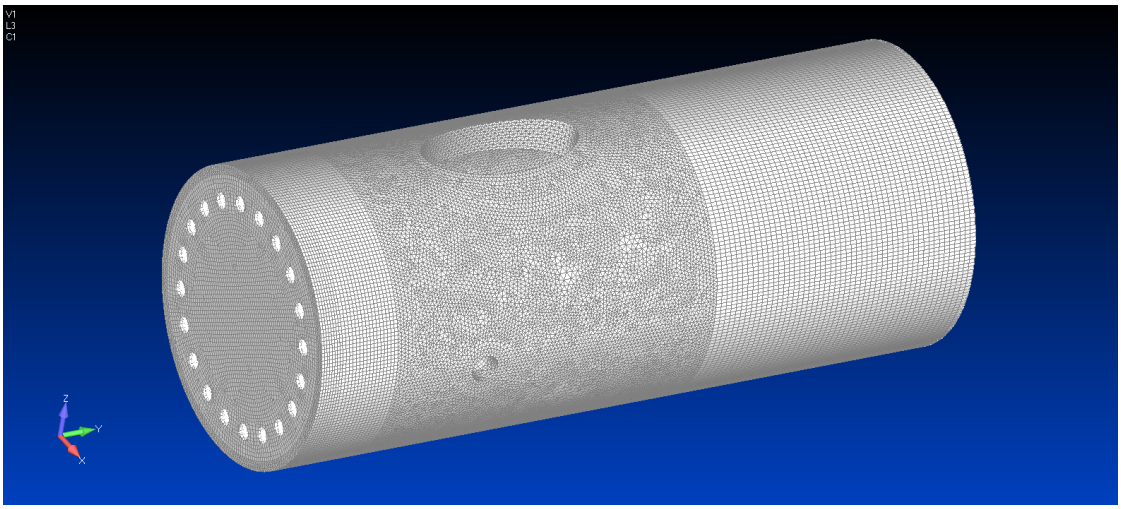
Rev.	Description	Date	Chkd.	Appr.
A				

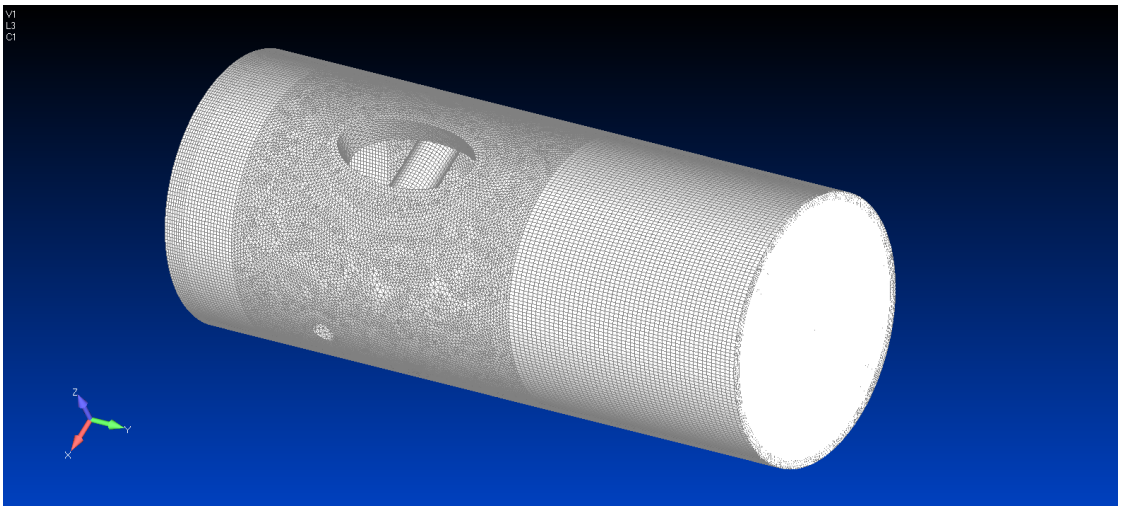
Subject: deurtussenstuk	Status: AFE	Rev.: A
Type: schets tekening	project no.: n/a	Drawn: MD
baars	Creation date: -	Scale: MISC
	drawing number: -	

WWW.BAARSBV.COM

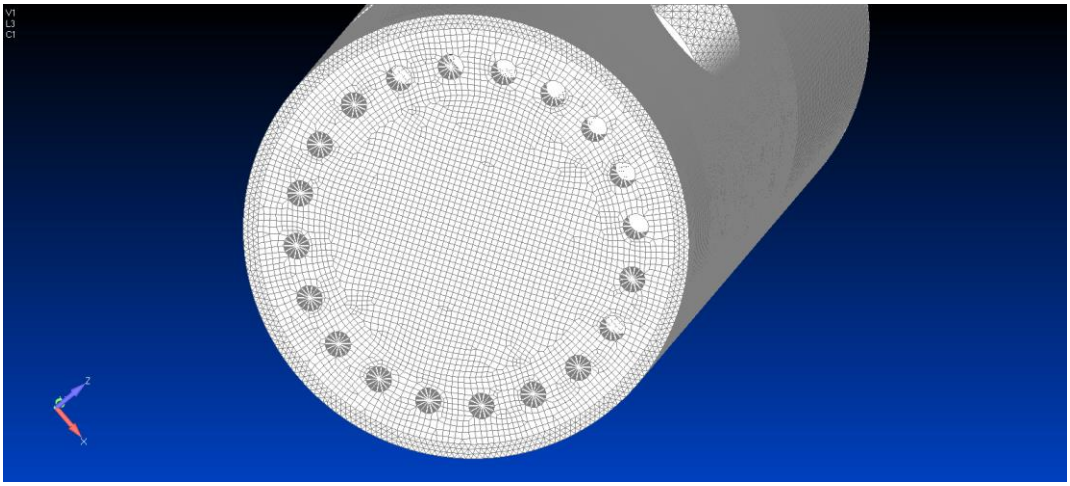
Bijlage 10 – FEM-analyse M42 bouten

Het model is gebouwd in de applicatie FEMAP (versie 11.2). Als solver is Nastran versie 9.5 gebruikt.





Het model bestaat uit ruim 600.000 solid elementen (QUAD4). Aan het vrije einde van de pijp zijn alle knooppunten verbonden middels een zgn 'rigid' element. Op het centrale knooppunt van de rigid is het moment van 1135 kNm aangebracht.

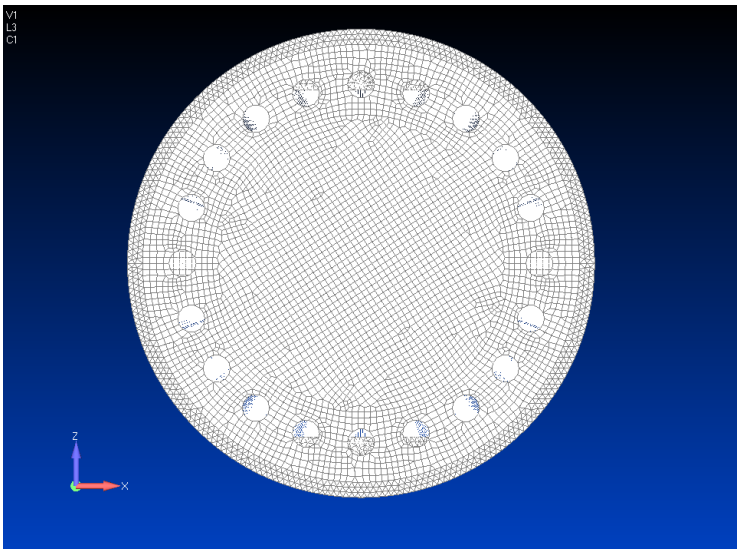


Ter plaatse van ieder boutgat zijn de knooppunten verbonden naar 1 centraal knooppunt. Hier zijn balkelementen aan verbonden met een diameter van 42 mm. Deze staafvormige elementen representeren de bouten. Op ieder van de 20 centrale "rigid" punten is 1/20 deel van de dwarskracht aangebracht. De vrije uiteinden van de boutelementen zijn ingeklemd.

Met behulp van het model is het mogelijk om de optredende spanningen te berekenen in het pijpsegment. Daarnaast kan voor iedere bout de trekkracht en de afschuifkracht worden bepaald.

Belastinggevallen

Onderstaande plot toont een bovenaanzicht van het spudpaalsegment en het gebruikte assenstelsel.

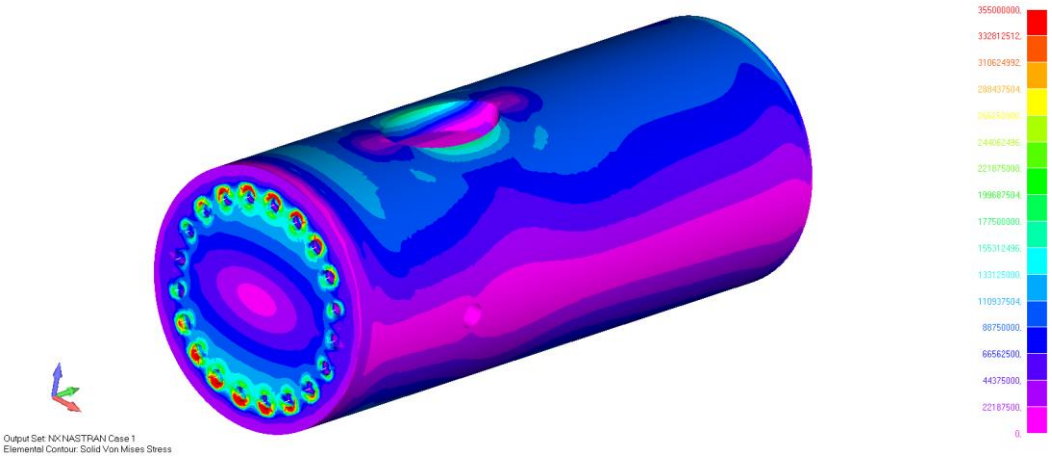


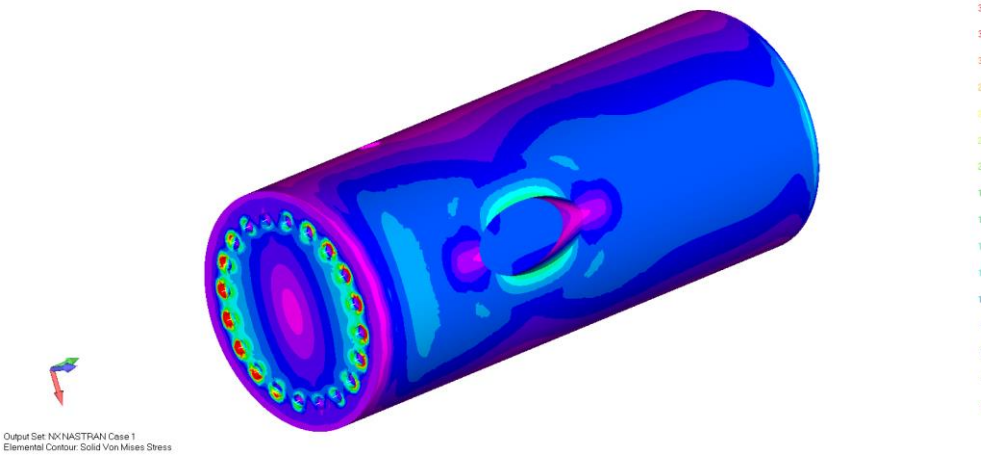
De volgende belastiggevallen zijn berekend:

1. Mx = 1135 kNm / Dx = 561 kN
2. Mz = 1135 kNm / Dx = 561 kN
3. Mxz = 1135 kNm / Dx = 561 kN

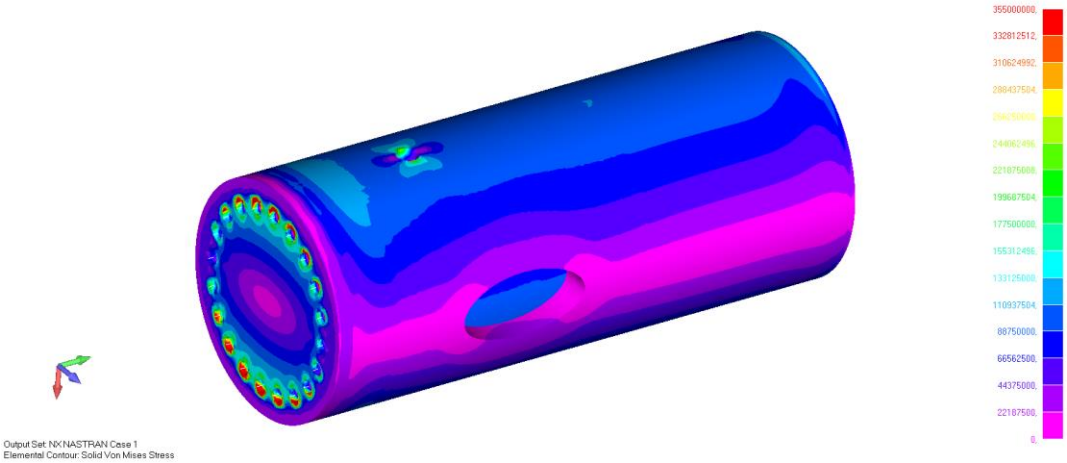
Uitkomsten (spanningsplots)

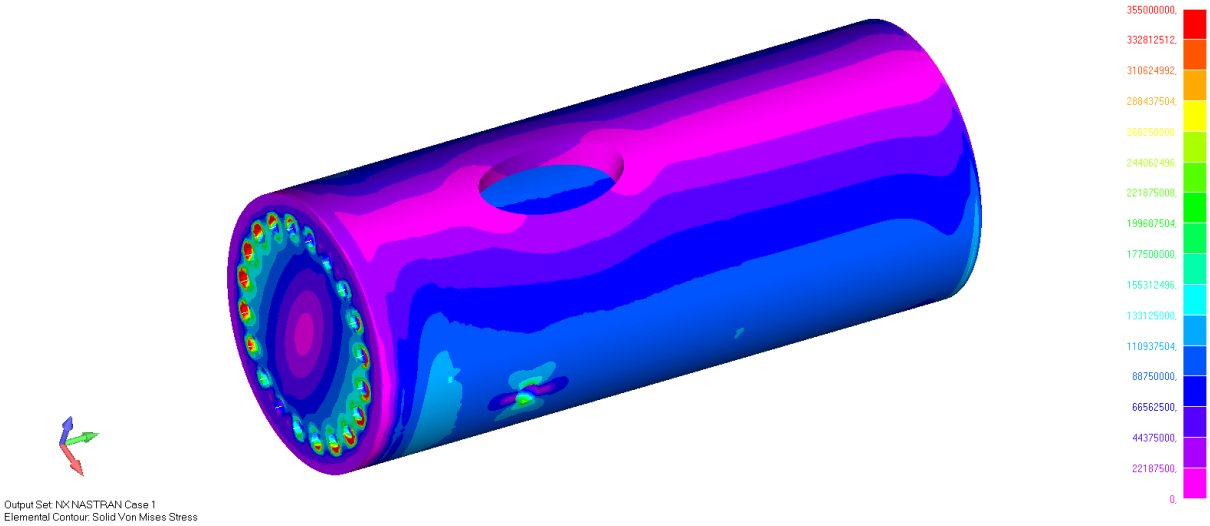
Loadcase 1



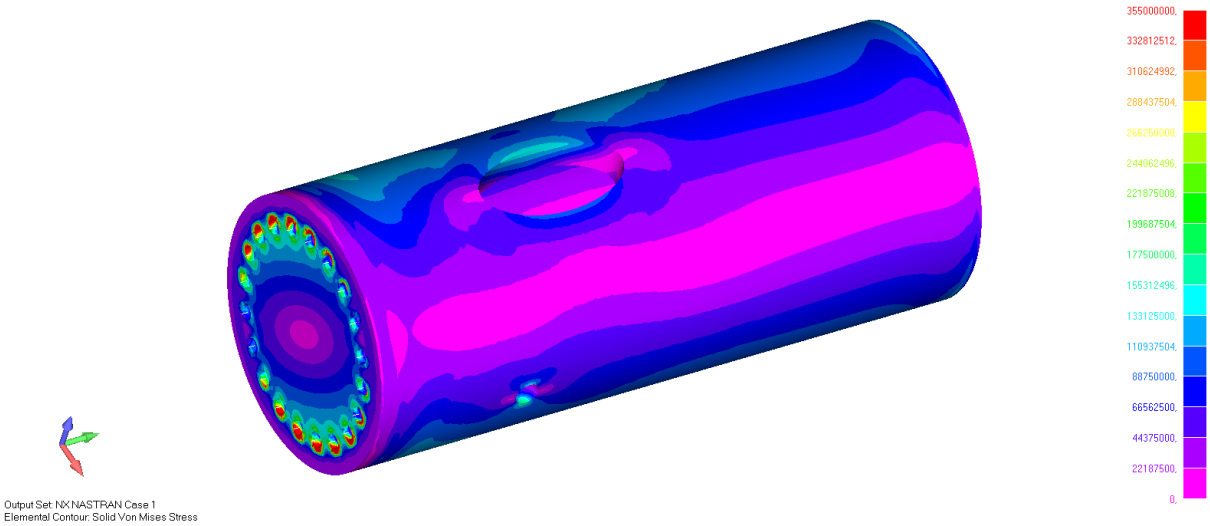

Output Set: NX NASTRAN Case 1
Elemental Contour: Solid Von Mises Stress

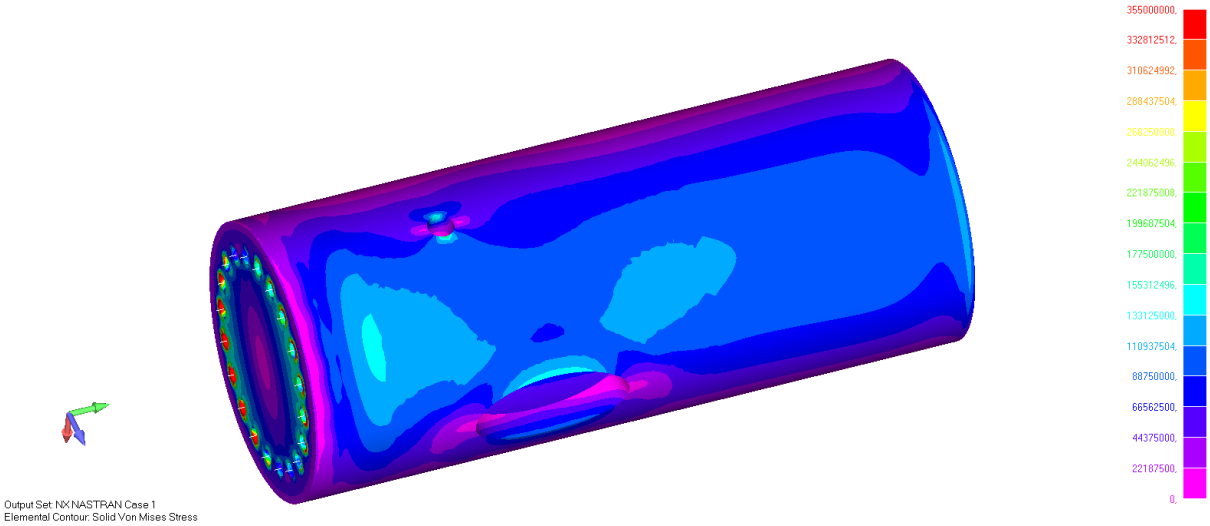
Loadcase 2


355000000.
332812512.
310624992.
288437504.
266250000.
244062496.
221875008.
199687504.
177500000.
155312496.
133125000.
110937504.
88750000.
66562500.
44375000.
22187500.
0.
Output Set: NX NASTRAN Case 1
Elemental Contour: Solid Von Mises Stress


355000000.
332812512.
310624992.
288437504.
266250000.
244062496.
221875008.
199687504.
177500000.
155312496.
133125000.
110937504.
88750000.
66562500.
44375000.
22187500.
0.
Output Set: NX NASTRAN Case 1
Elemental Contour: Solid Von Mises Stress

Loadcase 3





Resultaten (boutkrachten)

De bouten zijn getoetst op de optredende combinatie van dwarskracht en trekkracht volgens onderstaande formule:

Design of Steel Structures — Prof. S.R.Satish Kumar and Prof. A.R.Santha Kumar

3.2.5.3 Combined shear and tension failure

Bolt Subjected to Combined Shear and Tension – A bolt required to resist both design shear force (V_{sd}) and design tensile force (T_{nd}) at the same time shall satisfy

$$\left(\frac{V}{V_{sd}}\right)^2 + \left(\frac{T_e}{T_{nd}}\right)^2 \leq 1.0 \qquad (3.13)$$

Where, V = applied shear; V_{sd} = design shear capacity; T_e = externally applied tension and T_{nd} = design tension capacity. This gives a circular interaction curve as shown in Fig. 3.11.

(Source: Design of Steel Structures by Prof. S.R. Satish Kumar and Prof. A.R. Santha Kumar).

Er is een designfactor 2 in rekening gebracht.

LC1

		Boutklasse	10,9			
M	42	Tensile strength	1000		Limiting tension forc	499 kN
Gross A	1385	Yield strength	900		Limiting shear force	288 kN
Area fact	0,8	Design factor	2			
Net A	1108	Design Yield tension	450			
		Design Yield shear	260			

ID	CSys ID	1.,NX NASTRAN Case 1, 3018.,Beam EndA Pl1 Shear Force	1.,NX NASTRAN Case 1, 3019.,Beam EndA Pl2 Shear Force	1.,NX NASTRAN Case 1, 3022.,Beam EndA Axial Force	SH RES	Tension	Failure?	1= OK
2	0	-68163,45	57169,63	-112356,5	89	-112	0,15	1
299414	0	21793,58	-102160,3	1267,933	104	1	0,13	1
299415	0	-4509,13	-119028,1	-114688,3	119	-115	0,22	1
299416	0	-29717,94	-124849,5	-218383,4	128	-218	0,39	1
299417	0	-52258,38	-117387,7	-299783,4	128	-300	0,56	1
299418	0	-69266,21	-99169,18	-352342,1	121	-352	0,68	1
299419	0	-81238,82	-68437,94	-372382,2	106	-372	0,69	1
299420	0	-85314,88	-30910,89	-353202,8	91	-353	0,60	1
299421	0	-79870,45	6424,255	-302146,8	80	-302	0,44	1
299422	0	-67072,65	44266,55	-222819,2	80	-223	0,28	1
299424	0	-21704,91	102055,4	-2712,954	104	-3	0,13	1
299425	0	4521,013	119057,5	114621,3	119	115	0,22	1
299426	0	29728,8	124901,2	218651,6	128	219	0,39	1
299427	0	52251,45	117452	300090,8	129	300	0,56	1
299428	0	69193,83	99235,84	352506,2	121	353	0,68	1
299429	0	81108,21	68462,26	372379,4	106	372	0,69	1
299430	0	85245,56	30846,15	353397	91	353	0,60	1
299431	0	79452,57	-6216,401	301219,2	80	301	0,44	1
299432	0	66589,36	-44045,97	219891,8	80	220	0,27	1
299433	0	46487,49	-76358,2	116792,3	89	117	0,15	1

LC2

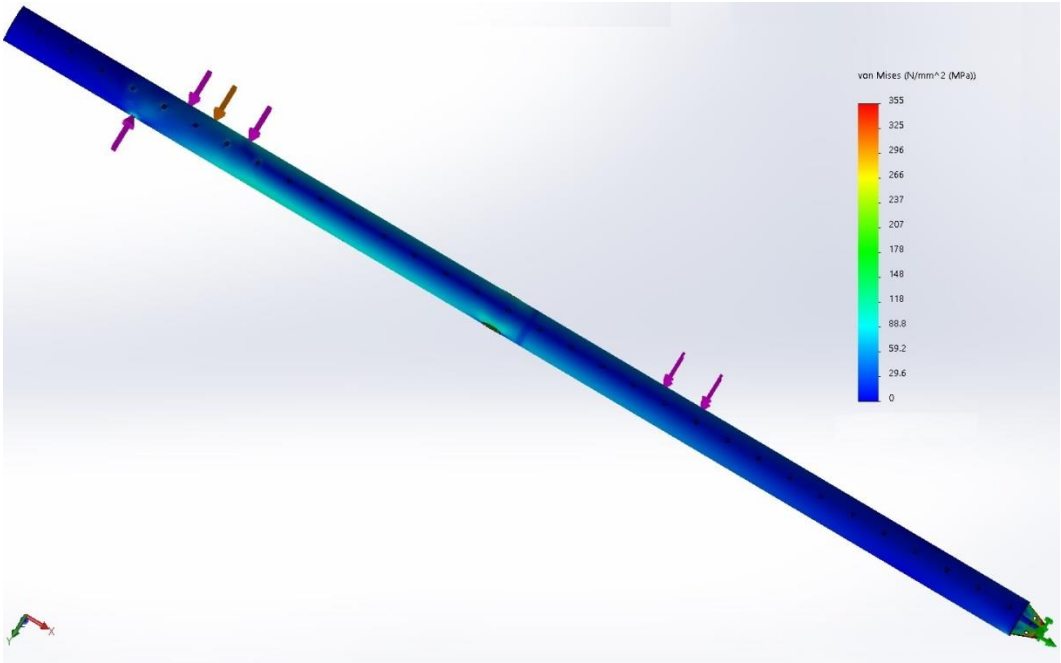
ID	CSys ID	3.,NX NASTRAN Case 1, 3018.,Beam EndA Pl1 Shear Force	3.,NX NASTRAN Case 1, 3019.,Beam EndA Pl2 Shear Force	3.,NX NASTRAN Case 1, 3022.,Beam EndA Axial Force	SH RES	Tension	Failure?	1= OK
2	0	-6496,08	109568,5	161910,9	110	162	0,25	1
299414	0	-55757,01	-106452,2	-258716	120	-259	0,44	1
299415	0	-80462,2	-99131,82	-330493,6	128	-330	0,64	1
299416	0	-96412,27	-81395,36	-368108,5	126	-368	0,74	1
299417	0	-102884,3	-55493,77	-368149,3	117	-368	0,71	1
299418	0	-98318,48	-25416,73	-330703,6	102	-331	0,56	1
299419	0	-85549,44	10216,67	-263045,1	86	-263	0,37	1
299420	0	-64290	44656,97	-167580,4	78	-168	0,19	1
299421	0	-36642,07	73108,54	-56643,64	82	-57	0,09	1
299422	0	-5374,5	93815,7	59617,19	94	60	0,12	1
299424	0	55871,65	106546,8	259830,5	120	260	0,45	1
299425	0	80670,76	99153,09	330872,4	128	331	0,64	1
299426	0	96679,23	81411,17	368481,9	126	368	0,74	1
299427	0	103165,6	55543,5	368584,5	117	369	0,71	1
299428	0	98559,8	25502,31	331100,2	102	331	0,57	1
299429	0	85741,3	-10132,24	263351,1	86	263	0,37	1
299430	0	64483,39	-44658	167900,7	78	168	0,19	1
299431	0	36395,39	-73137,16	56476,52	82	56	0,09	1
299432	0	5426,016	-94196,51	-57870,7	94	-58	0,12	1
299433	0	-27058,27	-104955,3	-166814,9	108	-167	0,25	1

LC3

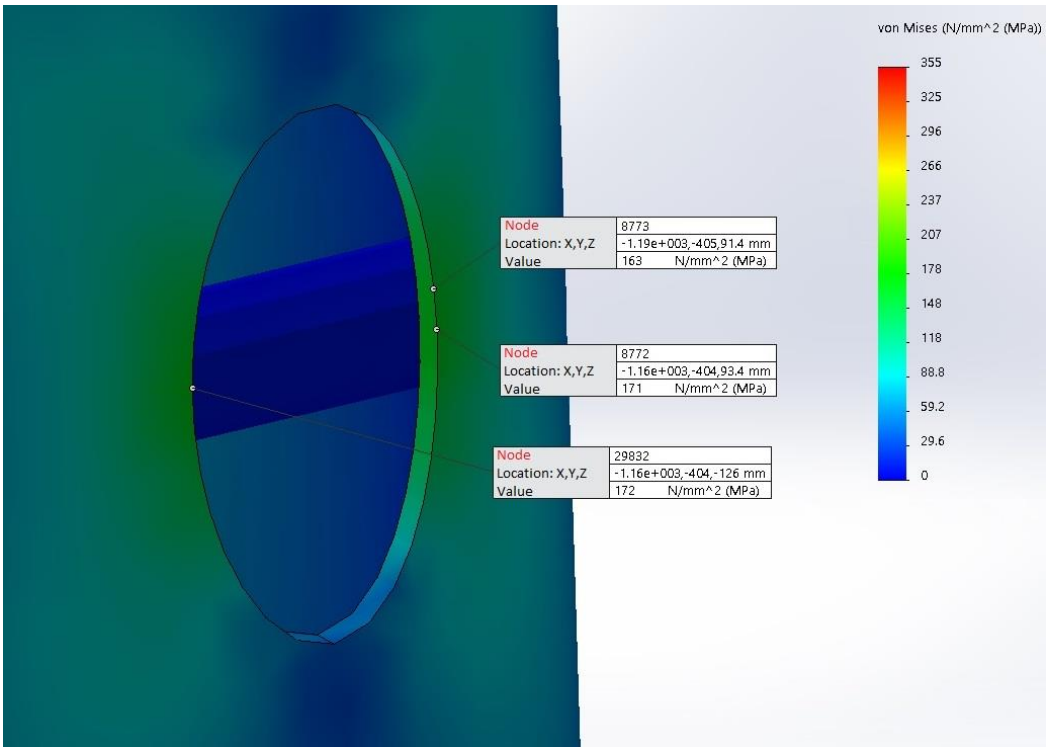
ID	CSys ID	2.,NX NASTRAN Case 1, 3018.,Beam EndA Pl1 Shear Force	2.,NX NASTRAN Case 1, 3019.,Beam EndA Pl2 Shear Force	2.,NX NASTRAN Case 1, 3022.,Beam EndA Axial Force	SH RES	Tension	Failure?	1= OK
2	0	72194,91	103816,8	340906,9	126	341	0,66	1
299414	0	-113658	-54653,23	-366449,4	126	-366	0,73	1
299415	0	-119577	-31421,07	-352112,4	124	-352	0,68	1
299416	0	-113220,2	-3503,47	-301657,6	113	-302	0,52	1
299417	0	-95464,3	23963,74	-220429,7	98	-220	0,31	1
299418	0	-67427,38	48058,34	-115209,2	83	-115	0,14	1
299419	0	-33054,42	68986,08	375,0571	76	0	0,07	1
299420	0	4785,554	82773,72	116070,3	83	116	0,14	1
299421	0	41117,62	89390,34	221599,2	98	222	0,31	1
299422	0	73929,47	85317,74	306523,3	113	307	0,53	1
299424	0	113737,5	54882,02	369409,4	126	369	0,74	1
299425	0	119861	31419,08	352703,9	124	353	0,69	1
299426	0	113586	3473,274	301914,1	114	302	0,52	1
299427	0	95867,81	-23958,31	220735,8	99	221	0,31	1
299428	0	67839,84	-48004,45	115604,1	83	116	0,14	1
299429	0	33454,89	-68891,36	58,56157	77	0	0,07	1
299430	0	-4444,94	-82710,73	-115811,4	83	-116	0,14	1
299431	0	-41047,34	-89632,87	-220926,9	99	-221	0,31	1
299432	0	-73377,86	-86065,76	-301188,3	113	-301	0,52	1
299433	0	-99190,3	-73727,23	-352115,7	124	-352	0,68	1

Bijlage 11 - FEM- Analyse gehele spudpaal

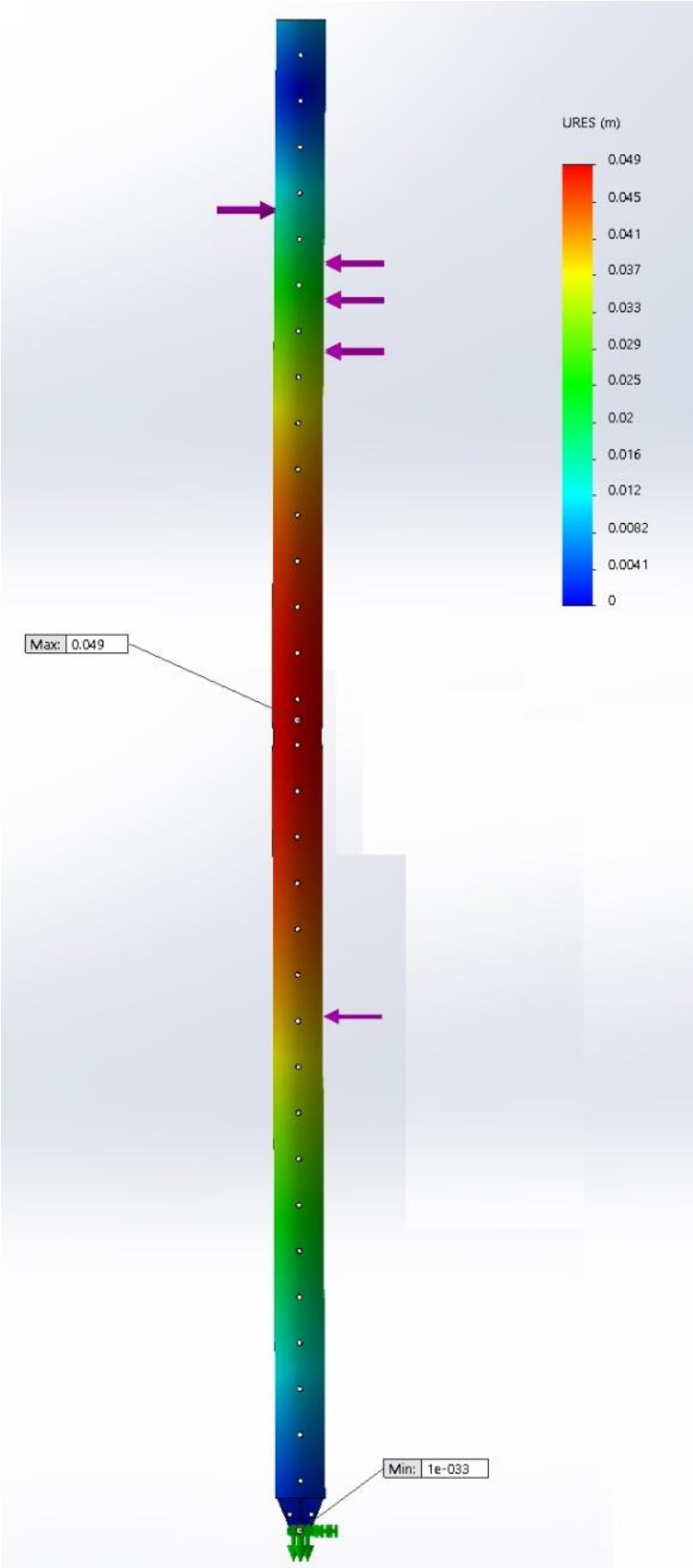
In samenwerking met Adam Usarek, werkvoorbereider bij Baars BV, is een FEM-Analyse gemaakt van de gehele spudpaal. Het gebruikte 3D model en de invoerparameters zijn afkomstig van de student. De aangrijpingspunten van de krachten komen ook voort uit de analyse-fase en is op onderstaand figuur te zien.



Uit de FEM-analyse bleek dat de maximale spanning op de spudpaal zich in het midden van de ovale opening bevond. Deze waarde is 172 MPa en is op onderstaand figuur te zien.

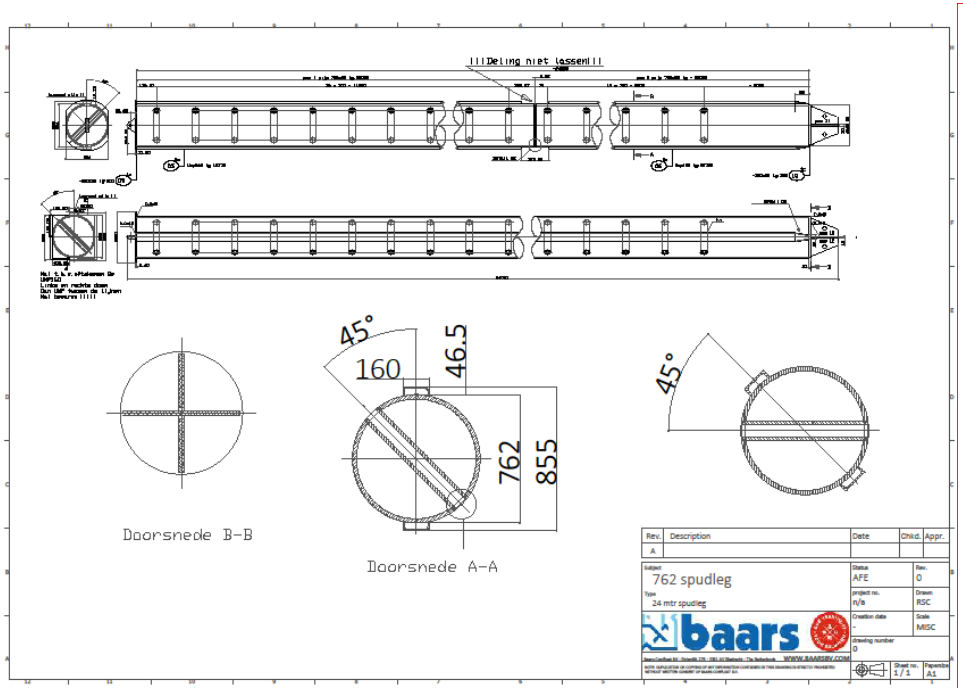


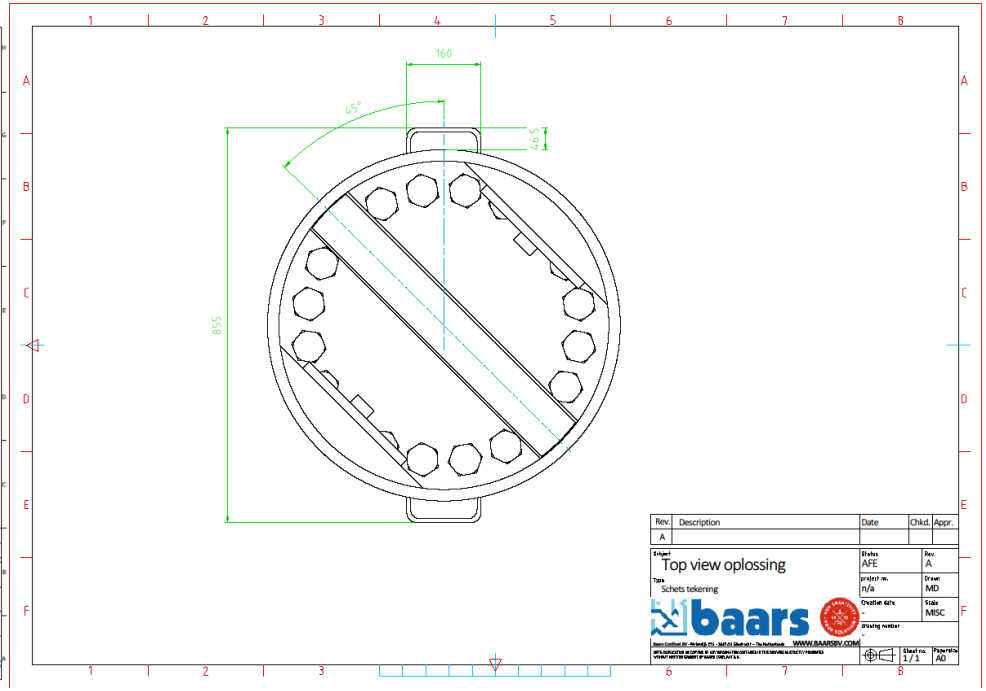
Er is ook gekeken naar de maximale doorbuiging die plaatsvindt op de spudpaal. Het
Het resultaat is op onderstaand figuur te zien en blijkt 49mm te zijn.



Bijlage 12 – Integratie

Links, Huidige situatie rechts, oplossing





Bijlage 13 – eindconcept toetsen aan de eisen

Nummer	*Datum*	*Bron*	*Eis*	*Verificatie*	*Voldoet*
1.0	10-9-18	Baars BV	Het jack-up 6' ponton moet voldoen aan de gestelde eisen van Bureau Veritas betreffende dit onderwerp	Onderbouwing	Ja, gezien de uitgangspunten klopt dit
1.1	10-9-18	Baars BV	De configuratie van het huidige jack-up 6' model mag niet worden aangepast.	Berekening	Ja, de configuratie is intact gebleven tijdens de berekening
1.2	25-9-18	Baars BV	De jack-up moet een extra belasting kunnen dragen van 50ton.	Berekening	Ja, zie Hoofdstuk 6
1.3	25-9-18	Bureau Veritas	De aanvrager moet kunnen aantonen dat het jack-up ponton voldoet aan de beschreven gebruikersomgeving van Baars BV met daarin een significante golfhoogte Hs=2,5	Berekening	Ja, zie Hoofdstuk 6
1.4	25-9-18	Baars BV	De toetsing moet benaderd worden conform NI 534 Guidance Note for the Classification of Self-Elevating Units, september 2010 van Bureau Veritas	Berekening + onderbouwing	Ja, zie Hoofdstuk 6
1.5	25-9-18	Baars BV	De student moet geen rekening houden met een vlaggenstaat.	Onderbouwing	Ja, zie Hoofdstuk 6
1.9	25-9-18	Baars BV	De jack-up moet in survivalmodus voldoen aan een getij van 2m.	Berekening	Ja, zie Hoofdstuk 6
1.10	25-9-18	Baars BV	De jack-up moet in survivalmodus voldoen aan een stormvloed van 1,5m	Berekening	Ja, zie Hoofdstuk 6
1.11	25-9-18	Baars BV	Er moet aangenomen worden dat $L_{spudpen}$ = 2m zonder het gebruik van een spudcan.	Berekening	Ja, zie Hoofdstuk 6
1.12	25-9-18	Baars BV	De ontwerptemperatuur moet 0°C zijn.	Berekening	Ja, zie Hoofdstuk 6
1.13	25-9-18	Baars BV	De jack-up moet in survival modus voldoen aan een windbelasting van V_{wind} = 50 m/s	Berekening	Ja, zie Hoofdstuk 6
1.15	25-9-18	Baars BV	De jack-up moet in survival modus voldoen aan een MWL = 10m	Berekening	Ja, zie Hoofdstuk 6
1.16	25-9-18	Baars BV	De jack-up opereert niet in een sneeuw/ijs- en aardbevingsgevoelige omgeving	Onderbouwing	Ja
1.17	25-9-18	Baars BV	Er moet rekening worden gehouden met een planten aangroei op de spudpalen van 12,5mm	Berekening	Ja, zie Hoofdstuk 6
1.16	5-11-18	Baars BV	De spudpaal moet modulair uitgevoerd worden.	Onderbouwing	Ja, zie Hoofdstuk 6
1.17	5-11-18	Baars BV	De spudpaal moet een buitendiameter hebben van 762mm.	Onderbouwing + tekening	Ja, zie bijlage 9
1.18	5-11-18	Baars BV	De complete spudpaal moet een maximale lengte hebben van 24m.	Tekening	Ja, zie bijlage 9
2.0	5-11-18	Baars BV	De lengte van een spudpaal deel moet tussen de 6 en 11,58m liggen.	Tekening	Ja, zie bijlage 9
2.1	5-11-18	Baars BV	De verbinding tussen de modulaire spudpalen moet tussen de 0m – 0,5m hoog zijn.	Onderbouwing + tekening	Ja, zie bijlage 9
2.2	5-11-18	Baars BV	De totale lengte van de spudpaal moet tussen de 20m en 25m zijn.	Tekening	Ja, zie bijlage 9

Bijlage 14 – Excel bestand

Met dit document is een USB meegeleverd waarin een rekenmodel in de vorm van een Excel bestand is meegeleverd. Dit Excel bestand is representatief voor alle berekeningen die uitgevoerd zijn dit project. Het is voor het gemak opgedeeld in verschillende werkbladen:

- **Een hoofdblad**, hier worden alle ingaande(donker paars) en uitgaande parameters (oranje) weergeven
- **Definitions**, hier worden alle definities, symbolen, aantallen, eenheden, gebruikte formule en referenties weergeven.
- **Center of gravity**, hier wordt de berekening van het zwaartepunt getoond.
- **Center of windforce**, hier wordt de windkracht en aangrijpingspunt berekend
- **Hydrodynamic force approach**, hier wordt de hydrodynamische kracht berekend