

Titel Ekstremlast af Rørsupports, Dan FF
Projektperiode 13. oktober 2014 – 7. januar 2015
Vejleder Anders Schmidt Kristensen
Virksomhed Maersk Olie & Gas

Udarbejdet af

Anders Brink Nielsen**Synopsis**

Maersk Olie & Gas har revurderet partikelhastighederne for 10.000års-bølgen og fundet hastighederne ca. dobbelt så store, som tidligere antaget. Eksisterende rammestruktur under Cellar-Deck skal derfor kontrolleres ift. de nye partikelhastigheder og forstærkes om nødvendigt.

Projektet tager udgangspunkt i rørstrækningen for DFF-12"-WI-359051-API5LX65 og DFF-12"-PHS-389002-API5LX65 under Cellar-Deck på Dan FF. Overslagsberegninger inden initieringen af projektet har vist, at rammerne omkring rørsupports'ene på strækningen kræver forstærkning. Konklusionen på overslagsberegningerne er i projektets problemanalyse verificeret med FEM analyse i ANSYS Workbench. Det er konkluderet, at forstærkning af rammen kun er nødvendig ift. horisontal bølgelast perpendikulært på rørenes længderetning.

Med udgangspunkt i Maersk Olie & Gas' ønske om en løsning, som kan anvendes på lignende rammestrukturer under Cellar-Deck på Nordsøen, er der foretaget forstærkning af rammen. Forstærkningen er foretaget ved ekstra understøtning af rammen. Ved ændring af længden på understøtningerne kan løsningen anvendes på lignende rammestrukturer på Nordsøen. Løsningen er verificeret i ANSYS Workbench med samme parameteropsætning, som er anvendt i problemanalysen. Løsningen forstærker rammen tilstrækkeligt, således det maksimale spændingsniveau bringes under flydespændingen, hvilket i kraft af designmetoden Accidental Limit State er dimensionsgivende i projektet.

Yderligere er det i projektet verificeret, at rørene DFF-12"-WI-359051-API5LX65 og DFF-12"-PHS-389002-API5LX65 er tilstrækkeligt understøttet ift. 10.000års-bølgen.



Abstract

Maersk Oil & Gas has reassessed the particle velocities of the 10.000year-wave and found the velocities approximately twice the size as previously assessed. The existing frame structure beneath the Cellar-Deck must therefore be checked against the new particle velocities and reinforced if necessary.

The project concerns the pipelines DFF-12"-WI-359051-API5LX65 and DFF-12"-PHS-389002-API5LX65 beneath Cellar-Deck on Dan FF. Before the initiation of this project rough calculation has shown that the frame around the pipe supports requires reinforcement.

This conclusion has been verified with ANSYS Workbench FEM analysis in the Problem Analysis. Further, it is concluded that the reinforcement of the frame only is necessary for horizontal wave load perpendicular to the pipe length.

Based on Maersk Oil & Gas' desire for a solution that can be used in a similar frame structures beneath Cellar-Deck on the North Sea, there are made reinforcements to the frame. The reinforcements are made by additional support of the frame. By changing the length of the additional supports, the solution can be used in a similar frame structures beneath the Cellar-Deck in the North Sea.

The solution has been verified in ANSYS Workbench with the same parameter settings as used in the Problem Analysis. The solution strengthens the frame enough to lower the stress level beneath the steels Yield Stress, which by virtue of the design method Accidental Limit State is the limiting factor.

Further, the project has verified that the pipes DFF-12 "-WI-359051-API5LX65 and DFF-12" - PHS-389002-API5LX65 is adequately supported in respect to the 10.000year-wave.

Forord

Projektet er et afsluttende bachelorprojekt for uddannelsen Bachelor of Science in Mechanical Engineering ved Aalborg Universitet Esbjerg. Projektet er lavet i forlængelse af et praktikforløb på 20 uger i mekanisk afdeling hos Maersk Olie & Gas i Esbjerg (herefter MOG). Projektet er i interesse- og samarbejde med MOG.

Appendiks og Tegningsdata er på engelsk for MOG's skyld.

Modellering er foretaget i Autodesk Inventor 2014 Professional (herefter Inventor).

FEM analyse er foretaget i ANSYS Workbench 14.5 (hereafter ANSYS).

- Alle samlinger er udført som Bonded.
- E-modul er sat til $200 MPa$.
- Poissons forhold er sat til 0,3.

Beregninger er foretaget i MathCad 15. Alle decimaler er anvendt i MathCad, mens værdierne i projektrapporten er afrundet til 2. decimal.

Kildehenvisninger er nummerreferencer til kildelisten – eksempel ("x" s. "y"). Hvor "x" referer til kildenummeret og "y" til sidetallet.

Alle mål oplyst i projektrapporten er i millimeter, medmindre andet er anført.

Ved omtale af nord, syd, øst og vest hentydes der til de platformsspecifikke retningsangivelser, med mindre andet er angivet.

Der gives en stor tak til Maersk Olie & Gas for samarbejdet omkring projektet samt til Anders S. Kristensen ved Aalborg Universitet Esbjerg for løbende vejledning.



MAERSK
OIL

Ekstremlast af Rørsupports, Dan FF



AALBORG UNIVERSITET
STUDENTRAPPORT

Nomenklaturliste

A	As-Built tegning	: Tegning af udført installation
	ASTM	: American Society for Testing and Materials
B	Brøndehoved	: Afslutning af brønd
C	Caisson	: Beskyttende hylster for rørføringer
	Cellar-Deck	: Platformens laveste dæk
	CFD	: Computational Fluid Dynamics (<i>Computerbaseret Væske Dynamik</i>)
D	DUC	: Dansk Undergrunds Consortium
E	ESDV	: Emergency Shutdown Valve (<i>Nød Nedluknings Ventil</i>)
F	FE	: Finite Element (Method)
	FLD	: Frit Legeme Diagram
H	Hot-Spot	: Analyse metode, hvor spænding lineariseres op mod en singularitet
I	Rør-isometri	: Isometrisk afbildning af rør – Ikke målfast, todimensionel repræsentation af tredimensionelt rørføring.
J	Juletræ	: Styringsenhed for brønd. Placeret oven på brøndehoved
M	Mesh	: Element inddeling af modeller vha. gitterstruktur
	MOG	: Maersk Olie & Gas
N	N/A	: Not Available (<i>Ikke tilgængelig</i>)
	NDE	: Non Destructive Examination (<i>Ikke destruktiv undersøgelse</i>)
O	Offshore	: Anvendes som reference til "ombord på platformen"
P	P&ID	: Piping and Instrumentation Diagram (<i>Rør og Instrumenterings Diagram</i>)
	Path	: Sti for spændingsaflæsning
	Peak	: Anvendes ift. lokale maksima på spændingskurver
	PEM	: Plain End Mass (<i>Masse pr. længdeenhed</i>)
	Probe	: Målesonde for spændingsaflæsning
R	Rørsupport	: Rør-understøtning
S	Spændings singularitet	: En uforholdsmæssig stor afvigelse i et element pga. elementareal gående mod nul
	Splash-zone	: Område hvor "almindelige" bølger rammer
	Stigefacilitet	: Sende/modtag-facilitet for olie, gas eller vand
	Stigerør	: Hovedsagelig vertikalt rør mellem havbunden og platformen
T	Topside	: Alle moduler fra Cellar-Deck og op
V	Vandinjektion	: Trykket øges i reservoir således produktionen lettes
W	Wellheadplatform	: Platform hvor brøndehoveder er placeret



Indholdsfortegnelse

1	INDLEDNING	1
2	PROJEKTETS BAGGRUND	3
3	PROBLEMANALYSE.....	5
3.1	PROBLEM BESKRIVELSE	5
3.2	ANVENDELSE AF STANDARDER OG ANBEFALEDE PRAKSIS	6
3.3	RØRFØRINGEN MELLEM INSTALLATIONERNE.....	7
3.4	PLATFORMEN DAN F	8
3.5	RØRFØRINGEN OMBORD	9
3.5.1	<i>Rørsupports'ene PS-1-B-001 til 008.....</i>	11
3.5.2	<i>Rørene 12" WI og 12" PHS.....</i>	13
3.6	10.000ÅRS-BØLGEN	15
3.6.1	<i>Bølgens retning.....</i>	17
3.6.2	<i>Bølgens effekt på rør og rammestruktur.....</i>	18
3.7	LIMIT STATE DESIGN.....	20
3.7.1	<i>Accidental Limit State</i>	20
3.8	SIKKERHEDSOVERVEJELSER	21
3.8.1	<i>Valg af dragkoefficienter</i>	21
3.8.2	<i>Valg af partikelhastigheder.....</i>	21
3.8.3	<i>Valg af angrebsarealer</i>	22
3.8.4	<i>Valg af dimensioneringsgrænse.....</i>	22
3.9	LASTANALYSE.....	23
3.10	RØRANALYSE	24
3.10.1	<i>Spændingsbidrag fra trykredsning</i>	24
3.10.2	<i>Spændingsbidrag fra bøjning</i>	31
3.10.3	<i>Kontrol af spændinger</i>	33
3.10.4	<i>Delkonklusion</i>	35
3.11	RAMMEANALYSE	36
3.11.1	<i>Delelementanalyse for rammen.....</i>	37
3.11.2	<i>Verifikation af FE-værktøj</i>	38
3.11.3	<i>FE-model for rammen</i>	44
3.11.4	<i>FE-analyse af rammen</i>	48
3.11.5	<i>Delkonklusion</i>	59
4	PROBLEMFORMULERING	61
4.1	PROBLEMAFGRENNSNING	61



5 KRAVSPECIFIKATION	63
5.1 PRIMÆRE KRAV	63
5.2 SEKUNDÆRE KRAV.....	63
6 LØSNINGSANALYSE	65
6.1 LØSNINGSFORSLAG.....	65
6.1.1 <i>Initierende løsningsforslag</i>	66
6.1.2 1. Videreudvikling af løsningsforslaget	67
6.1.3 2. Videreudvikling af løsningsforslaget	70
6.1.4 3. Videreudvikling af løsningsforslaget	71
6.2 LØSNINGSVALG	76
6.3 FEJLMODELLERING AF SKRÅ SHS BJÆLKE	77
6.3.1 <i>Verifikation af fejlmodellering</i>	78
7 DISKUSSION	81
7.1 STØRRELSEN PÅ MESH.....	81
7.2 VALG AF RAMME FOR ANALYSE	81
7.3 LØSNINGENS RELEVANS FOR RAMMETYPE 3	83
8 KONKLUSION	85
9 PERSPEKTIVERING.....	87
9.1 RØRSUPPORTS FOR 2" OH OG 3" OH	87
9.2 VERIFIKATION AF LØSNINGEN IFT. PS-1-B-001, 002 OG 007	87
10 KILDELISTE	88
11 KILDEKRITIK	91



MAERSK
OIL

Ekstremlast af Rørsupports, Dan FF



AALBORG UNIVERSITET
STUDENTRAPPORT

1 Indledning

I forbindelse med design af nye rørsupports for to 12" rør, som løber under Cellar-Deck på Dan FF, er det konkluderet, at rammerne omkring rørsupports'ene ikke kan holde til den last, som den revurderede 10.000års-bølge, vil påvirke rammerne med. Revurderingen af 10.000års-bølgen har medført, at der fremover skal dimensioneres efter en bølgehøjde på minimum $20m$ samt at partikelhastighederne er mere end fordoblet. Al topside-struktur som 10.000års-bølgen forventes at ramme, er tidligere dimensioneret efter en vertikal partikelhastighed på $2^m/s$ og en horisontalt partikelhastighed på $11^m/s$, hvilket ændres til henholdsvis $6^m/s$ og $23^m/s$. Det er derfor nødvendigt at sikre, at både rørene og rammerne kan holde til den nye bølgelast. Projektet tager udgangspunkt i en analyse af, om rørene i sig selv er tilstrækkeligt understøttet. Hvorefter det sikres at understøtningerne i sig selv kan holde til den nye bølgelast.

Hvorvidt rørene kan holde til den nye bølgelast, er der inden projektets initiering ingen indikationer af. Men en rådgivende ingeniørvirksomhed, som har stået for designet af de nye rørsupports i rammerne, har foretaget overslagsberegning på rammerne, som viser, at rammerne er stærkt overbelastede. Overslagsberegningen anvendes ikke i projektet, da den ser bort fra adskillelige parametre, såsom egenvægt fra både rør og rammer.



MAERSK
OIL

Ekstremlast af Rørsupports, Dan FF



AALBORG UNIVERSITET
STUDENTRAPPORT



2 Projektets baggrund

Som sagt er problemet opdaget i forbindelse med design af nye rørsupports, da det var nødvendigt at udskifte eksisterende rørsupports. Rørsupports'ene er, som det ses på Figur 1, svejst. Rørsupports'ene er derfor umulige at demontere uden at ødelægge dem. At kunne demontere rørsupporten, er af stor vigtighed, da det ellers ikke er muligt at inspicere overfladebeskaffenheten af røret. Ved rørsupports'ene er overfladen ekstra utsat, da indkapslingen af røret danner basis for spalte- og tildækningskorrosion.



Figur 1 – Billede af rørsupport taget under inspektion offshore. Viser at rørsupporten omkring røret ikke kan demonteres for inspektion.

En rådgivende ingeniørvirksomhed har derfor haft til opgave at designe nye rørsupports i de eksisterende rammer, som kan demonteres uden at ødelægge konstruktionen.

I opsætning af kravspecifikationen kontaktes afdelingen "Structures and Pipelines" i MOG, som informerer dem om, at der i den nærmeste fremtid lanceres en ny vejledning for dimensionering for 10.000års-bølgen. "Structures and Pipelines" har endnu ikke lanceret vejledningen, hvorfor der reelt ikke skal dimensioneres herefter. Men eftersom at det var et større projekt og rørsupports'ene vil være utsat for 10.000års-bølgen, blev det adviseret at anvende de nye partikelhastigheder for dimensionering.

I samråd med projektansvarlige hos MOG blev det derfor besluttet, at dimensionere rørsupports'ene efter den nye bølgelast. Ligeledes blev det besluttet at lave et overslag på, hvorvidt eksisterende rammer omkring rørsupports'ene i sig selv kan holde til den nye bølgelast. I og med at det har vist sig, at rammerne forventeligt ikke kan holde til den nye bølgelast og at vejledningen for 10.000års-bølgen endnu ikke er lanceret, er det ikke noget, der er investeret penge i. Derimod er det foreslået som et studie, der uddover at løse problemet omkring rørene, gerne skal være implementerbar på andre lignende rammestrukturer under Cellar-Deck på Nordsøen. Andre lignende rammestrukturer under Cellar-Deck på Nordsøen vil være påvirket af den kommende vejledningsændring for 10.000års-bølgen.

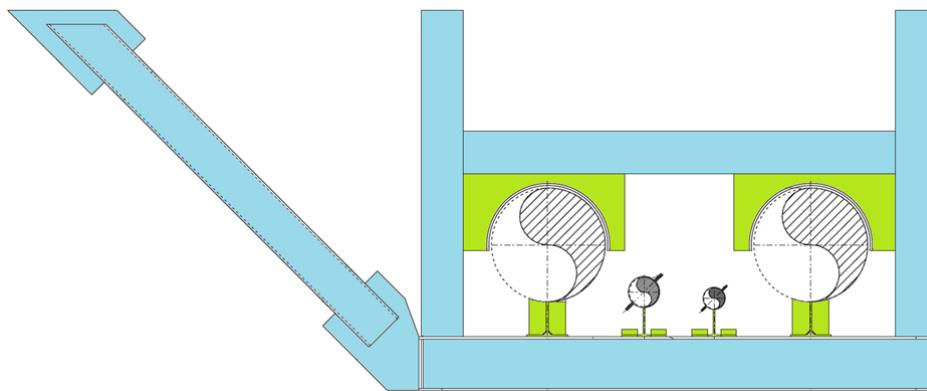
3 Problemanalyse

Problemanalysen indeholder en gennemgang af problemstillingen. Herefter er der foretaget indledende beregninger for kontrol af problemets omfang samt opsætning af kravspecifikation.

3.1 Problembeskrivelse

Under design af rørsupports'ene – se Figur 2 - for rørene DFF-12"-WI-359051-API5LX65 (herefter 12" WI) og DFF-12"-PHS-389002-API5LX65 (herefter 12" PHS) er det fundet, at den anvendte bølgelast for design af topside-struktur er under revurdering og at partikelhastigheden forventeligt ændres fra 2m/s til 6m/s vertikalt og fra 11m/s til 23m/s horisontalt.

Den nye partikelhastighed på 6m/s vertikalt og 23m/s horisontalt omtaltes fra dette punkt i projektrapporten blot som "bølgelasten".



Figur 2 - Eksempel på rørsupport for 12" WI og 12" PHS. Skraveret med blåt er rammen og med grønt selve rørsupporten.

As-Built tegninger for alle øtte rørsupports findes i bilag 3.

Overslagsberegning lavet af en rådgivende ingeniørvirksomhed viser, at ændringen i partikelhastighed har stor indvirkning på, hvorledes rammestrukturen og rørføringen belastes og at rammen omkring rørsupporten ikke kan holde til den nye bølgelast.

Derfor har MOG et ønske om kontrol af; hvorvidt rørene er tilstrækkeligt understøttet, om konklusionen på overslagsberegningen for rammernes styrke er korrekt og i så fald en løsning på, hvorledes eksisterende rammer forstærkes ift. belastningen.

MOG's ønske har ledt til følgende initierende problem:

Hvorledes sikres rørene DFF-12"-WI-359051-API5LX65 og DFF-12"-PHS-989002-API5LX65 mod fremtidige bølgelast, hvis der tages udgangspunkt i nuværende rammer?



3.2 Anvendelse af Standarder og Anbefalede Praksis

I projektet er der anvendt forskellige standarder og anbefalede praksis.

Grundlæggende designes alt i MOG iht. "Maersk Oil Design Standard" (MODES) og "Maersk Oil Technical Standard" (MOTS). Standarderne henviser i bred udstrækning til internationale standarder og i visse tilfælde til skærpede krav internt i virksomheden.

I det følgende er de anvendte standarder og anbefalede praksis listet. Der er taget udgangspunkt i de relevante MOTS standarder og under dem de standarder de refererer til.

"MOTS-02 - Piping Design and Materials" (herefter MOTS-02) – Standard og anbefalede praksis for rørdesign.

- "AMSE Standard B31.3 - Process Piping" (hereafter AMSE B31.3) - Spændingstilstande rør dimensioneres ift.
- "MOG General Design and Reassessment Conditions – Environmental Design Data" - Statistisk bølgedata.
- "MOG General Jacket Design and Reassessment Conditions – Wave-in-Deck Loading" - Faktorer der skal tages højde for, ved beregning af bølgelast på rørføring.
- "ISO Standard 19902 - Fixed Offshore Steel Structures" – Hvorledes der skal tages højde for bølgen i design af rør og struktur.
- "DNV Recommended Practice D101 - Structural Analysis of Piping Systems" (hereafter DNV-RP-D101) – Lasttyper der skal tages i betragtning ved styrkeberegnung af rørsystemer.

"MOTS-31 - Materials and Structural Fabrication of Topsides Modules and Bridges" (hereafter MOTS-31) Standard og anbefalede praksis for strukturdesign.

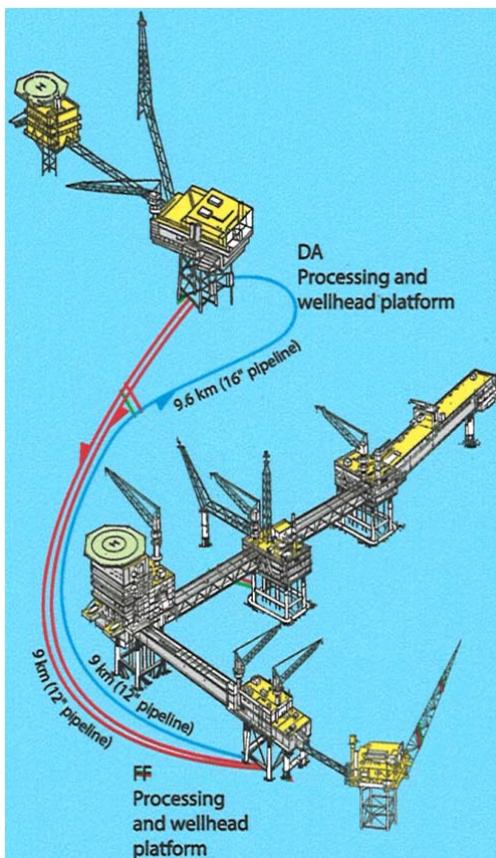
- "DS 449 Dansk ingeniørforenings norm for pålefunderede offshore stålkonstruktioner" - Faktorer der skal tages højde for ved beregning af bølgelast på struktur.
- "ISO Standard 19901-3 - Specific Requirements for Offshore Structures – Part 3: Topsides Structure" (hereafter ISO19901-3) - Hvilken lasttype 10.000års-bølgen er og hvorledes der tages højde for denne.
- "DNV Recommended Practice C205 – Environmental Conditions and Environmental Loads" (hereafter DNV-RP-C205) - Hvorledes draglaster bør findes.



3.3 Rørføringen mellem installationerne

Rørene 12" WI og 12" PHS forbinder Dan FF og Halfdan DA. I nedenstående er forbindelsernes funktion beskrevet.

- 12" WI er et 12" rør, som fører produceret vand fra Dan FF til Halfdan DA, hvor vandet anvendes til vandinjektion. På Figur 3 ses rørledningen markeret med blåt. Rørledningen udgør i alt ca. 18,6km.
- 12" PHS er et 12" rør, som fører gas fra en højtryksbrønd fra Halfdan DA til Dan FF, hvor gassen indgår i processen. På Figur 3 ses rørledningen markeret med rødt – den ene af de to. Rørledningen udgør i alt ca. 9km.



Figur 3 – Udsnit af Bilag 1, som viser de tre rørføringer der er mellem Dan FF og Halfdan DA. Bilag 1 giver det komplette overblik over DUC.

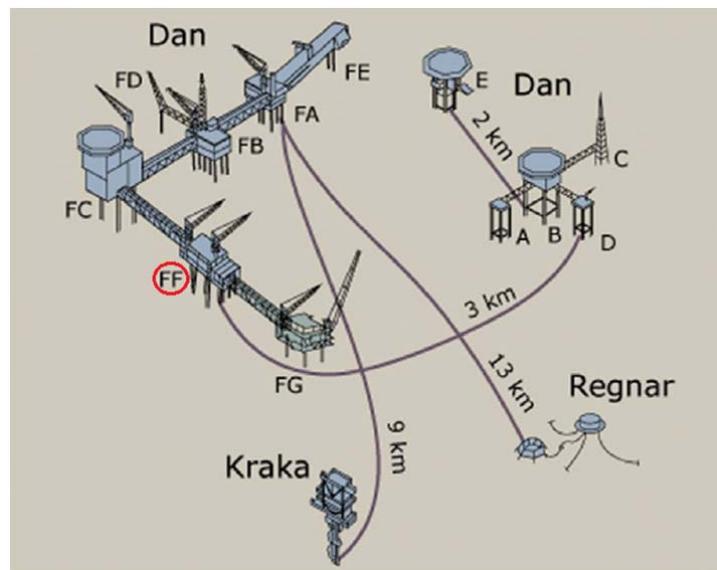
Eftersom projektet omhandler rørføringen ombord på Dan FF, er der i det følgende en kort beskrivelse af Dan Feltet og en mere specifik beskrivelse af platformen Dan FF.



3.4 Platformen Dan F

Dan F er den største danske olie- og gasproduktionsplatform. Geografisk er den placeret 210km vest for Esbjerg i den danske del af Nordsøen og opererer på det 104km² store Dan Felt. Dan Feltet har været i produktion siden 1972 og har siden udgjort ca. 28 % af den samlede danske olieproduktion. På Figur 4 ses en skitsering af Dan Feltet, hvor Dan F er i øverste venstre hjørne. Udoer Dan F består Dan Feltet også af de ubemandede installationer Dan E, Regnar og Kraka samt den bemandede produktionsplatform Dan B.

Dan F er bygget op af flere platforme med broforbindelser. Platformene FE, FA og FB er wellheadplatforme, hvilket vil sige platforme, hvor de undersøiske brønde er ført op i et brøndehoved (juletræ). FD er et afbrændingstårn, FC en kombineret proces- og akkommodationsplatform, FF en kombineret proces- og wellheadplatform og FG et kompressormodul med tilhørende afbrændingstårn. Interessant for projektet er platformen Dan FF, hvor rørene kommer ind - markeret med rødt på Figur 4. (1)



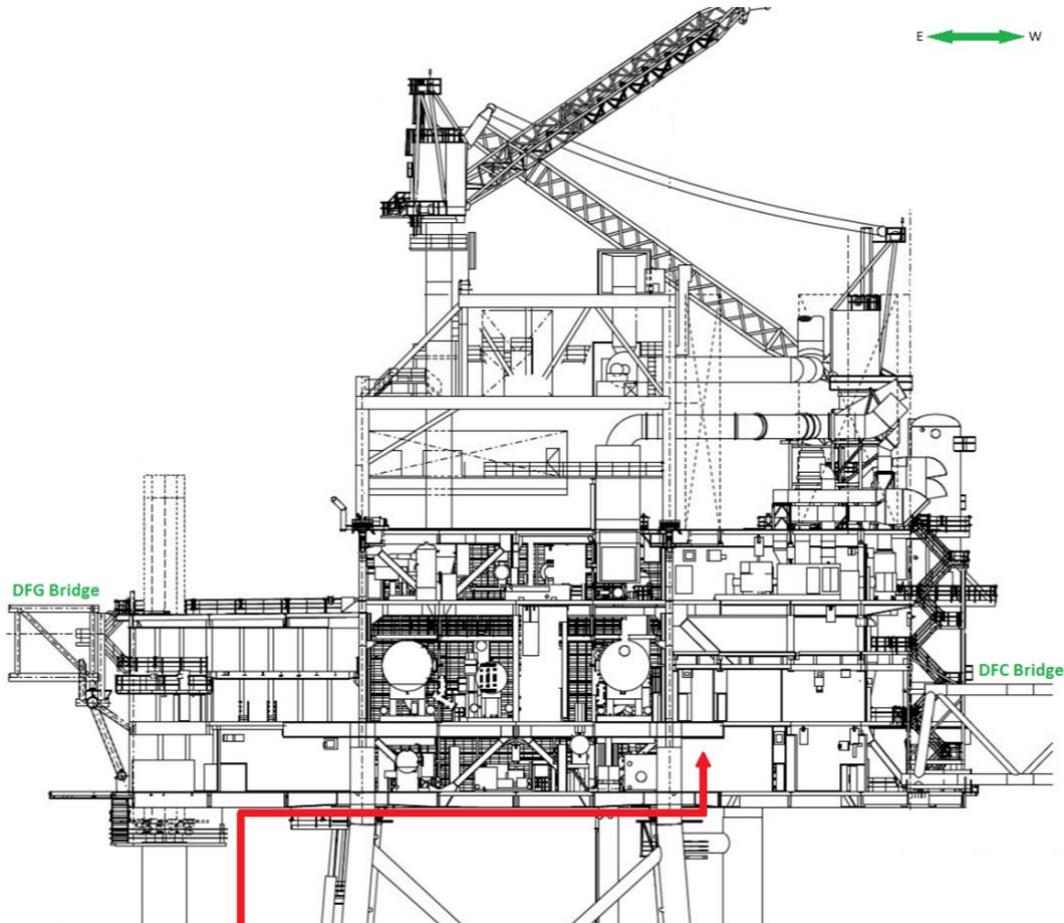
Figur 4 – Skitsering af Dan Feltet. Kombineret proces- og wellheadplatform Dan FF markeret med rød. (1)

Dan FF er en kombineret proces- og wellheadplatform. Den har i alt plads til 48 brøndehoveder (juletræer), procesudstyr i form af separations-, kompressions- og dehydreringsfaciliteter, stigefaciliteter til og fra Dan D, Halfdan og Kraka samt forbrugsudstyr i form af el-generation, vandinjektion, etc. (2 s. 12)



3.5 Rørføringen ombord

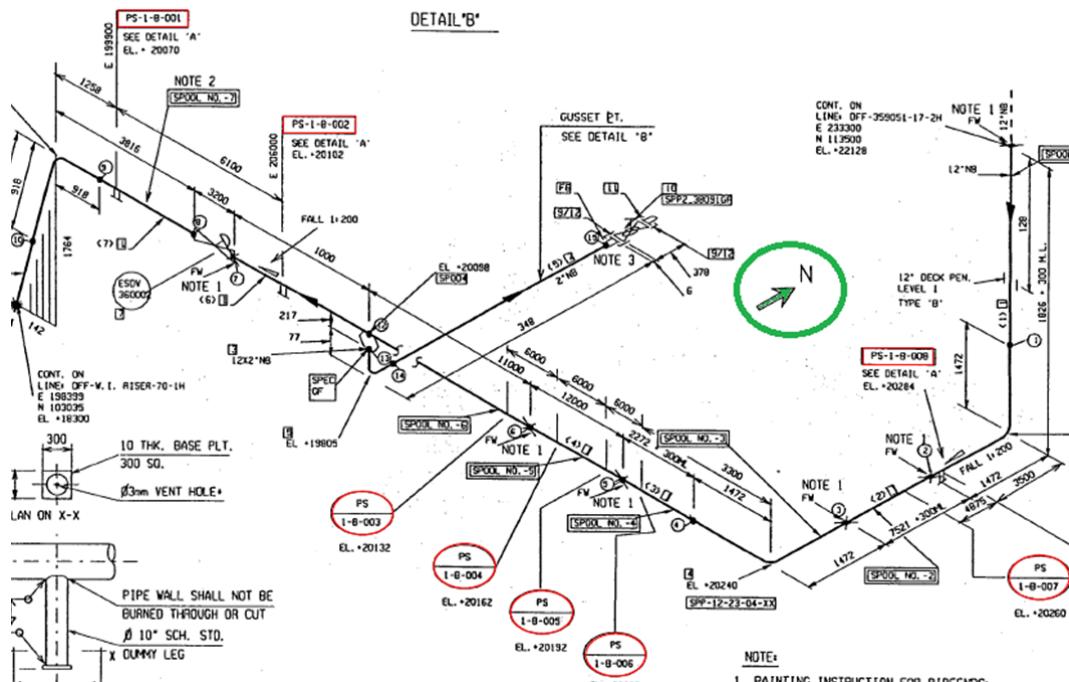
Dan FF er, som alle andre installationer, bygget op i dæk, hvorfra Cellar-Deck er det laveste. På Cellar-Deck findes omtalte rørføringer. Figur 5 viser en elevationsplan over Dan FF set fra sydsiden. Rørføringen er skitseret med rødt. Ved at sammenholde skitseringen med rør-isometrien på Figur 6 s. 10 gives en indikation af hvorledes rørføringen er ombord.



Figur 5 – Elevations plan over Dan FF, hvor rørføring er skitseret med rødt. Broerne til henholdsvis DFG og DFC markeret med grøn skrift.

Retningsanvisning indikeret med grøn pil i øverste højre hjørne. (3)

Denne del af rørføringen, fra rørene forlader caisson'en til de går igennem Cellar-Deck og videre op i processen, er omdrejningspunktet for projektet. Undervejs er rørene understøttet af i alt otte rørsupports – PS-1-B-001 til PS-1-B-008, som vist på Figur 6 s. 10.



Figur 6 – Udsnit af rør-isometrien for 12" WI – se bilag 2. Røde markeringer indikerer rørsupport og den grønne pil indikerer Nord.

Figur 7 til Figur 10 s. 11 giver et bedre indblik af, hvorledes rørføring og understøtninger ser ud i virkeligheden. Billederne er taget i forbindelse med inspektion for design af nye rørsupports.



Figur 7 – Rørene, hvor de forlader caisson'en og derefter fortsætter horisontalt ind under Cellar-Deck.

Perspektiv – Øst mod Vest.



Figur 8 – Rørene, hvor de fortsætter ind under Cellar-Deck.
Perspektiv – Vest mod Øst.



Figur 9 – De to rør under Cellar-Deck. Rørene er markeret med røde pile. Perspektiv – Øst mod Vest.



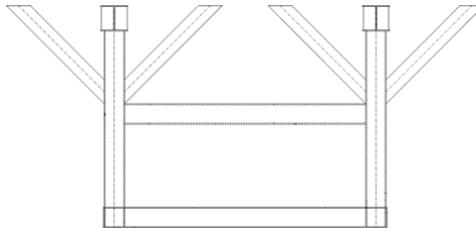
Figur 10 – De to rør, hvor de føres igennem Cellar-Deck og videre op i processen. Rørene er markeret med røde pile.
Perspektiv – Syd mod Nord.

3.5.1 Rørsupports'ene PS-1-B-001 til 008

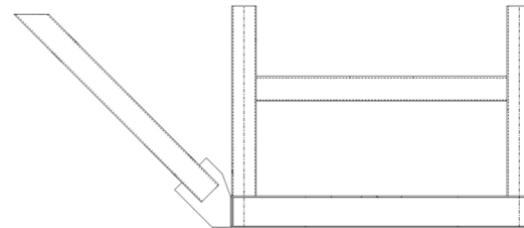
I projektet skelnes der mellem selve rørsupporten og rammen omkring rørsupporten, som forklaret på Figur 2 s. 5. Rørsupporten, den grønt skraverede del af Figur 2 s. 5, har ingen interesse i projektet, udover at den fastholder rørene og derved viderefører reaktioner fra rørene til rammen. Det skal noteres, at alle rørsupports fungerer som simple understøtninger. Rammen omkring rørsupporten er derimod interessant for projektet, skravert med blåt på Figur 2 s. 5. En overslagsberegning foretaget af en rådgivende ingeniørvirksomhed har vist, at rammerne ikke kan holde til bølgelasten.

Som nævnt er der i alt otte rørsupports, PS-01-B-001 til PS-01-B-008 og hermed også otte rammer. Rammerne er alle forskellige i deres dimensioner og nogle også i deres design. Rammernes forskellige design er skitseret på Figur 11 til Figur 14 s. 12.

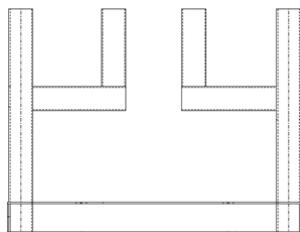
Fremadrettet i projektet anvendes betegnelsen PS-01-B-00X for rammen omkring rørsupporten fremfor selve rørsupporten.



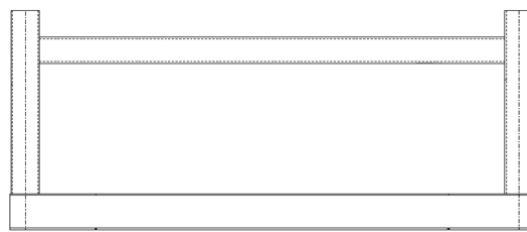
Figur 11 – Anvendt for PS-1-B-001. Bilag 3.



Figur 12 – Anvendt for PS-1-B-003 til PS-1-B-007. Bilag 3.

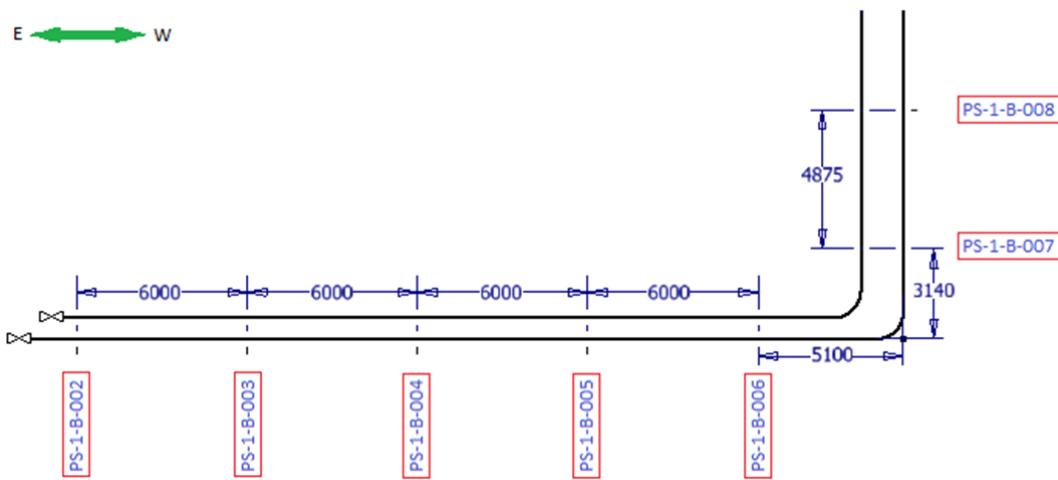


Figur 13 – Anvendt for PS-1-B-002. Bilag 3.



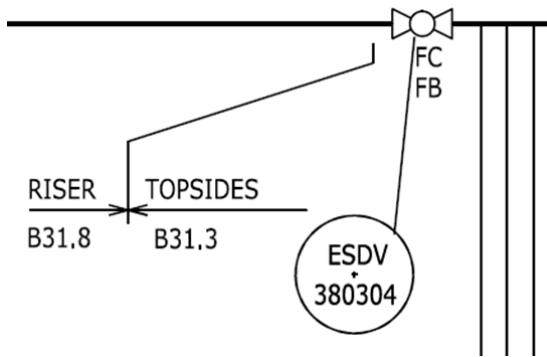
Figur 14 – Anvendt for PS-1-B-008. Bilag 3.

Rørsupports'ene er placeret som vist på Figur 15. ESDV'en er punktet, hvor røret definitionsmæssigt går fra at være et stigerør til et topside-rør. Ift. dimensionering skelnes der altid mellem rørtyperne. Stigerør dimensioneres efter ASME B31.8, hvor topside-rør dimensioneres efter ASME B31.3, som det ses på Figur 16.



Figur 15 – Placering af rørsupports langs rørstrækningen. Længder er opgivet i millimeter. Figuren er lavet ud fra rør-isometriene for rørene – vedlagt som bilag 2 og 4.

Da det kun er PS-1-B-001 der understøtter stigerør vælges der at se bort fra denne. Det betyder ikke, at en løsning ikke kan anvendes på PS-1-B-001 men det skal verificeres inden anvendelse.



Figur 16 – Udsnit af P&ID, hvor ESDV er indikeret. Komplette P&ID ligger som Bilag 9.

3.5.2 Rørene 12" WI og 12" PHS

Som tidligere beskrevet er der tale om rørene DFF-12"-WI-359051-API5LX65 og DFF-12"-PHS-389002-API5LX65. Tabel 1 beskriver kort tagnummereringen.

Tabel 1 – Beskrivelse af tagnummerering af linjer – dvs. rørforinger. Yderligere informationer kan indgå i tagnummerering men eftersom det ikke er tilfældet for disse, er det ikke medtaget. (4)

Felt kode	DF	Installation Dan F
Platform kode	F	Platform Dan FF
Linje størrelse	12"	12" rør
Produkt kode	WI / PHS	Water Injection / Højtryks brønd
System kode	35 / 38	Vand injektion / Grise sender/modtager
Sekvens nummer	9051 / 9002	N/A / N/A
Materiale kode	API5LX65	Karbonstål Flydespænding : 450MPa Brudspænding : 535MPa

Som en note til materialebeskrivelsen i Tabel 1 skal det nævnes, at der tages udgangspunkt i API5LX65 Type PSL1. Der findes også Type PSL2, som har en højere flyde- og brudspænding. Eftersom det ikke kan identificeres, hvilken af typerne der er anvendt, vælges typen med laveste spændingsgrænser af sikkerheds hensyn – dvs. Type PSL1.

Udover 12" WI og 12" PHS er rørene DFF-3"-OH-597005-AS og DFF-2"-OH-597004-ES også understøttet af rørsupports'ene PS-01-B-002 til PS-01-B-004. Rør-isometrierne er vedlagt som bilag 2, 4, 5 og 6. For at kunne analysere rammens kapacitet eller mangel på samme, er dødvægtslasterne for rørene og deres medier beregnet. Tabel 2 s. 14 opsummerer resultaterne.

Beregningerne findes i Appendiks A. Nedenstående er et eksempel på hvorledes dødvægtslasterne er beregnet.

Først beregnes dødvægtslasten for selve røret ud fra PEM, den maksimale længde mellem rørsupports'ene og tyngdeaccelerationen.

PEM_{WI} :	197,43	kg/m	- Plain End Mass for 12" WI rør	(5 s. 7)
l_{max} :	6000,00	mm	- Maksimal længde mellem rørsupports	(Bilag 2+3)
g :	9,81	m/s^2	- Tyngdeaccelerationen	

$$F_{WI,pipe} = PEM_{WI} * g * l_{max}$$

$$F_{WI,pipe} = 197,43 \frac{kg}{m} * 9,81 \frac{m}{s^2} * 6000,00 mm$$

Ligning 1

$$F_{WI,pipe} = 11617,76 N$$

Herefter beregnes dødvægtslasten for rørets medie ud fra rørets indre tværnitsareal, maksimal længde mellem rørsupports, mediets densitet og tyngdeaccelerationen.

D_{12}	: 323,80	mm	-	Udvendig diameter for 12" rør	(5 s. 7)
l_{max}	: 6000,00	mm	-	Maksimal længde mellem rørsupports	(Bilag 2+3)
t_{WI}	: 26,97	mm	-	Vægttykkelse for 12" WI	(5 s. 7)
ρ_{sea}	: 1028,00	kg/m ³	-	Densitet for havvand ved 0°C	(6 s. 123)
g	: 9,81	m/s ²	-	Tyngdeaccelerationen	

$$A_{WI.cross.in} = \left(\frac{D_{12} - 2 * t_{WI}}{2} \right)^2 * \pi$$

$$A_{WI.cross.in} = \left(\frac{323,80\text{mm} - 2 * 26,97\text{mm}}{2} \right)^2 * \pi$$

$$A_{WI.cross.in} = 57196,17\text{mm}^2$$

Ligning 2

$$m_{WI.media} = A_{WI.cross.in} * l_{max} * \rho_{sea}$$

$$m_{WI.media} = 57196,17\text{mm}^2 * 6000,00\text{mm} * 1028 \text{kg/m}^3$$

$$m_{WI.media} = 352,79\text{kg}$$

Ligning 3

$$F_{WI.media} = m_{WI.media} * g$$

$$F_{WI.media} = 352,79\text{kg} * 9,81 \text{m/s}^2$$

$$F_{WI.media} = 3459,65\text{N}$$

Ligning 4

Tabel 2 – Opsummering af dødvægtslaster. Gassen i 12" PHS er negligeret ift. masse, da den er ubetydelig lille. Beregningsdata fra Appendiks A.

12" WI	Rør	:	11,6	kN
	Medie	:	3,5	kN
12" PHS	Rør	:	9,7	kN
	Medie	:	Negligeret	
3" OH	Rør	:	0,4	kN
	Medie	:	0,3	kN
2" OH	Rør	:	0,3	kN
	Medie	:	0,1	kN



3.6 10.000års-bølgen

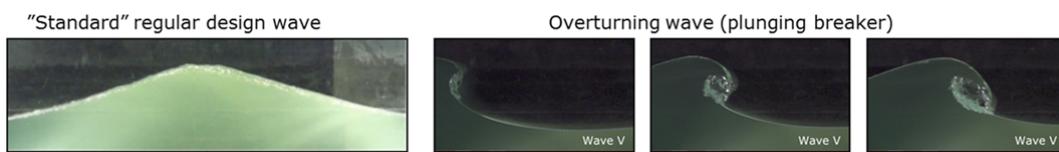
10.000års-bølgen er en teoretisk bølge. Det forventes, at der hvert 10.000. år vil opstå en bølge af væsentlig større dimensioner end normalt forventeligt. Derfor forventes bølgen maksimalt en gang i alle offshore installationers levetid. Offshore installationer skal derfor dimensioneres herefter.

DS449 blev tidligere anvendt ved dimensionering af offshore stålkonstruktioner. I dag dimensioneres der efter ISO19902. DS449 beskriver hvilke partikelhastigheder, der skal anvendes ved forskellige bølgetyper, hvilket ISO19902 ikke gør. Vurderingen af bølgelasten ligger derimod ved ejeren eller brugeren af offshore installationen – dvs. MOG. På baggrund af dette har MOG lavet designguiden "*MOG General Design and Reassessment Conditions – Environmental Design Data*", hvori bølgedata findes. Tabel 5.12 s. 25 i designguiden beskriver den vertikale og horisontale partikelhastighed, som man forventede hastighederne tidligere – henholdsvis 2m/s og 11m/s . Disse er direkte adopteret fra DS499, da dimensionering efter ISO19902 startede.

Designguiden er under revurdering – i særdeleshed ift. vejledende bølgedata.

Olie- og naturgasindustrien offshore har i alle tider arbejdet ud fra hypotesen om, at bølger ikke bryder på dybt vand. At bølger ikke bryder, er af meget stor vigtighed, da partikelhastigheden i en brydende bølge er væsentligt større end ved en ikke-brydende bølge. Forskellen mellem en brydende og ikke-brydende bølge er vist på Figur 17.

Indenfor de sidste år har hypotesen vist sig ikke at være faktuelt korrekt, da man f.eks. under stormen Bodil oplevede brydende bølger omkring installationerne på Nordsøen. En revurdering af bølgesituationen er derfor igangsat, hvor der laves nye retningslinjer for design af eksempelvis topside-struktur.



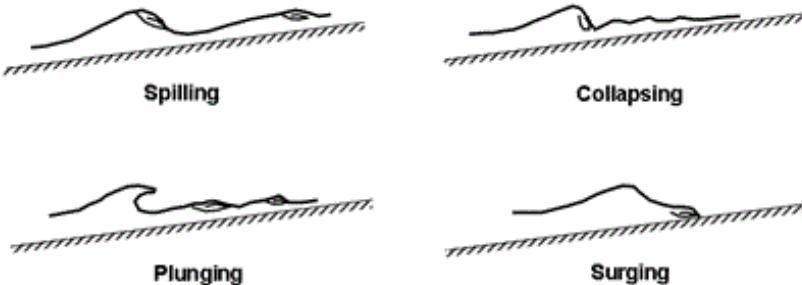
Figur 17 – Sammenligning af ikke-brydende bølge med brydende bølger. (7)

Da vurderingen ikke er færdiggjort, har det ikke været muligt at få nogen form for officiel dokumentation på bølgedataen. Det har dog været muligt at få udtalelser fra den afdeling, hvor revurdering laves. Udtalelserne er udvekslet via e-mail og er vedlagt som bilag 10.



Udover at bølgerne kan bryde, er det også konkluderet, at der kan forekomme **plunging**.

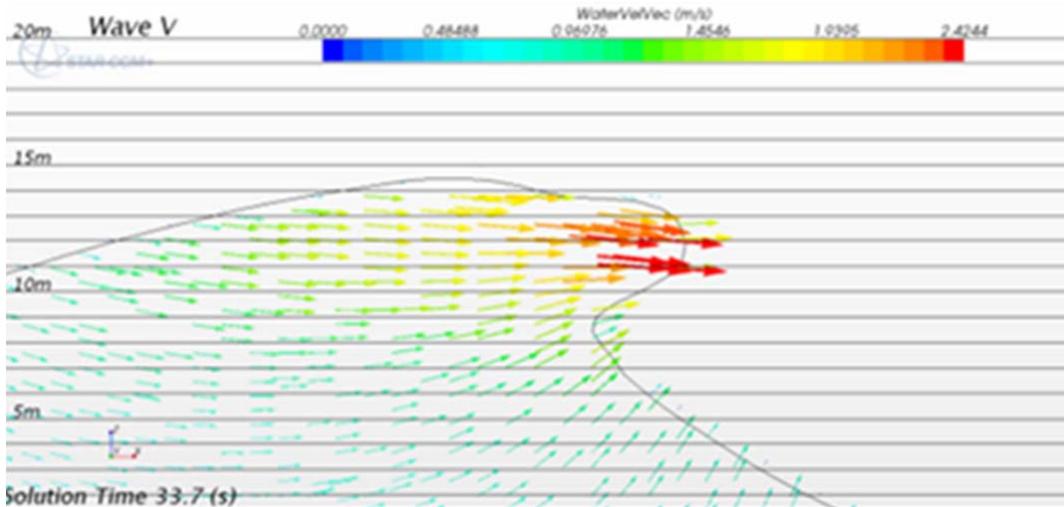
Plunging er det tidspunkt, hvor bølgen kammer over og styrtdykker. At **plunging** kan forekomme, er af stor vigtighed, da det er den form for brydende bølge, der opnår den højeste partikelhastighed. Figur 18 viser de forskellige typer af brydende bølger. (8)



Figur 18 – Typer af brydende bølger (8).

MOG har lavet en CFD analyse, som viser partikelhastigheder op imod 25m/s horisontalt, når bølgen bryder – se Figur 19. Det viser sig, at den højeste partikelhastighed ikke ligger i toppen af bølgen. Derimod ses, at partikelhastigheden i toppen af bølgen er omkring 80% af den højeste partikelhastighed, dvs. omkring 20m/s . Afdelingen hvor revurderingen laves anbefaler dog, at partielhastigheder op mod 6m/s vertikalt og 23m/s horisontalt anvendes.

Det skal noteres, at maksimal horisontal- og vertikal partikelhastighed ikke forekommer samtidig, hvorfor vertikal- og horisontal bølgelast analyseres hver for sig.



Figur 19 – CFD analyse - tid 33,7s. (7) Skalaen i toppen af figuren viser partikelhastigheden $\times 10^{-1}$. Det har ikke været muligt at fremskaffe figuren i bedre kvalitet.

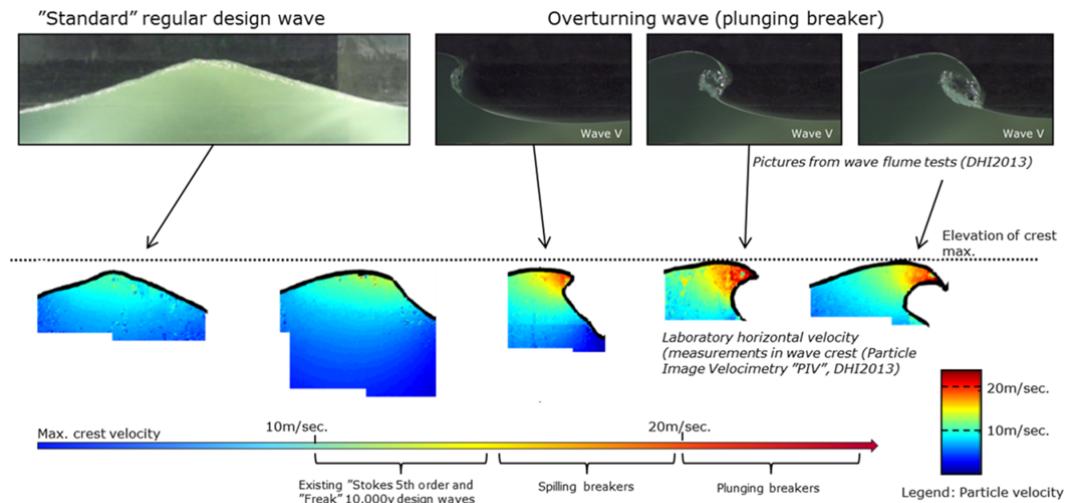
[Yderligere billeder fra CFD analysen findes i bilag 10.](#)

Figur 19 indikerer bølgehøjder omkring $15m$. Dette skal der ikke ligges værdi i, da det ikke har været fokus i denne CFD. I revurderingen af bølgedataene er det konkluderet, at bølgehøjderne kan være mindst $20m$.



ISO19902 definerer i afsnit 6.3.3.2, at hvis bølger kan komme i kontakt med det laveste dæk på platformen, skal alt, hvad der enten er under dækket eller er fastgjort på oversiden af dækket, dimensioneres ift. bølgelasten. Eftersom Cellar-Deck på Dan FF er 22m over havoverfladen, er det forventeligt, at bølgen kan ramme både rør og rammer.

Figur 20 viser en sammenligning af resultaterne fra CFD analysen og billederne af brydende og ikke-bryde bølger fra Figur 17 s. 15. På sammenligningen er det tydeliggjort, at plunging indeholder meget høje partikelhastigheder.



Figur 20 – Sammenligning mellem CFD analysen resultaterne og billeder af brydende og ikke-bryde bølger. (7)

3.6.1 Bølgens retning

Der er igennem tiden indsamlet retningsdata for større bølger på Nordsøen, hvilket viser at større bølger kommer fra henholdsvis SV, V, NV og N. (9 s. Appendix C)

Da retningerne udgør meget mere end 45°, specificeret som et maksimum i afsnit 9.4.2 i ISO19902, skal alle retninger tages i betragtning.

3.6.2 Bølgens effekt på rør og rammestruktur

Størrelsen på bølgens kinematiske energi måles i form af en partikelhastighed. En del af bølgens kinematiske energi afsættes i angrebsemnet, da der er friktion mellem emnet og havvandet, hvilket kaldes drageffekt. Dragkoefficienterne der skal anvendes for rør findes i designguiden "MOG General Jacket Design and Reassessment Conditions – Wave-in-Deck Loading". Designguiden specificerer ikke dragkoefficienter for kvadratiske objekter men henviser i stedet til DS449. Dragkoefficienterne er defineret i Tabel 3.

Tabel 3 – Dragkoefficienter. (10 s. 44) (11 s. 33)

Rør	Horisontalt	C _{d.hor} : 0,81
	Vertikalt	C _{d.ver} : 0,56
Rektangler	Generelt	C _{d.frame} : 1,55

På baggrund af partikelhastigheden og friktionskoefficienterne er det muligt, at finde bølgens linielaster på rør og ramme. Eftersom der er tale om en turbulent strømning, kan formlen for gnidning i væsker og luftarter anvendes – se Ligning 5.

$$q_d = \frac{1}{2} * C_d * D * \rho * v^2$$

Ligning 5 (12 s. 583)

q _d : Linielast	[N/m]
C _d : Dragkoefficient	
D : Angrebshøjde	[m]
ρ : Densitet	[kg/m ³]
v : Partikelhastighed	[m/s]

Ligning 6 er et eksempel på hvorledes linielasterne er beregnet.

C _{d.hor.pipe} : 0,81	-	Horisontal rørdragkoefficient	(10 s. 44)
D ₁₂ : 323,80 mm	-	Udvendig diameter for 12" rør	(5 s. 7)
ρ _{sea} : 1028,00 kg/m ³	-	Densitet for havvand ved 0°C	(6 s. 123)
v _{hor} : 23,00 m/s	-	Horisontal partikelhastighed	(7)

$$q_{d.12.h} = \frac{1}{2} * C_{d.hor.pipe} * D_{12} * \rho_{sea} * v_{hor}^2$$

$$q_{d.12.h} = \frac{1}{2} * 0,81 * 323,80 \text{mm} * 1028,00 \text{kg/m}^3 * 23,00 \text{m/s}$$

Ligning 6

$$q_{d.12.h} = 71314,96 \text{N/m}$$

I Appendiks B er draglasterne beregnet og resultaterne er opsummeret i Tabel 4. Draglasterne er beregnet med udgangspunkt i, at angrebsfladerne kun er bjælker af typerne SHS120x120x6,3 og HE160A. Der henvises til Bilag 3 for tegningsdata.

Tabel 4 – Opsummering af draglaster. Benævnelse "h" refererer til horisontal, som "v" refererer til vertikal. Beregninger i Appendiks B.

12" rør	$q_{d.12.h}$:	71,3	kN/m
	$q_{d.12.v}$:	3,4	kN/m
3" rør	$q_{d.3.h}$:	19,6	kN/m
	$q_{d.3.v}$:	0,9	kN/m
2" rør	$q_{d.2.h}$:	13,3	kN/m
	$q_{d.2.v}$:	0,6	kN/m
Ramme	$q_{d.h.SHS}$:	50,6	kN/m
	$q_{d.h.HEA}$:	64,1	kN/m
	$q_{d.v.HEA}$:	4,6	kN/m
	$q_{d.v.SHS}$:	3,4	kN/m

3.6.2.1 Rørenes reaktion på rammen

Da bølgen påvirker rørene med en linielast, påvirker rørene rammen med en reaktion igennem rørsupporten. Reaktionerne er beregnet i Appendiks B.

Ligning 7 er et eksempel på, hvorledes reaktionerne er beregnet

$q_{d.12.h}$:	71314,96	N/m	-	Horisontal linielast for 12" rør	(Ligning 6 s. 18)
l_{max}	:	6000,00	mm	-	Maksimal længde mellem rørsupports	(Bilag 2+3)

$R_{x.12} = q_{d.12.h} * l_{max}$	
$R_{x.12} = 71314,96 N/m * 6000,00 mm$	Ligning 7
$R_{x.12} = \underline{427889,77 N}$	

Tabel 5 – Opsummering af rørenes reaktionspåvirkning på ramme. Benævnelse "x" refererer til horisontal, som "y" refererer til vertikal.

12"	$R_{x.12}$:	427,9	kN
	$R_{y.12}$:	20,1	kN
3"	$R_{x.3}$:	117,5	kN
	$R_{y.3}$:	5,5	kN
2"	$R_{x.2}$:	79,7	kN
	$R_{y.2}$:	3,7	kN

Det skal noteres, at reaktioner er modsatrettet bølgeretningen.

3.7 Limit State Design

Ved dimensionering af stålkonstruktioner og i særdeleshed ved offshore konstruktioner anvendes en form for konsekvensklasser, som betegnes Limit States. Lasten som analyseres skal opfylde en række kriterier, alt efter hvilken grænsetilstand den hører ind under.

10.000års-bølgen betegnes som en "Freak Wave". Da det ikke blot er en ekstrem men også en unormal bølge falder den ind under grænsetilstanden Accidental Limit State (herefter ALS).

3.7.1 Accidental Limit State

ALS anvendes i tilfælde, der kan betegnes som uheld. F.eks. jordskælv, skibskollisioner eller ved en 10.000års-bølge. Filosofien bag ALS er, at hindre tab af menneskeliv, miljøforurening og tab af værdier ved uheld.

ALS definerer ingen ekstra krav til dimensionering, hvilket Ultimate Limit State eksempelvis gør ved at pålægge en sikkerhedsfaktor på minimum 1,2. Derfor kan dimensionering foretages "lige til kanten", da hensigten blot er, at konstruktion kan holde til ALS-tilstanden. (11 s. 54-60)

Nedenstående vurdering er gjort for at opfylde kravet om at hindre tab af menneskeliv, miljøforurening og tab af værdier;

Rammerne som indeholder rørsupports'ene, som igen understøtter rørene, er vitale for sikkerheden. Hvis rørene deformeres tilstrækkeligt, kan der forekomme udslip. Eftersom begge rør er under højt tryk, kan trykket ved udslip i sig selv forårsage tab af menneskeliv men tages mediet i 12" PHS i betragtning, kan et gasudslip have meget større konsekvenser – med risiko for tab af mange menneskeliv.

På baggrund af dette er det valgt, at bølgelasten ikke må forårsage plastisk deformation på hverken rør eller rammer. Der arbejdes derfor kun i det elastiske område af stålets styrke, hvorfor stålets flydespænding er dimensionsgivende.

3.8 Sikkerhedsovervejelser

Da rørene og rammerne har været installeret siden år 1999, er der tale om en ældre installation. Der kan derfor umiddelbart forventes tæring, skævheder, revner og lign., hvorfor det kan være relevant at indlægge en sikkerhedsfaktor.

I MOG er der meget stor fokus på tæring og der køres kontinuerligt malingskampagner, således rør og struktur ikke udsættes for tæring. Ligeledes køres der et probabilistisk inspektionsprogram med NDE ift. revnedannelse og lignende strukturelle beskadigelser.

Inspektionsprogrammet tager hånd om eventuelle problemer med det samme.

Sikkerhedsfaktorer anvendes derfor ikke i MOG i denne henseende, så længe der tales om konstruktioner, der ikke er i Splash-zonen. Var konstruktionerne i Splash-zonen, ville "corrosion-allowance" komme i spil, hvilket er en justering af vægttykkelse. Dvs. hvor meget der forventes at være korroderet væk i løbet af tiden.

Der er dog fokus på sikkerhed i projektet, da alle antagelser og valg foretages konservativt ift. sikkerhed. Nedenstående er eksempler på konservative valg foretaget i projektet.

3.8.1 Valg af dragkoefficienter

I afsnit **3.6.2 Bølgens effekt på rør og rammestruktur s. 18** er dragkoefficienterne, der iflg. MOG skal anvendes, beskrevet. MOG's koefficienter er meget konservative sammenlignet med de beskrevne koefficienter i fagbogen "Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences" (12). Hvor MOG for cylindre anviser 0,81 og 0,56 for henholdsvis horisontal- og vertikal bølgelast, anviser fagbogen 0,3 generelt for cylindre (12 s. 590). MOG har på den måde, indlagt sikkerhed i deres anviste koefficienter. Tages der udgangspunkt i den horisontale koefficient, svarer det til, at der er indlagt en sikkerhedsfaktor på 2,7.

3.8.2 Valg af partikelhastigheder

I afsnit **3.6 10.000års-bølgen s. 15** beskrives bølgens partikelhastighed i toppen af bølgen til $20^m/s$ horisontalt. På trods heraf anvendes partikelhastigheden $23^m/s$, da dette er anbefalet i den igangværende revurdering af 10.000års-bølgen. Valget medbringer ikke en stor sikkerhedsfaktor men det er dog en forøgelse med omkring 13%.

3.8.3 Valg af angrebsarealer

Der er også indlagt en form for sikkerhed i, at bjælker i ANSYS altid rammes af bølgen i deres fulde længde. Yderligere rammes alle bjælker og rør, på trods af at de i et vist omfang er skærmet af hinanden. Dette er også en meget konservativ betragtning, da bjælker og rør yder en eller anden form for afskærmning for hinanden om end ikke andet ved at reducere partikelhastigheden.

Hvor stor en sikkerhed dette bidrager med, er svært at definere.

3.8.4 Valg af dimensioneringsgrænse

Den sidste sikkerhedsfaktor i projektet er også ud fra et konservativt valg, nemlig definitionen på ALS. I afsnit **3.7.1 Accidental Limit State s. 20** vælges det, at plastisk deformation ikke er acceptabel. Dette er en meget konservativ betragtning, når der dimensioneres ift. ALS.

Havde plastisk deformation været accepteret, ville analysegrundlaget være meget anderledes. Eftersom at ALS er defineret ved hindring af tab af menneskeliv, miljøforurening og tab af værdier, er det et grundlæggende krav, at der ikke må forekomme lækage på rørene. På baggrund af dette skal det analyseres, hvor stor en last der skal til, for at en lækage på røret kan forekomme. Analysen vil med stor sandsynlighed udmunde i en maksimal deformation af rørene. Dernæst skal den maksimale deformation for rørene videreføres til deformation i rammerne. Dvs. at maksimal deformation bliver dimensionsgivende for rammerne men samtidig med fokus på ikke at overstige brudspændingen for materialet.

Samlet set er dette en væsentlig mere kompliceret analyse, som indeholder langt mindre sikkerhed end ved afgrænsning til elastisk deformation.

3.9 Lastanalyse

For at undersøge om rørene er understøttet tilstrækkeligt og hvorvidt rammerne kan holde til bølgelasten, er der i det følgende en opsummering af, hvilke laster der generelt forventes i dimensionering af offshore stålkonstruktioner.

DNV-RP-D101 §3.4 beskriver hvilke lasttyper, der skal overvejes. I Tabel 6 og Tabel 7 er de lasttyper, som er aktuelle for projektet, listet.

Det skal noteres, at vindlast normalt tages i betragtning men eftersom at vindlasten i dette tilfælde er meget mindre end bølgelasten, er den negligerbar.

Tabel 6 – Opsummering af vedvarende laster.

Dødvægt	12" WI	Rør : 11,6 kN	Tabel 2 s. 14
		Medie : 3,5 kN	
	12" PHS	Rør : 9,7 kN	
		Medie : 0	
	3" OH	Rør : 0,4 kN	
		Medie : 0,3 kN	
	2" OH	Rør : 0,3 kN	
		Medie : 0,1 kN	
	Internt tryk	12" WI : 358,5 bar	Bilag 7
		12" PHS : 147,7 bar	Bilag 8

Tabel 7 – Opsummering af periodiske laster.

Bølgelast	Linielast	12"	Horisontal : 71,3 kN/m	Tabel 4 s. 19
			Vertikal : 3,4 kN/m	
		3"	Horisontal : 19,6 kN/m	
			Vertikal : 0,9 kN/m	
		2"	Horisontal : 13,3 kN/m	
			Vertikal : 0,6 kN/m	
		Ramme	Horisontal SHS : 50,6 kN/m	
			Horisontal HEA : 64,1 kN/m	
			Vertikal HEA : 4,6 kN/m	
			Vertikal SHS : 3,4 kN/m	
			Horisontal : 427,9 kN	Tabel 5 s. 19
	Reaktion	12"	Vertikal : 20,1 kN	
		3"	Horisontal : 117,5 kN	
			Vertikal : 5,5 kN	
		2"	Horisontal : 79,7 kN	
			Vertikal : 3,7 kN	

3.10 Røranalyse

Røranalysen tager udgangspunkt i, at alle spændinger uden for det elastiske område ikke accepteres. Begge rør er af karbonstål af typen API5LX65 og det antages, at det er af undertypen PSL1, som har en flydespænding på $450 MPa$.

Analysen kontrollerer, hvorvidt hovedspændingerne overskrider flydespændingen. Ligeledes kontrolleres kombination af spændinger vha. Von Mise's flydehypotese – se Ligning 28 s. 34.

3.10.1 Spændingsbidrag fra trykrekjsning

Et trykrekjst rør beregnes som en trykbeholder. Trykbeholdere udsættes primært for tre typer af spændinger – ring-, aksial- og radialsprændinger.

Ligning 8 til Ligning 10 viser hvorledes disse beregnes.

$$\sigma_h = \frac{r_i^2 * P}{r_o^2 - r_i^2} * \left(1 + \frac{r_o^2}{r^2}\right)$$

Ligning 8 (13)

$$\sigma_a = \frac{r_i^2 * P}{r_o^2 - r_i^2}$$

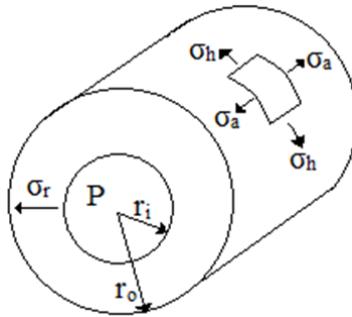
Ligning 9 (13)

$$\sigma_r = \frac{r_i^2 * P}{r_o^2 - r_i^2} * \left(1 - \frac{r_o^2}{r^2}\right)$$

Ligning 10 (13)

σ_h	:	Ringspænding	MPa
σ_a	:	Aksialspænding	MPa
σ_r	:	Radialsprænding	MPa
r	:	Radial variabel	mm
r_i	:	Indre radius	mm
r_o	:	Ydre radius	mm
P	:	Tryk	MPa

Figur 21 viser en illustration af retningerne for ovenstående spændinger samt en illustration af de anvendte beregningsparametre.



Figur 21 – Illustration af spændingerne forårsaget af internet tryk. (13)

Ligning 11 til Ligning 14 er et eksempel på beregning af ring-, aksial og radialsæmperne.

R_{12}	:	161,90	mm	-	Ydre radius af 12" rør	(5 s. 7)
r_{WI}	:	134,93	mm	-	Indre radius af 12" WI rør	(5 s. 7)
P_{WI}	:	35,85	MPa	-	Indre tryk i 12" WI rør	(Bilag 7)

Ringsæmpling for indersiden af 12" WI rør, som aftager igennem tværsnittet.

$$\sigma_{h.in.WI} = \frac{r_{WI}^2 * P_{WI}}{R_{12}^2 - r_{WI}^2} * \left(1 + \frac{R_{12}^2}{r_{WI}^2}\right)$$

$$\sigma_{h.in.WI} = \frac{(134,93\text{mm})^2 * 35,85\text{MPa}}{(161,90\text{mm})^2 - (134,93\text{mm})^2} * \left(1 + \frac{(161,90\text{mm})^2}{(134,93\text{mm})^2}\right)$$

$$\sigma_{h.in.WI} = \underline{198,91\text{MPa}}$$
Ligning 11

Ringsæmpling for ydersiden af 12" WI rør.

$$\sigma_{h.out.WI} = \frac{r_{WI}^2 * P_{WI}}{R_{12}^2 - r_{WI}^2} * \left(1 + \frac{R_{12}^2}{r_{WI}^2}\right)$$

$$\sigma_{h.out.WI} = \frac{(134,93\text{mm})^2 * 35,85\text{MPa}}{(161,90\text{mm})^2 - (134,93\text{mm})^2} * \left(1 + \frac{(161,90\text{mm})^2}{(161,90\text{mm})^2}\right)$$

$$\sigma_{h.out.WI} = \underline{163,06\text{MPa}}$$
Ligning 12

Aksialspænding for 12" WI rør, som er konstant gennem tværsnittet.

$$\sigma_{a.WI} = \frac{r_{WI}^2 * P_{WI}}{R_{12}^2 - r_{WI}^2}$$

$$\sigma_{a.WI} = \frac{(134,93\text{mm})^2 * 35,85\text{MPa}}{(161,90\text{mm})^2 - (134,93\text{mm})^2}$$

$$\sigma_{a.WI} = \underline{81,53\text{MPa}}$$
Ligning 13

Radialspænding for indersiden af 12" WI rør. Spændingen aftager gennem tværsnittet og er nul på ydersiden af røret.

$$\sigma_{r.in.WI} = \frac{r_{WI}^2 * P_{WI}}{R_{12}^2 - r_{WI}^2} * \left(1 - \frac{R_{12}^2}{r_{WI}^2}\right)$$

$$\sigma_{r.in.WI} = \frac{(134,93mm)^2 * 35,85MPa}{(161,90mm)^2 - (134,93mm)^2} * \left(1 - \frac{(161,90mm)^2}{(134,93mm)^2}\right)$$

$$\sigma_{r.in.WI} = \underline{-35,85MPa}$$

Ligning 14

Spændinger beregnet i Appendiks C er opsummeret i Tabel 8.

Tabel 8 – Opsummering af spændinger forårsaget af indre tryk.

12" WI			12" PHS		
$\sigma_{h.in}$:	198,9 MPa	$\sigma_{h.in}$:	100,7 MPa
$\sigma_{h.out}$:	163,1 MPa	$\sigma_{h.out}$:	86,0 MPa
σ_a	:	81,5 MPa	σ_a	:	43,0 MPa
$\sigma_{r.in}$:	-35,9 MPa	$\sigma_{r.in}$:	-14,8 MPa

3.10.1.1 Verifikation af håndberegninger

Afsnittet beskriver opsætningen af FE-analysen i ANSYS og hvordan resultaterne verificerer håndberegningerne.

FE-modellen er opsat med udgangspunkt i et rørstykke på 6m med lukkede ender. Enderne af røret er lukkede, da det trykreste rør udsættes for tilsvarende situation, hvis eksempelvis ESDV ventilen på linien lukkes. Yderligere er der taget udgangspunkt i 12" PHS røret med en vægtykkelse på 22,23mm.

Først er røret modelleret og derefter delt i fire ift. z-aksens tværsnit – se Figur 22 og Figur 23 s. 27. Det er valgt at dele røret, da det letter aflæsning af spændingsfordelingen efterfølgende.

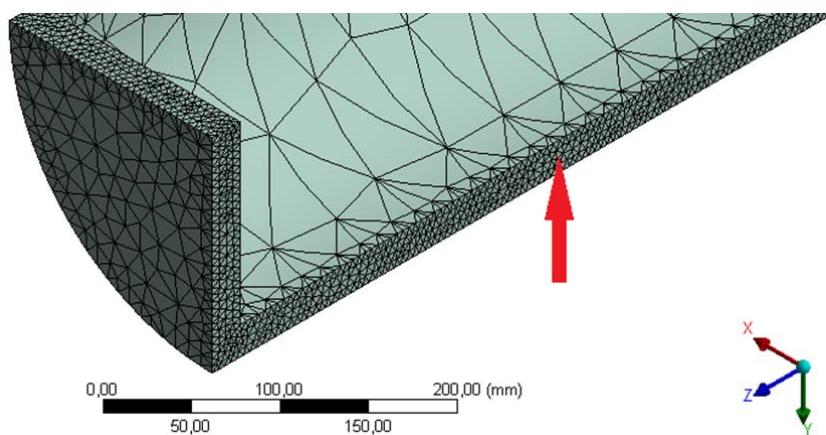


Figur 22 – Fuldt modeleret rør med deling ift. z-aksens
tværsnit.
Skærmbillede fra ANSYS.



Figur 23 – Udsnit af rør fuldt modellerede rør fra Figur 22.
Skærmbillede fra ANSYS.

Det færdigt modellerede rørudsnit er derefter tildelt et mesh. Hele analysegeometrien på nær randen af udsnittet, er automatisk tildelt et mesh af ANSYS. Meshet er finere på randen, da det er her ring- og radialspændinger findes - se Figur 24. Spændingerne varierer henover tværsnittet. Derfor er et finere mesh relevant. Meshet på randen er valgt til 5mm.



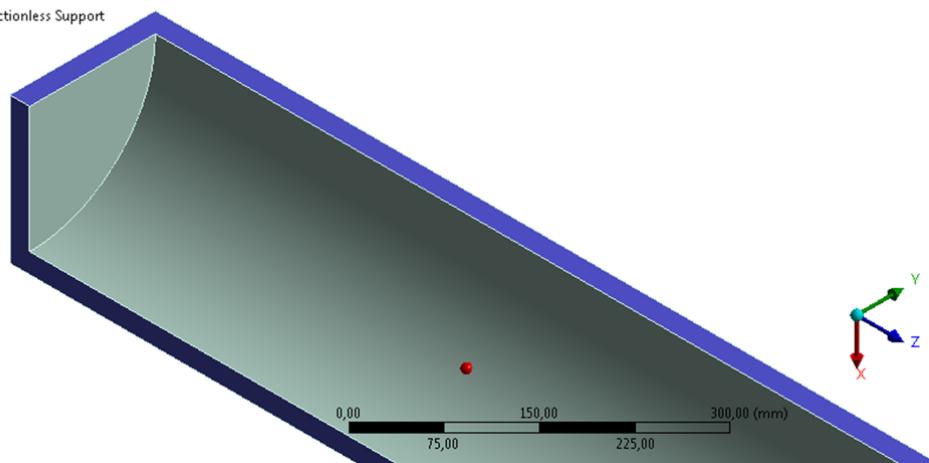
Figur 24 – Delvis afbildning af meshet på indersiden af rørudsnittet. Pilen markerer randen, hvor mesh er valgt manuel til 5mm.
Skærmbillede fra ANSYS.

Figur 25 viser understøtningen af røret i analysen – se de blå skraverede områder. Havde analysen været på det komplette rør uden udsnit, ville understøtning teoretisk set ikke være nødvendigt, da der er ligevægt. Men eftersom der er foretaget udsnit, er understøtning lavet således, at det afspejler virkeligheden bedst muligt. Dvs. en friktionsløs understøtning.

Figur 26 viser, hvorledes det interne tryk er påført i analysen. Da analysen er foretaget på 12" PHS rør, er der påsat $14,77 \text{ MPa}$, svarende til designtrykket på $147,7 \text{ bar}$.

A: Static Structural
Frictionless Support
Time: 1, s
15-11-2014 14:33

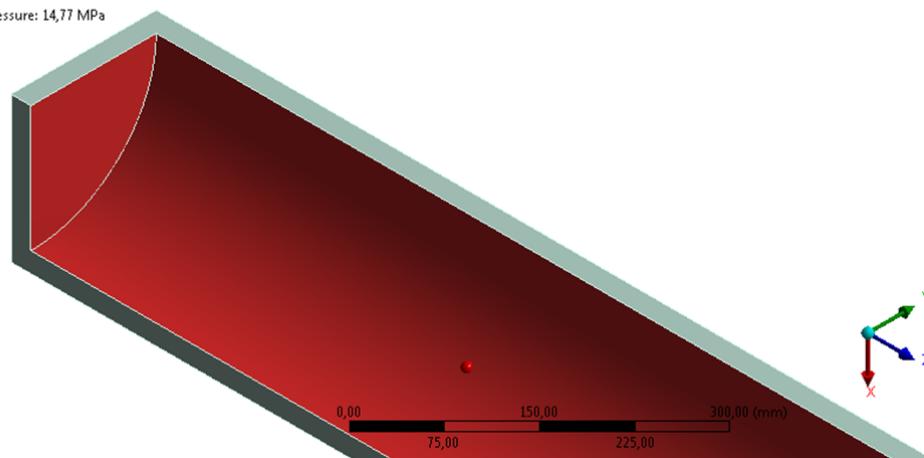
■ Frictionless Support



Figur 25 – Delvis afbildning af understøtningen på indersiden af rørudsnittet. Skærmbillede fra ANSYS.

A: Static Structural
Pressure
Time: 1, s
15-11-2014 14:34

■ Pressure: 14,77 MPa



Figur 26 - Delvis afbildning af det interne tryk på indersiden af rørudsnittet. Skærmbillede fra ANSYS.



3.10.1.1.1 Sammenligning af håndberegninger og FE-analyse

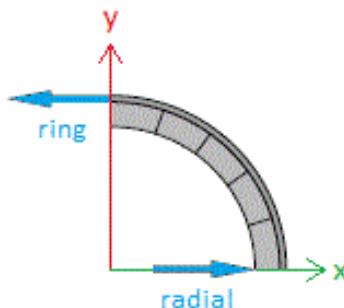
Det er valgt at aflæse 1. og 3. hovedspænding. Ring-, radial- og aksialspændingerne kan aflæses vha. 1. og 3. hovedspænding, hvis de aflæses de rigtige steder.

Ved aflæsning af ring- og radialspændinger ses der udelukkende på spændinger i x- eller y-retningen. I dette tilfælde vælges, at se på x-retningen.

Aflæses 1. hovedspænding hvor x-aksen skærer røret findes radialspændingerne.

Aflæses 1. hovedspænding hvor y-aksen skærer røret findes ringspændingerne.

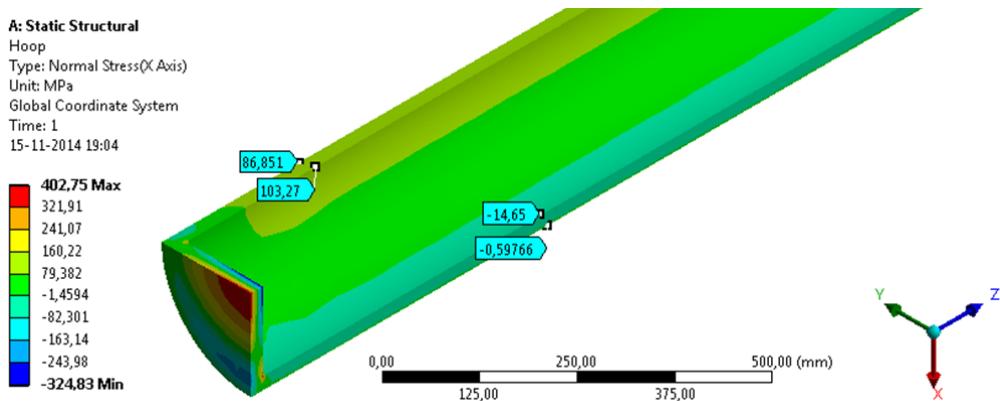
Aflæsningsmetoden beskrives bedst med Figur 27. De blå pile indikerer placeringen af radial- og ringspændingerne ift. 1. hovedspænding.



Figur 27 – Aflæsning af radial- og ringspænding vha. 1. hovedspænding. Skitsering viser rørudsnittet i længderetningen.

Som det ses på Figur 28, er radialspændingerne i ANSYS fundet til $-0,6 \text{ MPa}$ og $-14,65 \text{ MPa}$ for indre- og ydre radius. Håndberegningerne er henholdsvis 0 MPa og $-14,77 \text{ MPa}$.

Tilsvarende er ringspændingerne i ANSYS fundet til $86,85 \text{ MPa}$ og $103,27 \text{ MPa}$ for indre- og ydre radius. Håndberegningerne er henholdsvis $85,96 \text{ MPa}$ og $100,73 \text{ MPa}$.

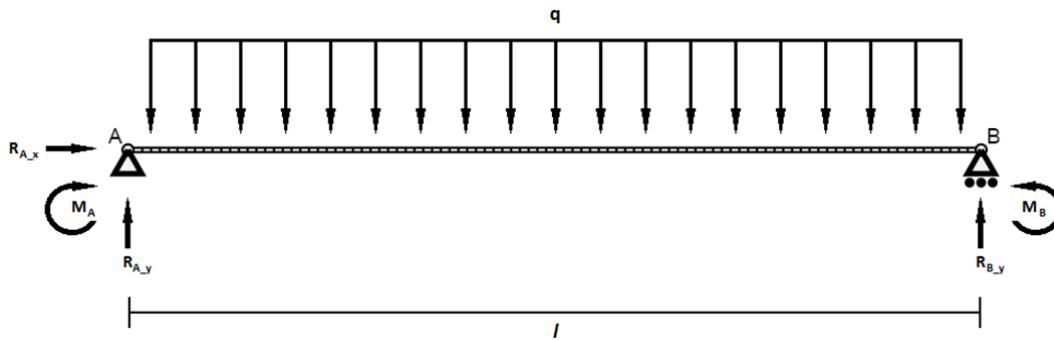


Figur 28 – Delvis afbildning af 1. hovedspændingernes forløb på indersiden af rørudsnittet. Prober mod højre indikerer indre- og ydre radialspændinger. Prober mod venstre indikerer indre- og ydre ringspændinger. Skærbillede fra ANSYS.

Aflæsningerne er foretaget vha. manuel indsættelse af prober. Nøjagtigheden i præcis at ramme indre- og ydre radius er derfor ikke god. Havde aflæsningen været mere nøjagtig, vurderes håndberegningerne og FE-analysen at være fuldstændig sammenlignelige.

3.10.2 Spændingsbidrag fra bøjning

Bølgelasten udsætter rørene for bøjning, hvilket giver et spændingsbidrag fra bøjningsmoment. Figur 29 er et FLD for rørene, hvor "A" og "B" indikerer understøtningerne i form af rørsupports. "q" indikerer linielasten i form af bølgen og "l" afstanden mellem rørsupports'ene. Ud for understøtningerne er reaktionerne og momenterne indikeret med betegnelserne "R" og "M".



Figur 29 – FLD for rørberegningen.

Bølgelasten horisontalt er størst og anvendes derfor i analysen af røret. Ligning 15 til Ligning 17 anvendes til bestemmelse af normalspænding ved bøjning, hvor beregningsparametrene er momentet M_{max} , inertimomentet I og flytningsbidraget z .

$$M_{max} = \frac{1}{8} * q * l^2$$

Ligning 15 (14 s. 101)

$$I = \frac{\pi}{64} * (D^4 - d^4)$$

Ligning 16 (15 s. 56)

$$\sigma_M = \frac{M_{max}}{I} * z$$

Ligning 17 (16 s. 34)

M_{max}	: Maksimalt moment	Nm
q	: Linielast	N/m
l	: Afstand mellem understøtninger	m
I	: Inertimoment	mm ⁴
D	: Ydre diameter	mm
d	: Indre diameter	mm
σ_M	: Normalspænding fra bøjningsmoment	MPa
z	: Flytningsbidrag	mm

Ligning 18 til Ligning 21 s. 32 er et eksempel på beregning af aksialspænding, forårsaget af bøjning.



$q_{d,12,h}$: 71314,96	N/m	-	Horisontal linielast på 12" rør	(Ligning 6 s. 18)
l_{max}	: 6000,00	mm	-	Maksimal længde mellem rørsupports	(Bilag 2+3)
D_{12}	: 323,80	mm	-	Udvendig diameter for 12" rør	(5 s. 7)
r_{WI}	: 134,93	mm	-	Indre radius af 12" WI rør	(5 s. 7)
R_{12}	: 161,90	mm	-	Ydre radius af 12" rør	(5 s. 7)

Først beregnes maksimal moment for 12" WI rør.

$$M_{b,max} = \frac{1}{8} * q_{d,12,h} * l_{max}^2$$

$$M_{b,max} = \frac{1}{8} * 71314,96 N/m * (6000,00 mm)^2$$

$$M_{b,max} = 320917,33 Nm$$

Ligning 18

Herefter beregnes bøjningsinertimomentet for 12" WI rør.

$$I_{WI} = \frac{\pi}{64} * (D_{12}^4 - (D_{12} - 2 * r_{WI})^4)$$

$$I_{WI} = \frac{\pi}{64} * ((323,80 mm)^4 - (323,80 mm - 2 * 134,93 mm)^4)$$

$$I_{WI} = 539191088,32 mm^4$$

Ligning 19

Sidst beregnes maksimal aksialspænding for 12" WI rør – på henholdsvis inder- og ydersiden af røret.

$$\sigma_{b,in,WI} = \frac{M_{b,max}}{I_{WI}} * r_{WI}$$

$$\sigma_{b,in,WI} = \frac{320917,33 Nm}{539191088,32 mm} * 134,93 mm$$

$$\sigma_{b,in,WI} = 80,31 MPa$$

Ligning 20

$$\sigma_{b,out,WI} = \frac{M_{b,max}}{I_{WI}} * R_{12}$$

$$\sigma_{b,out,WI} = \frac{320917,33 Nm}{539191088,32 mm} * 161,90 mm$$

$$\sigma_{b,out,WI} = 96,36 MPa$$

Ligning 21

Beregnede normalspændinger er opsummeret i Tabel 9. Beregninger findes i Appendiks C.

Tabel 9 - Opsummering af normalspændinger forårsaget af bøjning.

12" WI		12" PHS	
$\sigma_{b,in}$: 80,3 MPa	$\sigma_{b,in}$: 83,1 MPa
$\sigma_{b,out}$: 96,4 MPa	$\sigma_{b,out}$: 96,3 MPa

Det skal noteres, at der er set bort fra linielastens forskydningsspændingsbidrag, da forskydningsspændingen er nul i det punkt, hvor bøjningsspændingen er højest.

3.10.3 Kontrol af spændinger

I dette afsnit kontrolleres hoved- og Von Mise spændinger.

Kontrol af hovedspændinger sker ved summering af spændinger i hovedretningerne og kontrol af at de ikke overstiger flydespændingen for materialet.

Ligning 22 til Ligning 27 er et eksempel på kontrol af 12" WI rørs hovedspændinger ift.

flydespændingen.

$\sigma_{a.WI}$:	81,53	MPa	-	Aksialspænding fra indre tryk	(Ligning 13 s. 25)
$\sigma_{b.in.WI}$:	80,31	MPa	-	Indre aksialspænding fra bøjning	(Ligning 20 s. 32)
$\sigma_{b.out.WI}$:	96,36	MPa	-	Ydre aksialspænding fra bøjning	(Ligning 21 s. 32)
$\sigma_{h.in.WI}$:	198,91	MPa	-	Indre ringspænding fra indre tryk	(Ligning 11 s. 25)
$\sigma_{h.out.WI}$:	163,06	MPa	-	Ydre ringspænding fra indre tryk	(Ligning 12 s. 25)
$\sigma_{r.in.WI}$:	-35,85	MPa	-	Indre radialspænding fra indre tryk	(Ligning 14 s. 26)
f_y	:	450,00	MPa	-	Rørets flydespænding	(4)

1. hovedspændinger summeret og kontrolleret ift. flydespænding på henholdsvis inderside og yderside af røret.

$$\begin{aligned}\sigma_{x.in.WI} &= \sigma_{a.WI} + \sigma_{b.in.WI} \\ \sigma_{x.in.WI} &= 81,53 \text{ MPa} + 80,31 \text{ MPa} \\ \sigma_{x.in.WI} &= 161,84 \text{ MPa} \\ \sigma_{x.in.WI} &< f_y \\ 161,84 \text{ MPa} &< 450 \text{ MPa} \rightarrow \checkmark\end{aligned}$$

Ligning 22

$$\begin{aligned}\sigma_{x.out.WI} &= \sigma_{a.WI} + \sigma_{b.out.WI} \\ \sigma_{x.out.WI} &= 81,53 \text{ MPa} + 96,36 \text{ MPa} \\ \sigma_{x.out.WI} &= 177,89 \text{ MPa} \\ \sigma_{x.out.WI} &< f_y \\ 177,89 \text{ MPa} &< 450 \text{ MPa} \rightarrow \checkmark\end{aligned}$$

Ligning 23

2. hovedspændinger kontrolleret ift. flydespænding på henholdsvis inderside og yderside af røret.

$$\begin{aligned}\sigma_{y.in.WI} &= \sigma_{h.in.WI} \\ \sigma_{y.in.WI} &= 198,91 \text{ MPa} \\ \sigma_{y.in.WI} &< f_y \\ 198,91 \text{ MPa} &< 450 \text{ MPa} \rightarrow \checkmark\end{aligned}$$

Ligning 24

$$\begin{aligned}\sigma_{y,out,WI} &= \sigma_{h,out,WI} \\ \sigma_{y,out,WI} &= 163,06 MPa \\ \sigma_{y,out,WI} &< f_y \\ 163,06 MPa &< 450 MPa \rightarrow \checkmark\end{aligned}$$

Ligning 25

3. hovedspændinger kontrolleret ift. flydespænding på henholdsvis inderside og yderside af røret.

$$\begin{aligned}\sigma_{z,in,WI} &= \sigma_{r,in,WI} \\ \sigma_{z,in,WI} &= -35,85 MPa \\ \sigma_{z,in,WI} &< f_y \\ |-35,85| MPa &< 450 MPa \rightarrow \checkmark\end{aligned}$$

Ligning 26

$$\begin{aligned}\sigma_{z,out,WI} &= \sigma_{r,out,WI} \\ \sigma_{z,out,WI} &= 0 MPa \\ \sigma_{z,out,WI} &< f_y \\ 0 MPa &< 450 MPa \rightarrow \checkmark\end{aligned}$$

Ligning 27

Ingen af hovedspændingerne for 12" WI røret er højere end flydespændingen, hvilket også er tilfældet for 12" PHS røret. Beregninger ses i Appendiks C.

De kombinerede hovedspændinger kontrolleres vha. Von Mise's flydehypotese – se Ligning 28.

$$f_y > \sqrt{\frac{1}{2} * [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2] + 3 * (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}$$

Ligning 28 (16 s. 22)

f_y	:	Flydespænding	MPa
σ_x	:	1. Hovedspænding	MPa
σ_y	:	2. Hovedspænding	MPa
σ_z	:	3. Hovedspænding	MPa
τ_{xy}	:	Forskydningsspænding omkring z-aksen	MPa
τ_{yz}	:	Forskydningsspænding omkring x-aksen	MPa
τ_{zx}	:	Forskydningsspænding omkring y-aksen	MPa



Ligning 29 og Ligning 30 er et eksempel på kontrol af 12" WI røret ift. Von Mise spændinger.

f_y	:	450,00	MPa	-	Rørets flydespænding	(4)
$\sigma_{x.in.WI}$:	161,84	MPa	-	1. Hovedspænding, inderside af 12" WI rør	(Ligning 22 s. 33)
$\sigma_{x.out.WI}$:	177,89	MPa	-	1. Hovedspænding, yderside af 12" WI rør	(Ligning 23 s. 33)
$\sigma_{y.in.WI}$:	198,91	MPa	-	2. Hovedspænding, inderside af 12" WI rør	(Ligning 24 s. 33)
$\sigma_{y.out.WI}$:	163,06	MPa	-	2. Hovedspænding, yderside af 12" WI rør	(Ligning 25 s. 34)
$\sigma_{z.in.WI}$:	-35,85	MPa	-	3. Hovedspænding, inderside af 12" WI rør	(Ligning 26 s. 34)
$\sigma_{z.out.WI}$:	0,00	MPa	-	3. Hovedspænding, yderside af 12" WI rør	(Ligning 27 s. 34)
$\tau_{xy.WI}$:	0,00	MPa	-	Forskydningsspænding, xy-plan 12" WI rør	$\sigma_{b.max} \rightarrow \tau = 0$
$\tau_{yz.WI}$:	0,00	MPa	-	Forskydningsspænding, yz-plan 12" WI rør	$\sigma_{b.max} \rightarrow \tau = 0$
$\tau_{zx.WI}$:	0,00	MPa	-	Forskydningsspænding, zx-plan 12" WI rør	$\sigma_{b.max} \rightarrow \tau = 0$

$$f_y > \sqrt{\frac{1}{2} * [(\sigma_{x.in.WI} - \sigma_{y.in.WI})^2 + (\sigma_{y.in.WI} - \sigma_{z.in.WI})^2 + (\sigma_{z.in.WI} - \sigma_{x.in.WI})^2]}$$

$$f_y > \sqrt{\frac{1}{2} * [(161,84 - 198,91)^2 MPa + (198,91 + 35,85)^2 MPa + (-35,85 - 161,84)^2 MPa]}$$

Ligning 29

$$f_y > 218,60 MPa$$

$$450,00 MPa > 218,60 MPa \rightarrow \checkmark$$

$$f_y > \sqrt{\frac{1}{2} * [(\sigma_{x.out.WI} - \sigma_{y.out.WI})^2 + (\sigma_{y.out.WI} - \sigma_{z.out.WI})^2 + (\sigma_{z.out.WI} - \sigma_{x.out.WI})^2]}$$

$$f_y > \sqrt{\frac{1}{2} * [(177,89 - 163,06)^2 MPa + (163,06 - 0,00)^2 MPa + (0,00 - 177,89)^2 MPa]}$$

Ligning 30

$$f_y > 170,96 MPa$$

$$450,00 MPa > 170,96 MPa \rightarrow \checkmark$$

I Tabel 10 er Von Mise spændingerne opsummeret, som de er beregnet i Appendiks C. Ingen af Von Mise spændingerne overstiger flydespændingen.

Tabel 10 – Opsummering af Von Mise spændingerne.

12" WI			12" PHS				
$\sigma_{v.in}$:	218,60	MPa	$\sigma_{v.in}$:	130,04	MPa
$\sigma_{v.out}$:	170,96	MPa	$\sigma_{v.out}$:	135,52	MPa

3.10.4 Delkonklusion

Både 12" WI og 12" PHS røret kan uden yderligere understøtninger holde til bølgelasten.

Derfor er der ingen yderligere analyse af rørene og fra dette punkt i projektet anses de blot som dødvægt på rammerne.

3.11 Rammeanalyse

Inden initieringen af projektet er der af en rådgivende virksomhed foretaget overslagsberegning på rammerne. Det er nødvendigt at verificere resultaterne, da virksomheden har negligeret vigtige parametre som f.eks. dødvægt af rørene og deres medier. Disse er relevante, hvis en forbedring af eksisterende rammer skal løses.

I rammeanlysen ønskes det verificeret, hvorvidt rammen kan holde til bølgelasten. Da det ikke har været muligt at identificere rammematerialet på As-Built tegningerne, er der taget udgangspunkt i MOTS-31. Tabel 8.1.1-2 s. 10 i MOTS-31 beskriver minimumskravene ift. temperatur for det primære stål. Da rammerne er utsat for temperaturer under 0°C, skal materialet være af minimum stål type S2. I tabel 8.1.1-1 s. 8 er definitionen af ståltype S2 beskrevet ift. materialetykkelsen, hvilket i flere henseende er mindre en 16mm. Derfor er stålets flydespænding minimum 355MPa.

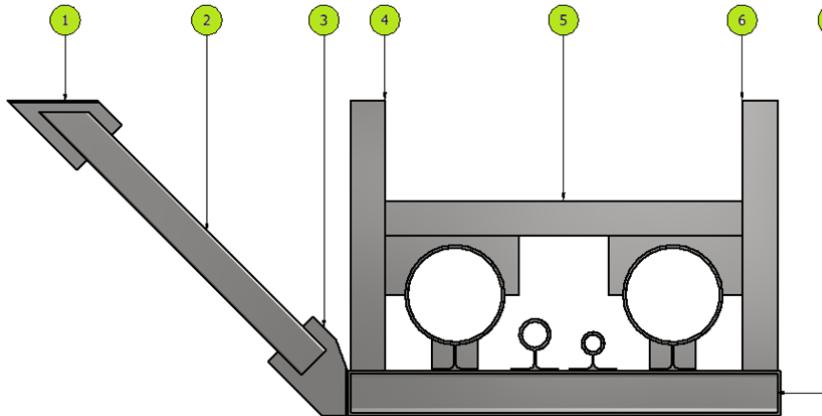
Rammen er en mere kompleks opbygning end rørene, hvorfor der udelukkende anvendes FEM for kontrol. Det er derfor verificeret, at måden hvorpå modellen er opsat i FE-værktøjet er korrekt.



3.11.1 Delelementanalyse for rammen

I dette afsnit gennemgås de enkelte delelementer i rammen. Hensigten er, at beskrive hvilke typer af profiler der arbejdes med. Yderligere navngives delelementerne for lettere reference fremadrettet i projektrapporten. Figur 30 viser delelementerne for rammen, hvor

Tabel 11 beskriver og navngiver delelementerne ift. projektet.

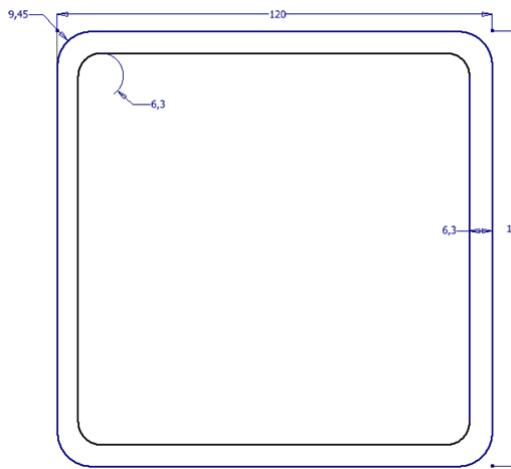


Figur 30 – Oversigtstegning for navngivning af delelementerne for rammen. Talreferencer til

Tabel 11.

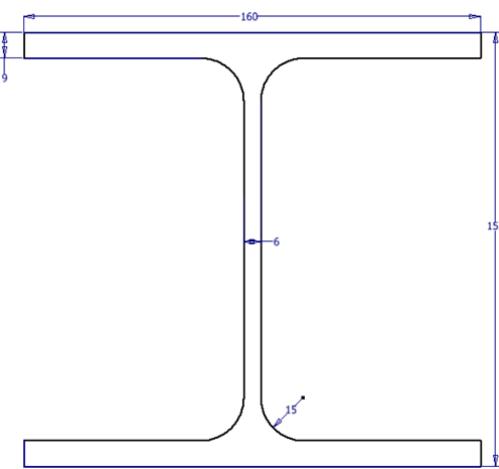
Tabel 11 – Oversigt over navngivning af delelementerne på Figur 30. Profiltypernes udformning er vist på Figur 31 og Figur 32.

1	30mm plade	Øverste indsvejsningsplade
2	SHS120x120x6,3mm	Skrå SHS bjælke
3	30mm plade	Nederste indsvejsningsplade
4	SHS120x120x6,3mm	Venstre vertikale SHS bjælke
5	SHS120x120x6,3mm	Horisontale SHS bjælke
6	SHS120x120x6,3mm	Højre vertikale SHS bjælke
7	HE160A	HEA Bjælke



Figur 31 – Udformningen af et SHS120x120x6,3 profil.

Dimensioner i mm. (14 s. 256)



Figur 32 – Udformningen af et HE160A profil. Dimensioner i

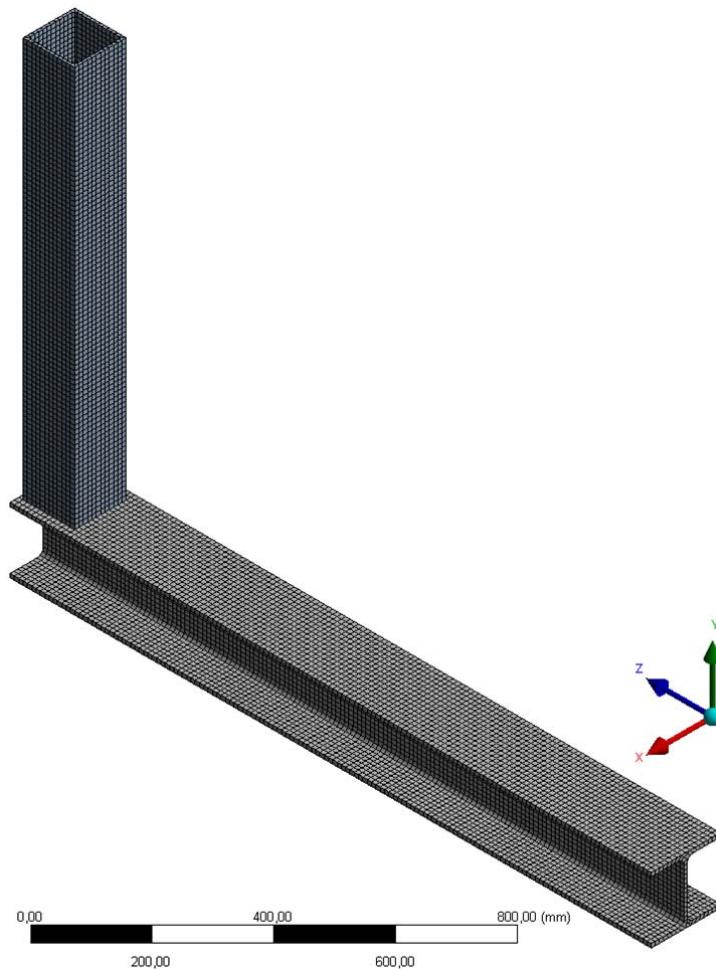
mm. (14 s. 239)

3.11.2 Verifikation af FE-værktøj

Inventor er anvendt for modellering, hvorefter analysen er foretaget i ANSYS.

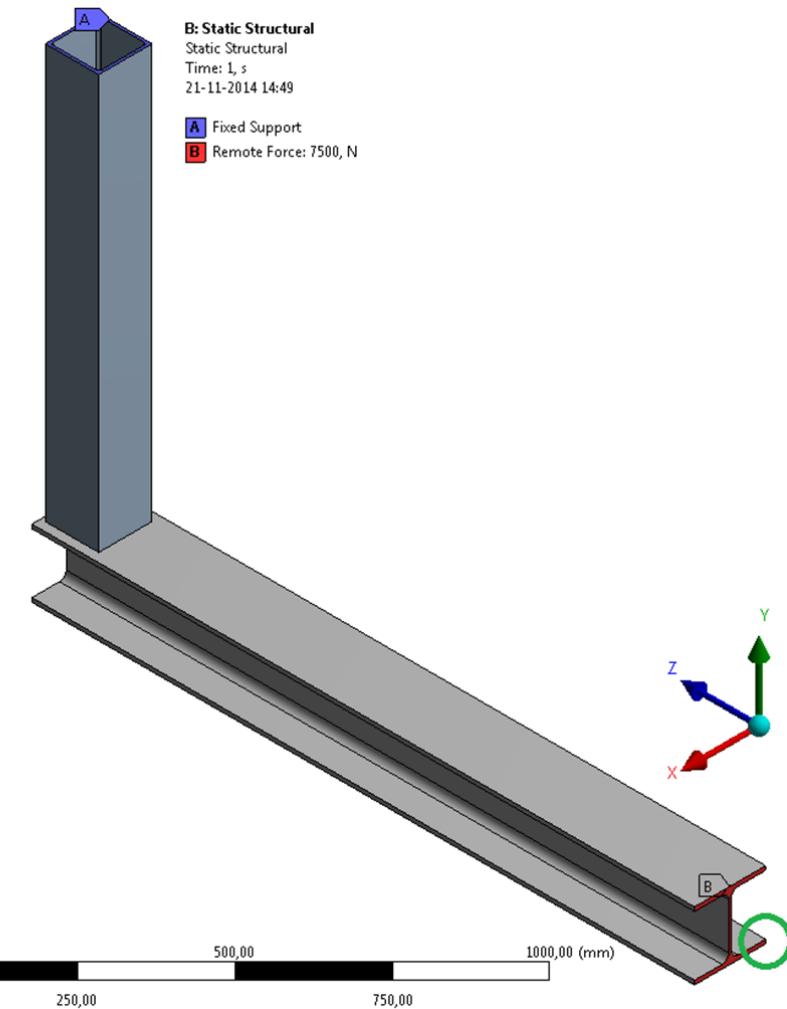
Den fulde geometri er eksporteret fra Inventor til ANSYS. I ANSYS er en del af geometrien valgt ift. verifikation. Figur 33 viser den del af geometrien der laves verifikation ift.

Alle delelementer af geometrien er lavet uden rundinger eller lignende for at simplificere modellen.



Figur 33 – Verifikationsmodel vist med mesh. Skærbillede fra ANSYS.

Figur 34 s. 39 viser understøtning og belastning af modellen. Blå markering (A) viser en "Fixed Support" på den blå flade – dvs. en fast indspænding af fladen. Rød markering (B) viser en "Remote Force" på den røde flade – dvs. en kraftpåvirkning på den røde flade, som påvirkes fra et defineret koordinatsæt. Kraften er placeret i koordinatsættet (80,152,0) med udgangspunkt i et koordinatsystem med origo som markeret med grøn ring på Figur 34 s. 39. Kraften er sat til 7500N positivt i z-retningen.

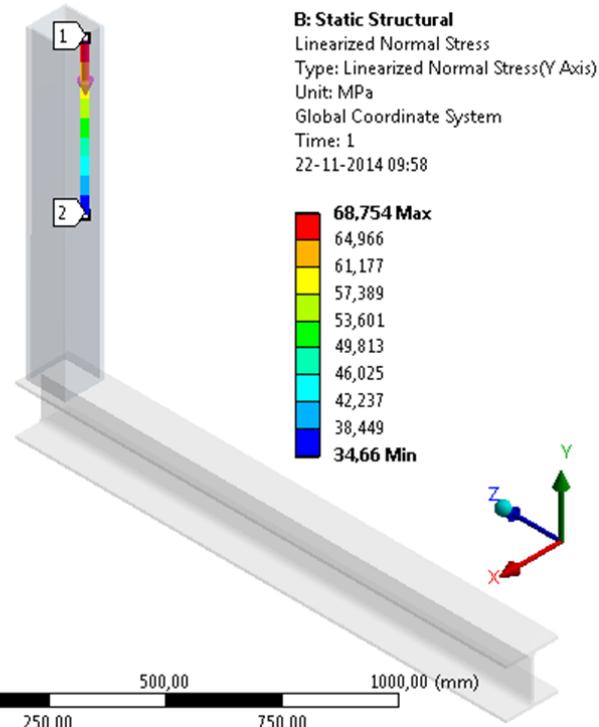


Figur 34 – Verifikationsmodel vist med understøtning og last. Grøn cirkel indikerer, hvor koordinatsystemet for placering af "Remote Force" origo er placeret. Skærbillede fra ANSYS.

ANSYS modellen på Figur 34 er direkte sammenlignelig med FLD'en på Figur 36 s. 41 – dvs. en udskrægt bjælke. FLD'en viser kun SHS bjælken, da HEA bjælken udelukkende viderefører kraften og derfor kun indeholder den tilsvarende normalkraft i hele dens længde. På baggrund heraf er det valgt at placere kraften midt på HEA bjælkens øverste flange, hvilket er indikeret på Figur 34. Placeringen svarer til, at SHS bjælken påvirkes i den fulde længde. Var kraften placeret anderledes på HEA bjælkens tværsnit, kunne det have resulteret i en større momentpåvirkning af den faste indspænding.

3.11.2.1 FE-analyse af verifikationsmodel

Spændingen beregnes i selve indspændingen samt i afstanden $l/2$ fra understøtningen. På den ene flade af SHS profilet er der lavet en path, som går fra indspændingen og 465mm ned langs bjælken, svarende til halvdelen af bjækelængden. Vha. pathen kan spændingen aflæses, præcis hvor det ønskes – dvs. direkte i indspændingen og på midten af bjælken.



Figur 35 – Verifikationsmodellen vist med spændingsvariation langs pathen. Skærmbillede fra ANSYS.

Figur 35 viser spændingsforløbet langs pathen. Eftersom pathen starter og slutter, i de ønskede målepunkter og spændingsudviklingen er lineær, kan spændingen i indspændingen og i afstanden $l/2$ fra understøtningen aflæses som henholdsvis maksimum og minimum - se Tabel 12.

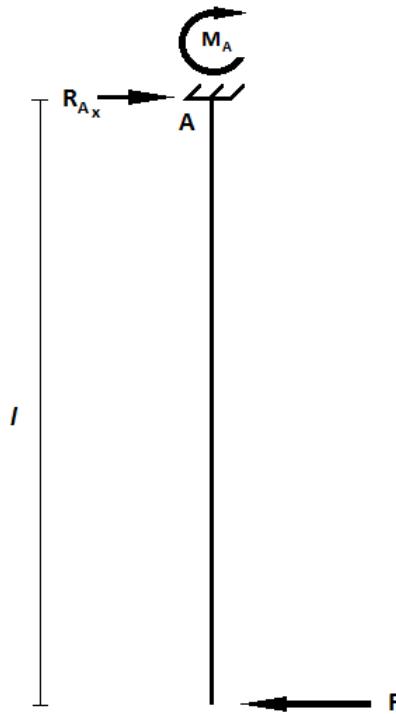
Tabel 12 – Opsummering af resultater fra verifikationsanalyse i ANSYS.

$\sigma_{A,ANSYS}$:	68,75	MPa	-	Spændingen i indspændingen
$\sigma_{middle,ANSYS}$:	34,66	MPa	-	Spændingen i afstanden $l/2$ fra indspændingen

3.11.2.2 Håndberegning af verifikationsmodel

I dette afsnit laves samme analyse som i afsnit **3.11.2.1 FE-analyse s. 40** vha. "håndberegning".

Beregningerne findes i Appendiks D og nedenstående er et eksempel på beregning af spændingen i afstanden $l/2$ fra understøtningen.



Figur 36 – FLD for verifikationsmodellen.

F	: 7500,00	N	-	Fiktiv last for indspændte bjælke
l_{SHS}	: 930,00	mm	-	Længden af SHS bjælken (Bilag 3)
w_{SHS}	: 120,00	mm	-	Bredden af SHS bjælkens tværsnit (Bilag 3)
h_{SHS}	: 120,00	mm	-	Højden af SHS bjælkens tværsnit (Bilag 3)
t_{SHS}	: 6,30	mm	-	Vægttykkelsen af SHS bjælkens tværsnit (Bilag 3)

Først beregnes momentet i længden $l/2$ fra understøtningen vha. vægtstangsprincippet.

$$M_{middle} = F * \frac{1}{2} * l_{SHS}$$

$$M_{middle} = 7500,00N * \frac{1}{2} * 930,00mm$$

Ligning 31

$$M_{middle} = 3487,50Nm$$

Dernæst beregnes bøjningsinertimomentet. I dette tilfælde ved at trække bøjningsinertimomentet for den indre rand af profilet fra bøjningsinertimomentet for den ydre rand af profilet.

$$I_{x,SHS} = \frac{1}{12} * w_{SHS} * h_{SHS}^3 - \frac{1}{12} * (w_{SHS} - 2 * t_{SHS}) * (h_{SHS} - 2 * t_{SHS})^3$$

$$I_{x,SHS} = \frac{1}{12} * 120,00mm * (120,00mm)^3 - \frac{1}{12} * (120,00 - 2 * 6,30)mm * (120,00mm - 2 * 6,30mm)^3$$

$$I_{x,SHS} = 6192442,65mm^4$$

Ligning 32 (17 s. 8)

Med momentet, bøjningsinertimomentet og afstanden fra tyngdepunktslinien beregnes normalspændingen fra bøjningspåvirkningen.

$$\sigma_{b,SHS.middle} = \frac{M_{middle}}{I_{x,SHS}} * \frac{w_{SHS}}{2}$$

$$\sigma_{b,SHS.middle} = \frac{3487,50Nm}{6192442,65mm^4} * \frac{120,00mm}{2}$$

$$\sigma_{b,SHS.middle} = 33,79MPa$$

Ligning 33

Tabel 13 opsummerer de håndberegnede spændinger for verifikationsanalysen.

Tabel 13 – Opsummering af resultater fra verifikationsanalyse ved håndberegning.

$\sigma_{p,SHS.A}$:	67,58	MPa	-	Spændingen i indspændingen
$\sigma_{b,SHS.middle}$:	33,79	MPa	-	Spændingen i afstanden $\frac{l}{2}$ fra indspændingen

3.11.2.3 Sammenligning FE-analyse og håndberegning

Da der udelukkende anvendes FEM for kontrol er det vigtigt at modelleringen foretages korrekt og at resultaterne heraf ikke afviger væsentligt fra håndberegningen. Derfor sammenlignes resultaterne fra analyserne ift. procentvis afvigelse. Nedenstående er et eksempel på en sammenligning.

$\sigma_{A,ANSYS}$:	68,75	MPa	-	I indspændingen – ANSYS	(Tabel 12 s. 40)
$\sigma_{b,SHS.A}$:	67,58	MPa	-	I indspændingen – Håndberegning	(Tabel 13)

$$S_A = \frac{\sigma_{A,ANSYS} - \sigma_{b,SHS.A}}{\sigma_{b,SHS.A}} * \%$$

$$S_A = \frac{68,75 \text{ MPa} - 67,58 \text{ MPa}}{67,58 \text{ MPa}} * \%$$

$$S_A = \underline{1,73\%}$$

Ligning 34

I Tabel 14 er de procentvise afigelser for analyserne opsummeret. 2,57% er den største afvigelse. Tages der udgangspunkt i almindeligt stål S235, udgør det omkring 6 MPa. Dette er en acceptabel fejlmargin og det er derfor ansvarligt at fortsætte analysen på de resterende dele af geometrien.

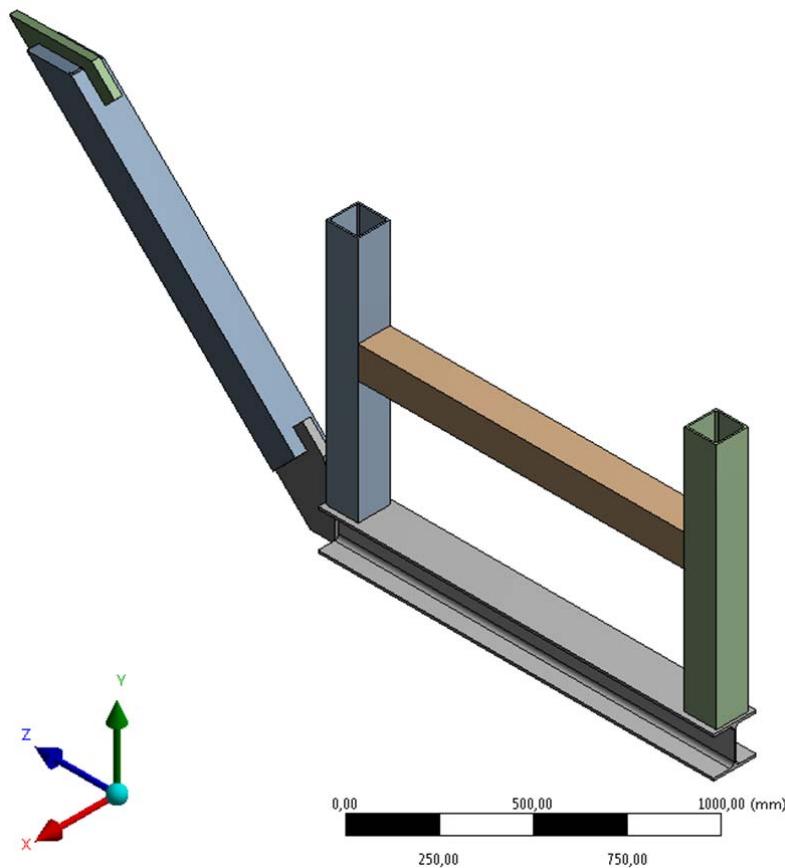
Tabel 14 – Opsummering af procentvisafvigelse mellem håndberegninger og ANSYS analyse.

S_A	:	1,73	%	-	I indspændingen
S_{middle}	:	2,57	%	-	I afstanden $l/2$ fra understøtningen

3.11.3 FE-model for rammen

Til kontrol af om rammerne kan holde til bølgelasten tages der udgangspunkt i ramme PS-1-B-003, da denne rammetype er den mest anvendte på strækningen. De resterende rammer adskiller sig ved enten ikke at have skråstiveren (blå) eller SHS bjælken horisontalt (brun) på tværs af hele rammen, hvilket ses på Figur 37. Derfor indebærer en løsning på afstivning af rammerne, at principippet fra PS-1-B-003 videreføres til de rammer, som afviger herfra.

PS-1-B-003 er valgt fremfor de andre af samme type, da det er den højeste – dvs. den med de længste vertikale SHS profiler, som også understøtter 2" OH og 3" OH rørene. Højden af rammen påvirker med en større momentarm og rørene påvirker med ekstra reaktioner på rammen. Derfor forventes den at være hårdest belastet.

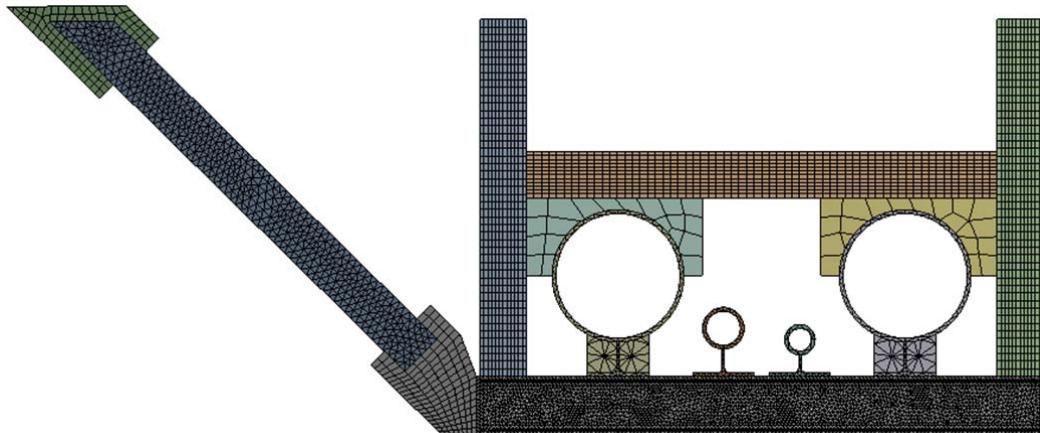


Figur 37 – Analysegeometrien vist uden rørsupport. Skærmbillede fra ANSYS.

Figur 37 viser analysegeometrien. Delelementerne som udgør rørsupports'ene, er skjult for overblikkets skyld. Rørsupports'ene fjernes ikke fra analyserne, da bølgelasten på rørene reagerer på rammen igennem rørsupporten. Yderligere påvirker rørsupports'ene rammen med dødvægt.

3.11.3.1 Rammens mesh

Analysegeometrien er på Figur 37 s. 44 vist med mesh, som er manuelt defineret til 20mm – se Figur 38. De resterende delelementer som udgør rørsupports'ene, er meshet automatisk af ANSYS. Spændingerne i delelementerne er ikke interessante. Derfor er det valgt ikke at anvende ekstra analysetid ved et finere mesh.

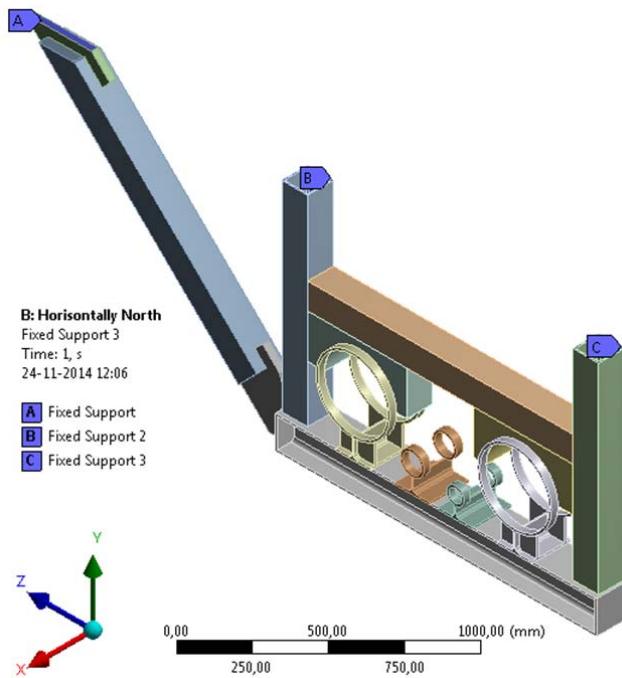


Figur 38 – Analysegeometrien fra Figur 37 s. 44 vist med mesh.

3.11.3.2 Rammens understøtninger

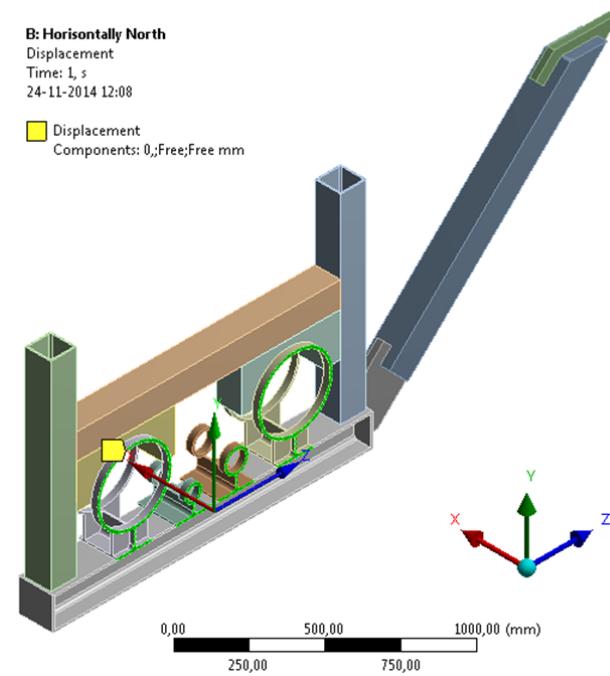
Alle understøtninger er faste indspændinger. Der er dog undervejs anvendt en flytningsbestemt understøtning, for at simulere den indvirkning rørenes stivhed har på rammen ved bølgelast i rørenes længderetning.

Figur 39 s. 46 viser, med blå markering, de tre faste indspændinger, som er generelle for alle analyserne på rammen.



Figur 39 – Analysegeometrien vist med generelle understøtninger – faste indspændinger. Skærbillede fra ANSYS.

Figur 40 viser, med grøn markering, de fire flytningsbestemte understøtninger, som kun er anvendt ved analyse af bølgeretningen fra syd mod nord. De er lavet således, at der hvor rørsupporten er spændt omkring røret, ikke kan bevæge sig i x-retningen, i længderetningen af røret.



Figur 40 – Analysegeometrien vist med flytningsbestemte understøtninger, som kun anvendes i analyse af bølgelast fra syd mod nord. Skærbillede fra ANSYS.

3.11.3.3 Rammens laster

På baggrund af linielasterne for SHS og HEA bjælkerne er størrelsen af de laster, som anvendes i analyserne beregnet – herefter benævnt analyselaster. Analyselasterne ses for vertikal og horizontal bølgelast i henholdsvis Tabel 15 og Tabel 16. Resterende analyselaster er i form af dødvægt og reaktioner fra rørene, som er beskrevet i afsnit **3.9 Lastanalyse s. 23.**

Tabel 15 – Opsummering af vertikale analyselaster. Beregninger i Appendiks B.

Skrå SHS bjælke	:	4474	N
Horisontal SHS bjælke	:	4233	N
HEA bjælke	:	6838	N

Tabel 16 - Opsummering af horisontale analyselaster. Beregninger i Appendiks B.

Skrå SHS bjælke	:	65747	N
Vertikale SHS bjælker	:	47034	N

Ift. analyselasterne er det valgt at være konservativ i den henseende, at bjælkerne rammes i deres fulde længde af bølgen. Eksempelvis rammer bølgen ikke mere end omkring 30% af den horisontale SHS bjælke men da der ikke tages højde for, hvorledes selve rørsupporten rammes, vælges der at tage den fulde længde af bjælkerne. Den konservative tilgang er mindst lige så kritisk, som hvis alle detaljer i rammen havde været medtaget.

3.11.3.3.1 Lastsituationer

Bølgeretningerne er beskrevet i afsnit **3.6.1 Bølgens retning s. 17.** Det er her konkluderet, at alle retninger skal tages i betragtning. Følgende situationer er derfor opstillet:

- Vertikal belastning
- Horizontal belastning – syd mod nord
- Horizontal belastning – vest mod øst
- Horizontal belastning – øst mod vest

”Nord mod syd” analyseres ikke, da den svarer til ”syd mod nord”.



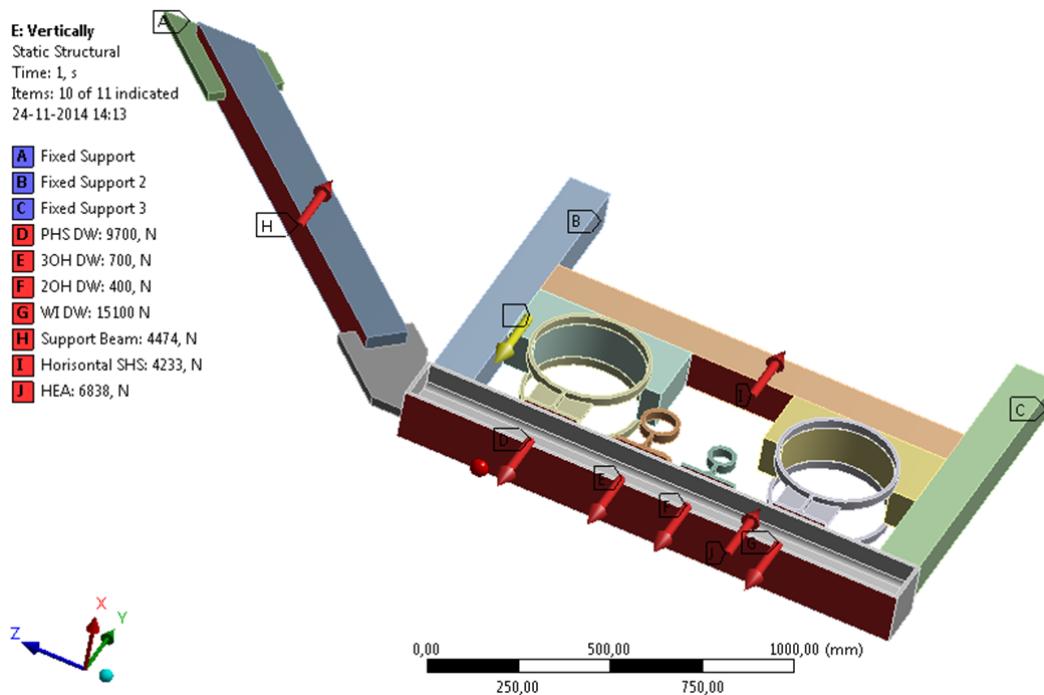
3.11.4 FE-analyse af rammen

Alle opstillede situationer er analyseret. I de følgende afsnit er der en beskrivelse af analyserne. Vha. figurer er der vist, hvorledes analyselasterne er påsat og resultaterne er listet i tabeller. I alle analyser er der analyseret på hovedspændingerne samt Von Mise spændingen for alle fem bjælker. For overskuelighedens skyld er der udelukkende valgt at liste kritiske spændinger. Alle spændinger findes i Appendiks under de respektive analyser.

3.11.4.1 Vertikal belastning

Analysen tager udgangspunkt i, at bølgen kun påvirker rammen vertikalt.

Rapportudskriften fra ANSYS findes i Appendiks F.



Figur 41 – Analyse geometrien vist med analyselaster. Skærmbillede fra ANSYS.

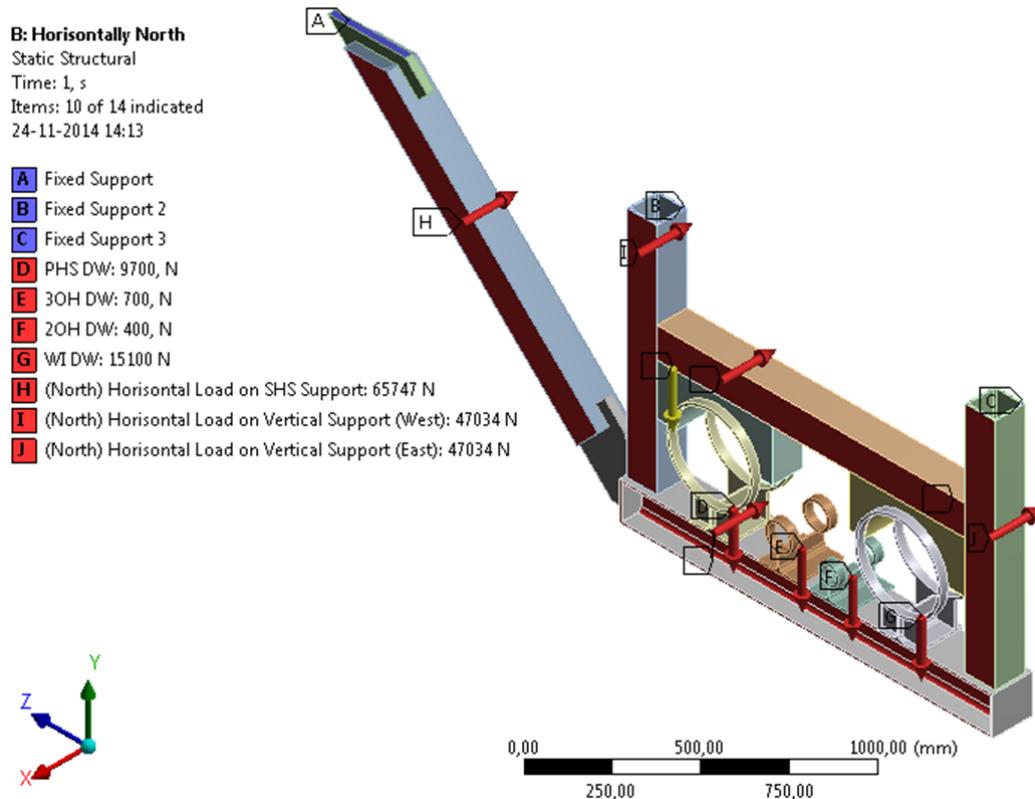
Den vertikale belastning af rammen er ikke kritisk, da den maksimale spænding for hele rammen er omkring 30 MPa . Der er derfor ikke lagt vægt på vertikal belastning fremadrettet i projektrapporten.



3.11.4.2 Horisontal belastning – syd mod nord

Analysen tager udgangspunkt i, at bølgen kun påvirker rammen horisontalt og at retningen er fra syd mod nord.

Rapportudskriften fra ANSYS findes i Appendiks G.



Figur 42 - Analysegeometrien vist med analyselaster. Skærbillede fra ANSYS.

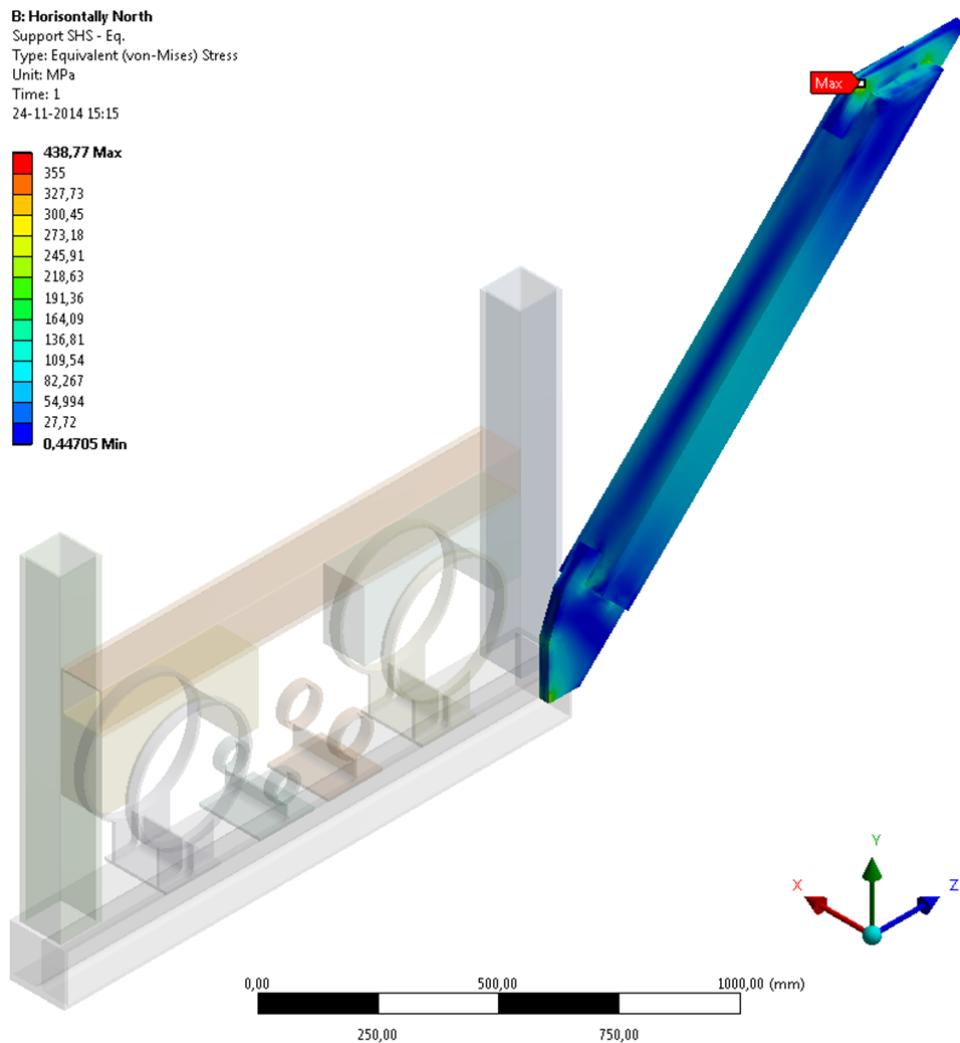
Tabel 17 – Opsummering af kritiske spændinger ift. horisontal belastning fra syd mod nord.

	Von Mise (MPa)	2. Hovedspænding (MPa)	3. Hovedspænding (MPa)
Skrå SHS	438,77	-645,99	
HEA	773,86		533,17

De kritiske spændinger listet i Tabel 17 er alle produkter af spændingssingulariteter (herefter singulariteter). Dette er konkluderet ved at påføre et finere mesh, hvorefter spændingerne i punkterne bliver endnu større.



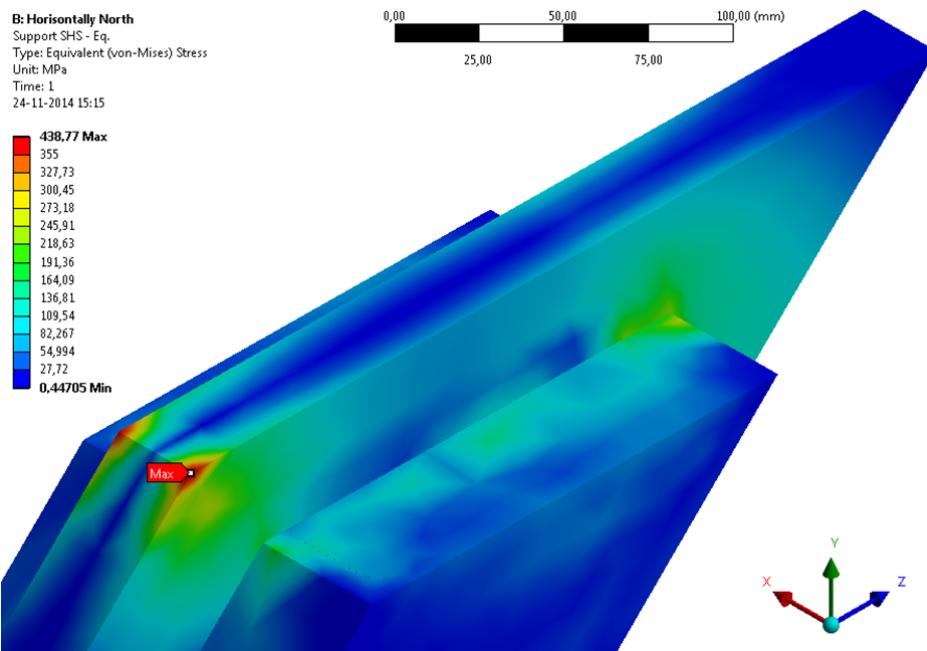
I det følgende er der et eksempel på, hvorledes singulariteter er håndteret i projektet ift. den skrøg SHS bjælke og dens Von Mise spænding. Figur 43 s. 50 viser spændingstilstanden for bjælken. Den røde label med ”Max” indikerer singulariteten.



Figur 43 – Spændingsforløb over skrøg SHS bjælke. Skærmbillede fra ANSYS.

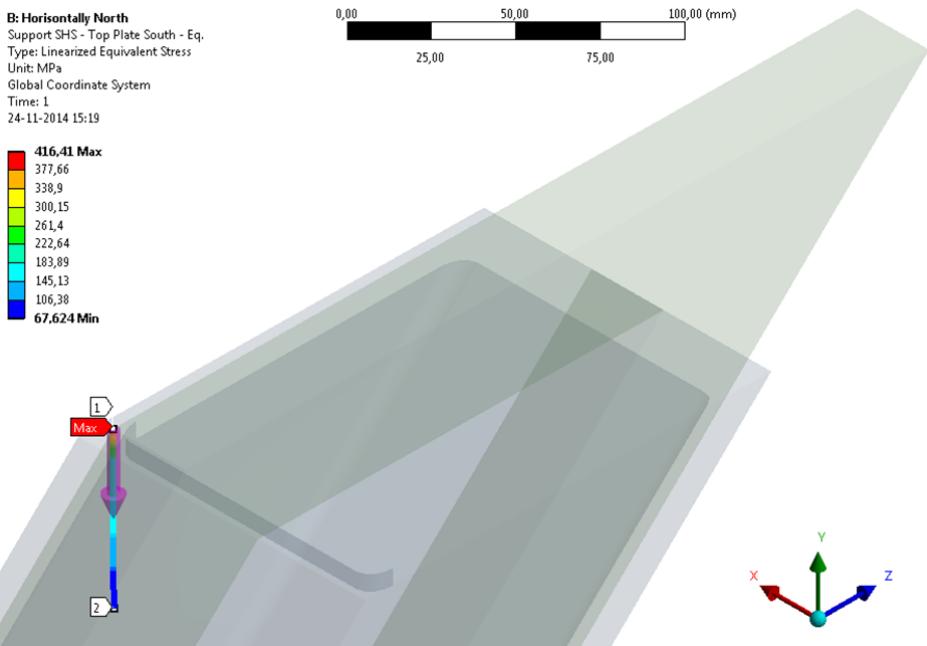


Figur 44 s. 51 viser mere specifikt singulariteten. Det skal noteres, at spændingerne umiddelbart omkring maksimum er lave, hvilket er endnu en indikation på, at det er en singularitet.

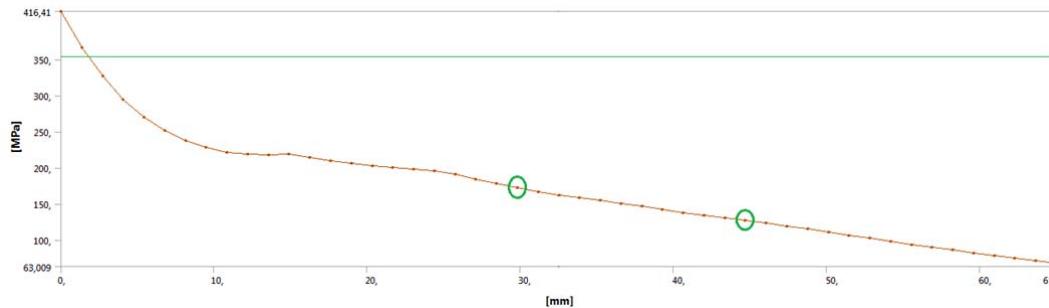


Figur 44 – Spændingsforløb over skrå SHS bjælke – zoom ift. Figur 43 s. 50. Skærmbillede fra ANSYS.

Figur 45 viser pathen der er indlagt på geometrien. Dette muliggør nøjagtige aflæsninger, da der udskrives tabulær data herfor – se Figur 46 s. 52.



Figur 45 – Spændingsforløb langs path på skrå SHS bjælke – zoom ift. Figur 43 s. 50. Skærmbillede fra ANSYS.



Figur 46 – Kurve over spændingsforløbet langs path på skrå SHS bjælke – horisontale grønne linje 355MPa. Set fra højre mod venstre er kurven er tilnærmedesvis lineær fra 65mm til 15mm, hvorefter den stiger eksponentielt, hvilket indikerer en singularitet.

Grønne cirkler indikerer aflæste punkter for linearisering af kurven.

Skærmbillede fra ANSYS.

Markerne på Figur 46 viser de data, der er valgt for Hot-Spot analyse. Dataene er listet i nedenstående:

x_1 :	29,79	mm	-	1. målepunkts x-koordinat	(Appendiks G)
x_2 :	44,69	mm	-	1. målepunkts y-koordinat	(Appendiks G)
y_1 :	171,93	MPa	-	2. målepunkts x-koordinat	(Appendiks G)
y_2 :	126,51	MPa	-	2. målepunkts y-koordinat	(Appendiks G)

Først beregnes hældningskoefficienten ud fra aflæste data.

$$a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$a = \frac{126,51 \text{ MPa} - 171,93 \text{ MPa}}{44,69 \text{ mm} - 29,79 \text{ mm}}$$

$$a = -3,05 \text{ MPa/mm}$$

Ligning 35

Derefter beregnes skæringsen med y-aksen, som i dette tilfælde er Hot-Spot spændingen, da ønskede værdi ligger i $x = 0$.

$$b = y_1 - a * x_1$$

$$b = 171,93 \text{ MPa} + 3,05 \text{ MPa/mm} * 29,79 \text{ mm}$$

$$b = 262,78 \text{ MPa}$$

Ligning 36

Samme fremgangsmåde er ligeledes anvendt for de resterende Hot-Spot spændinger. I Tabel 18 s. 53 er Hot-Spot spændingerne listet. Det ses, at alle spændinger er under 355 MPa.

I de følgende analyser er singulariteterne ikke vist eller beskrevet men deres Hot-Spot spænding fremgår i stedet. I de tilfælde hvor en Hot-Spot spænding er indsat i stedet for en singularitet, er det indikeret med symbolet ~ før værdien. Alle Hot-Spot analyser findes i Appendiks E.

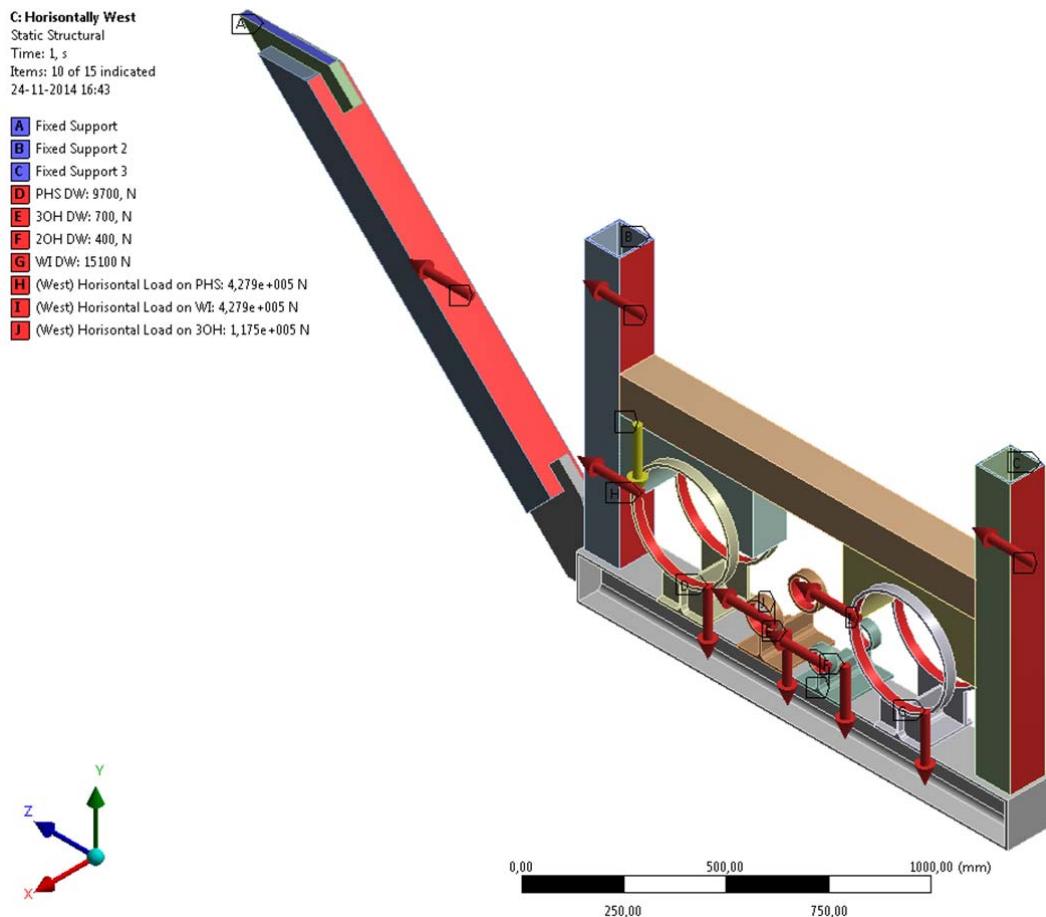
Tabel 18 – Opsummering af Hot-Spot spændinger ift. værdierne i Tabel 17 s. 49. ~ indikerer Hot-Spot spændinger.

	Von Mise (MPa)	2. Hovedspænding (MPa)	3. Hovedspænding (MPa)
Skrå SHS	~262,78	~ - 250,03	
HEA	~274,43		~283,81

3.11.4.3 Horisontal belastning - øst mod vest

Analysen tager udgangspunkt i, at bølgens retning er fra øst mod vest.

Rapportudskriften fra ANSYS findes i Appendiks H.



Figur 47 - Analysegeometrien vist med analyselaster. Skærmbillede fra ANSYS.

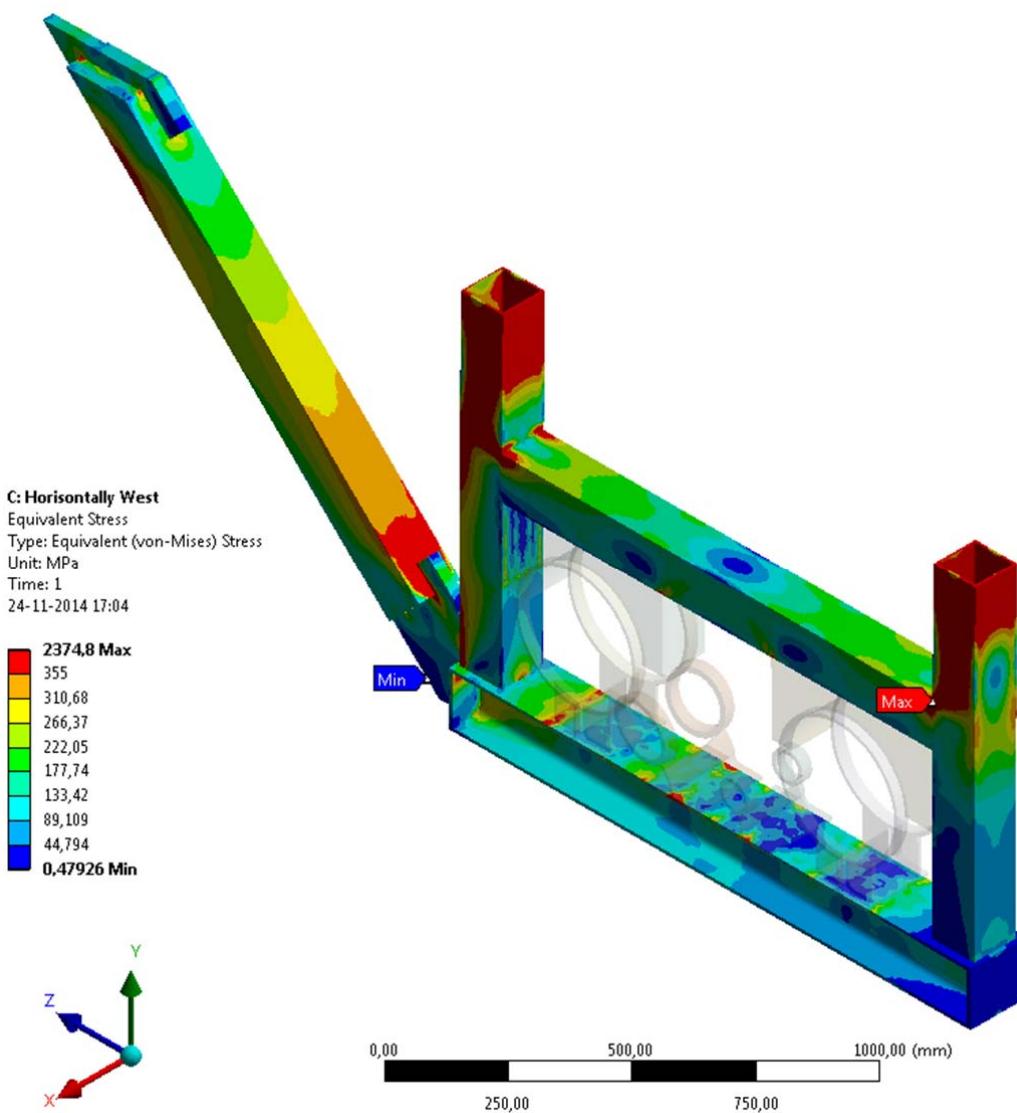
Tabel 19 – Opsummering af kritiske spændinger ift. horisontal belastning fra øst mod vest.

	Von Mise (MPa)	1. Hovedspænding (MPa)	2. Hovedspænding (MPa)	3. Hovedspænding (MPa)
Skrå SHS	1023,80	-549,27	-751,95	-911,46
Vertikal SHS (Vest)	1589,40	545,15	1963,90	-1047,9
Vertikal SHS (Øst)	1403,80	485,72	1740,40	1054,10
Horisontal SHS	2374,80	355,70	690,83	2292,40
HEA	869,83	-504,55	502,16	-806,82

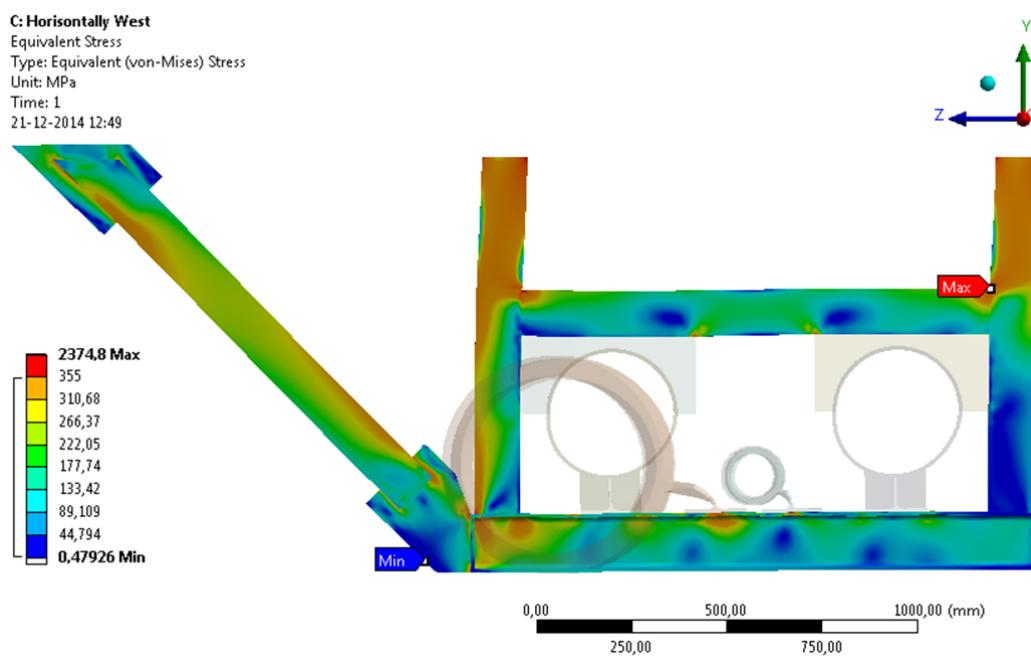
Tabel 19 viser, at rammen er meget hårdt belastet. Hovedparten af tabellens værdier er singulariteter. Betragtes Von Mise spændingen på Figur 48 s. 55, er det tydeligt, at den skrå SHS bjælke og de vertikale SHS bjælker er overbelastet. Derfor er det valgt ikke at lave Hot-

Spot analyser herpå, da rammen under alle omstændigheder skal understøttes yderligere for at holde til bølgelasten.

Det skal noteres, at de vertikale SHS bjælker udsættes for træk, mens den skrå SHS bjælke udsættes for tryk - se deformationsfigur på Figur 49 s. 56.



Figur 48 – Von Mise spændinger for analysen på Figur 47 s. 54. Skærmbillede fra ANSYS.

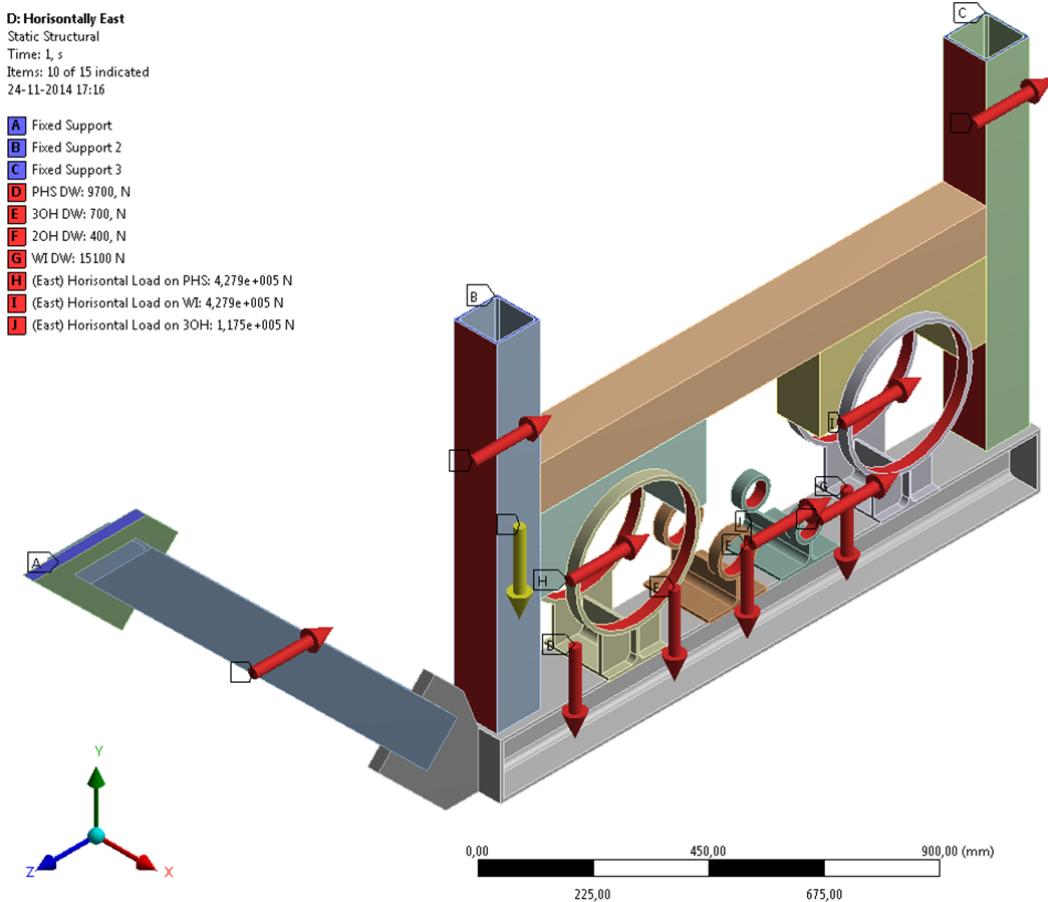


Figur 49 – Deformationsfigur for analysen på Figur 47 s. 54. Det skal noteres, at dette ikke er den reelle deformationsfigur men hvor deformationerne er ganget med 5. Skærbillede fra ANSYS

3.11.4.4 Horisontal belastning – vest mod øst

Analysen tager udgangspunkt i, at bølgens retning er fra vest mod øst.

Rapportudskriften fra ANSYS findes i Appendiks I.

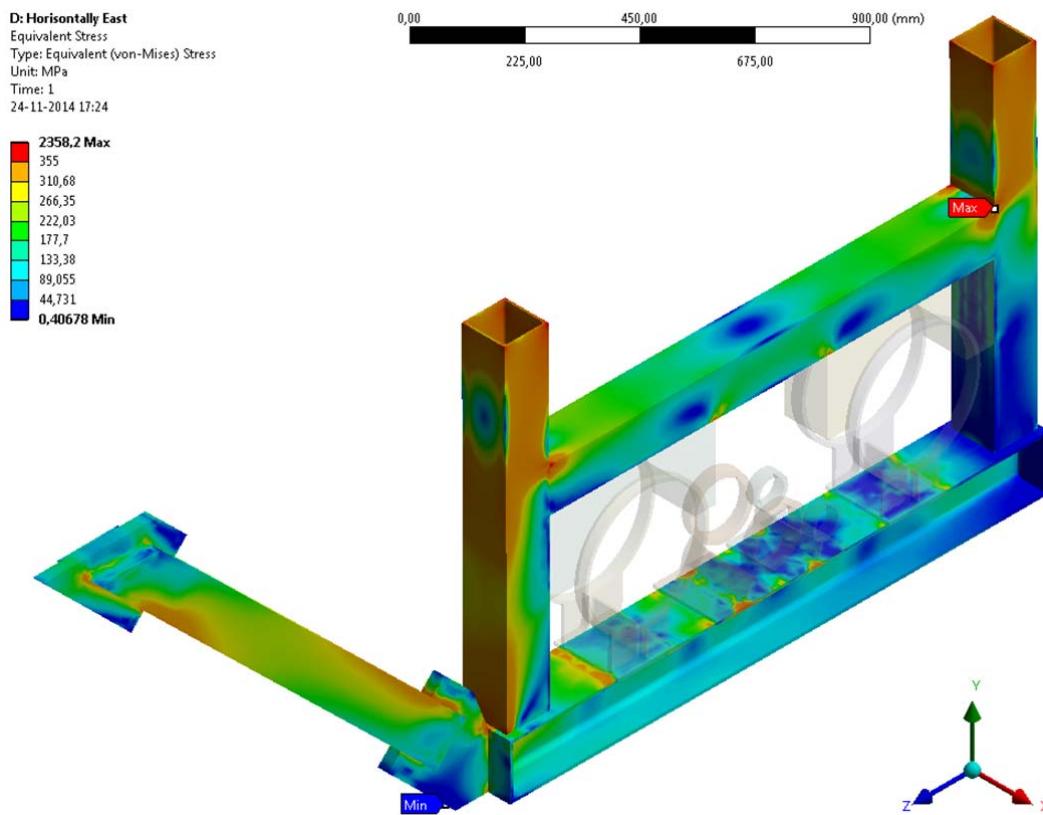


Figur 50 - Analysegeometrien vist med analyselaster. Skærbillede fra ANSYS.

Tabel 20 – Opsummering af kritiske spændinger ift. horisontal belastning fra vest mod øst.

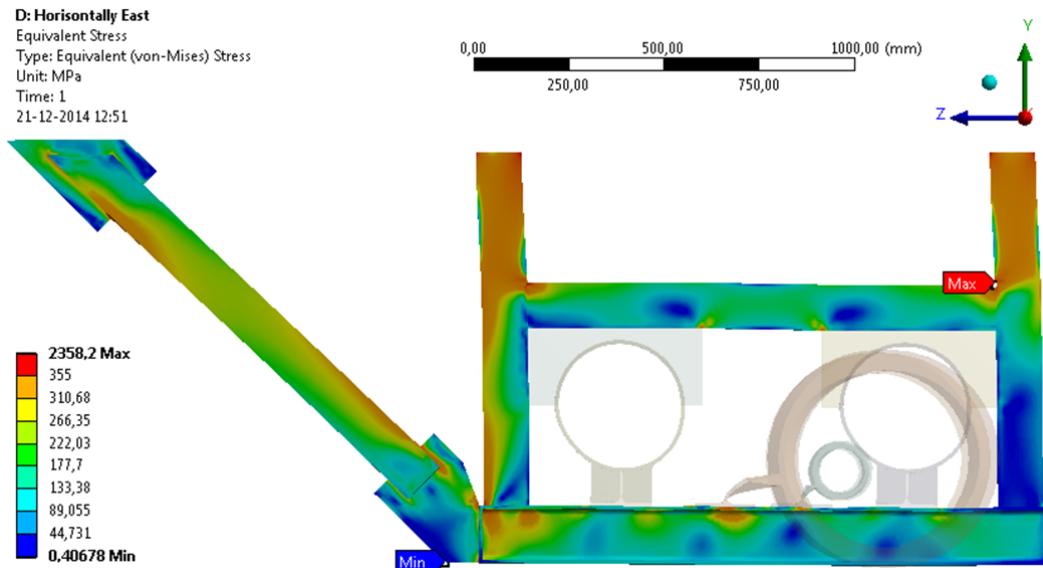
	Von Mise (MPa)	1. Hovedspænding (MPa)	2. Hovedspænding (MPa)	3. Hovedspænding (MPa)
Skrå SHS	1066,60	551,72	753,32	910,63
Vertikal SHS (Vest)	1578,50	-541,74	-1949,70	1028,70
Vertikal SHS (Øst)	1376,10	-476,40	-1705,10	-1070,40
Horisontal SHS	2358,20	-355,75	-677,39	-2297,90
HEA	882,31	515,31	-506,66	829,43

Tabel 20 viser, at rammen er overbelastet. De kritiske spændinger er i nogle tilfælde singulariteter, men som det ses på Von Mise spændingen på Figur 51 s. 58, er denne retning også kritisk for rammen. Det er hovedsageligt den skrå SHS bjælke samt de to vertikale SHS bjælker, der er kritisk belastede.



Figur 51 – Von Mise spændinger for analysen på Figur 50 s. 57. Skærmbillede fra ANSYS.

Det skal noteres, at de vertikale SHS bjælker udsættes for træk, mens den skrå SHS bjælke udsættes for tryk - se deformationsfiguren på Figur 52.

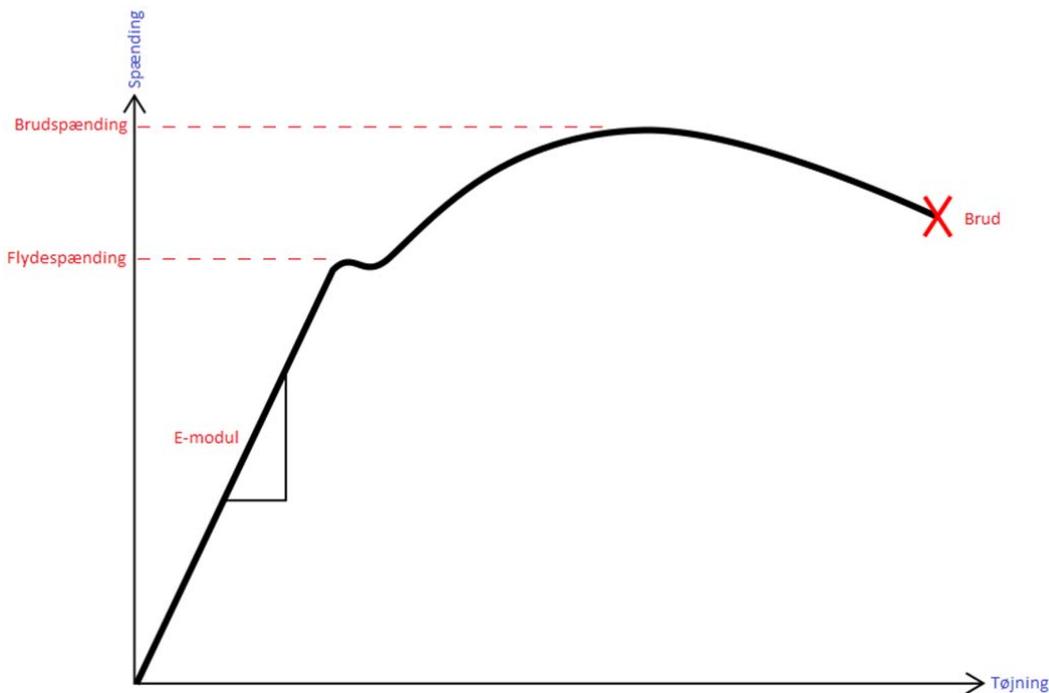


Figur 52 – Deformationsfigur for analysen på Figur 50 s. 57. Det skal noteres, at dette ikke er den reelle deformationsfigur men deformationerne er ganget med 5. Skærmbillede fra ANSYS

3.11.5 Delkonklusion

Ovenstående analyser tydeliggør, at rammen skal understøttes yderligere for at kunne holde til bølgelasten. Det viser sig dog, at vertikal bølgelast samt horisontal bølgelast fra syd og nord ikke er kritisk. Derimod er horisontal bølgelast fra henholdsvis øst og vest kritisk.

Ved bølgelast fra både øst og vest er det den skrå SHS bjælke samt de to vertikale SHS bjælker der er hårdest belastet. Flere af de listede kritiske spændinger, er produkter af singulariteter. Ses der bort fra singulariteterne, er spændingerne stadig kritiske. Den eksakte størrelse af spændingerne kan ikke bestemmes ud fra analyserne, da de er lavet ud fra en antagelse om, at materialet generelt opfører sig lineært elastisk også i plasticitetsområdet – dvs. efter flydegrænsen på $355 MPa$ er overskredet. Dette er absolut ikke tilfældet, da større deformationer indtræffer ved flydegrænsen – se Figur 53. Derfor anvendes de kritiske spændinger udelukkende som vejledning for, hvorledes der skal udføres understøtning. Det vurderes, at ekstra understøtning er nødvendig ud for den horizontale SHS bjælke. Hvorvidt det er tilstrækkeligt med understøtning i den ene side, kan ikke vurderes på baggrund af udførte analyser.



Figur 53 – Spænding/tøjningsdiagram. E-modul – det lineære elastiske områdes hældningskoefficient.

Flydespænding – grænsen for hvor materialet går fra at opføre sig elastisk til plastisk.

Brudspændingen – den højeste spænding materialet kan holde til, før halsdannelse indtræffer og materialet efterfølgende bryder.



MAERSK
OIL

Ekstremlast af Rørsupports, Dan FF



AALBORG UNIVERSITET
STUDENTTERRAPPORT

4 Problemformulering

Der er taget udgangspunkt i projektets initierende problem; "*Hvorledes sikres rørene DFF-12-WI-359051-API5LX65 og DFF-12-PHS-989002-API5LX65 mod fremtidige bølgelast, hvis der tages udgangspunkt i nuværende rammer?*". Det fremgår i problemanalysen, at rammen ikke er understøttet tilstrækkeligt. Spændingerne ligger i høj grad i toppen af de vertikale SHS bjælker mellem indspændingen til Cellar-Deck og den horisontale SHS bjælke.

Der ønskes derfor en løsning, som understøtter nuværende ramme yderligere og som kan installeres uden større modifikationer på eksisterende struktur. Løsningen skal kunne anvendes langs hele rørstrækningen med forbehold for, at der er forskellige dimensioner for rammerne. Udover at kunne implementeres langs rørstrækningen skal det tilgodeses, at løsningen kan implementering på andre lignende rammestrukturer under Cellar-Deck på Nordsøen.

4.1 Problemafgrænsning

PS-1-B-001 er ikke en del af løsningen, da den understøtter den del af rørene specificeret som stigerør. Forventeligt kan løsningen anvendes på PS-1-B-001 men da projektet tager udgangspunkt i topside-struktur, verificeres dette ikke.

Løsningen analyseres udelukkende horisontalt ift. til bølgeretningerne øst og vest, da disse er kritiske for rammen.



MAERSK
OIL

Ekstremlast af Rørsupports, Dan FF



AALBORG UNIVERSITET
STUDENTTERRAPPORT

5 Kravspecifikation

I det følgende afsnit er der opstillet en kravspecifikation opdelt i primære- og sekundære krav.
De primære krav er ufravigelige for løsningen, hvor de sekundære krav bør tilstræbes.

5.1 Primære krav

For at løsningen kan tredjepartsgodkendes, skal den overholde MOTS-31, som stiller krav til materiale og fabrikation af topside-struktur.

I nedenstående er de vigtigste punkter fra MOTS-31 beskrevet:

- Materialevalg;
 - Ståltype S355 som minimum – valgt ud fra Tabel 8.1.1-1.
 - Stålet skal være sporbart og medfølge certifikater iht. EN10204.
 - Profiler og sektioner skal vælges efter EN10025, EN10113 eller EN10225.
 - Bolte og møtrikker skal vælges iht. EN20898-1.
 - Skiver skal vælges iht. ISO7090.
- Svejsning og NDE skal foretages iht. MOTS-12.
 - Eksaminationsmetode efter Tabel 9.2.6-1 s. 26.
- Fabrikationstolerancer skal vælges iht. ISO13920.

Udover kravene fra MOTS-31 er der via problemanalysen fremkommet nogle krav til løsningen:

- Skal i sig selv kunne holde til bølgens partikelhastighed på $6^m/s$ vertikalt og $23^m/s$ horisontalt.
- Skal nedbringe spændingsniveaueret i rammen til maksimalt $355MPa$.
- Skal kunne anvendes på minimum PS-1-B-002 til PS-1-B-008 langs rørstrækningen for DFF-12"-WI-359051-API5LX65 og DFF-12"-PHS-389002-API5LX65.

5.2 Sekundære krav

Nedenstående krav bør løsningen tilstræbe;

- Kan anvendes på lignende rammestruktyrer under Cellar-Deck på Nordsøen.
- Udføres i sammen materiale som eksisterende struktur, således der ikke opstår galvaniske tæring.
 - Hvis andet materiale anvendes skal der tages forbehold ved galvanisk adskillelse.
- Være simpel at fabrikere på land samt at installere offshore.
- Designes således, at eksisterende ramme ikke modificeres i forbindelse med installation.



MAERSK
OIL

Ekstremlast af Rørsupports, Dan FF



AALBORG UNIVERSITET
STUDENTRAPPORT

6 Løsningsanalyse

Hos MOG er der ikke en fortrukken metode for redesign af eksisterende struktur. Vurderingen af en løsningsmetode tages fra gang til gang, da MOG i høj grad anvender rådgivende ingeniørvirksomheder til sådanne opgaver. I visse tilfælde kommer MOG med et løsningsforslag, men som regel er det op til den rådgivende virksomhed at komme med et løsningsforslag.

Sådanne løsningsforslag er bygget på erfaring i strukturel konstruktion og der anvendes ikke nogen form for anbefalet praksis. Samme metode er derfor anvendt i projektet.

6.1 Løsningsforslag

Løsningsforslagene tager udgangspunkt i, hvilke delelementer af rammen der er hårdest belastet, hvilket er fremkommet via rammeanalysen. Egentlig er der tale om et enkelt løsningsforslag, som gennem "trail and error" er udviklet til en solid og let implementerbar løsning. I det følgende er der en gennemgang af "trail and error" processen. Løbende forklares, hvordan løsningen har udviklet sig.

Løsningsforslagene er analyseret ift. de samme parametre, som den eksisterende ramme er analyseret ud fra.

Alle nye samlinger er svejste. Boltede samlinger er en mulighed, men det indebærer enten boring i eksisterende ramme eller anvendelse af friktionssamling. Nævnte samlingstyper anvendes ikke, da modifikation af eksisterende ramme ønskes begrænset. I MOG anvendes der ikke samlinger udelukkende baseret på friktion i bærende struktur.

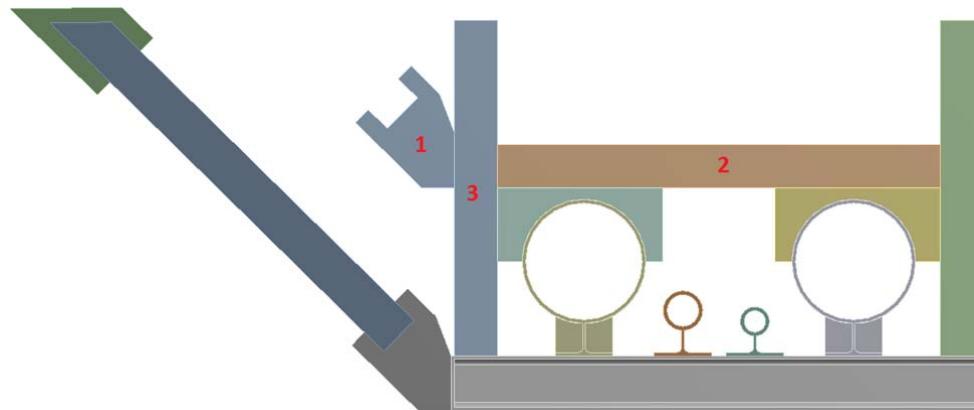
For læsevenighedens skyld er der på første figur i hver af løsningsforslagene indsat røde talmarkeringer, for lettere at kunne henvise til rammens- og understøtningens delelementer.

Henvisningerne er skrevet i tuborgklammer efter beskrivelsen – {1}.

6.1.1 Initierende løsningsforslag

Det initierende løsningsforslag er en ekstra understøtning af rammen i samme side, hvor rammen allerede er understøttet af den skrå SHS bjælke – se Figur 54. Understøtningen er lavet som en fast indspænding.

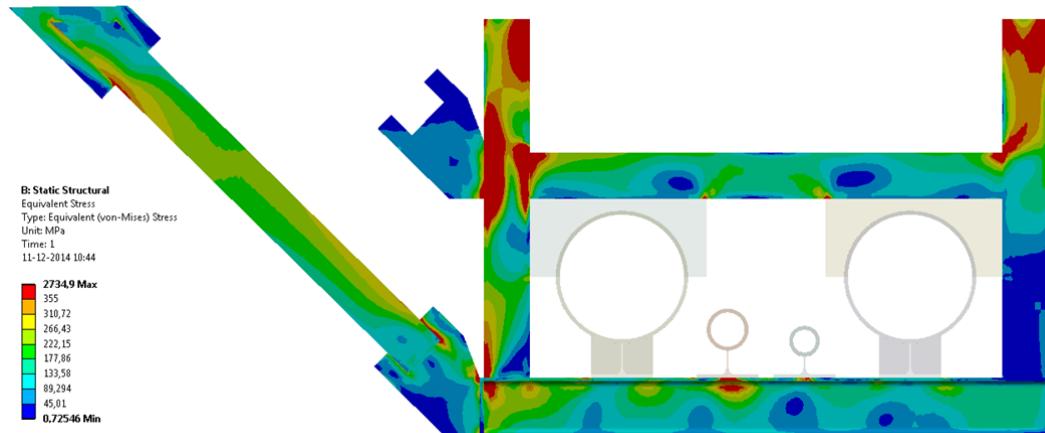
Rapportudskriften fra ANSYS findes i Appendiks J.



Figur 54 – Afbildning af initierende løsningsforslag. {1} viser den genanvendte nederste indsvejsningsplade af den skrå SHS bjælke. {2} viser den horizontale SHS bjælke. {3} viser den vertikale SHS bjælke. Skærmbillede fra ANSYS.

Som udgangspunkt er der ikke designet nogen ekstra understøtninger. Derimod er den nederste indsvejsningsplade af den skrå SHS bjælke {1} genanvendt. Tanken er, at hvis dette er en tilstrækkelig løsning, kan der efterfølgende laves et design af understøtningen.

Figur 55 viser Von Mise spændinger for hele rammen. Der ses meget kritiske spændinger i de vertikale SHS bjælker {3} samt den horizontale SHS bjælke {2}.



Figur 55 – Analysegeometri fra Figur 54 vist med Von Mise spændinger. Skærmbillede fra ANSYS

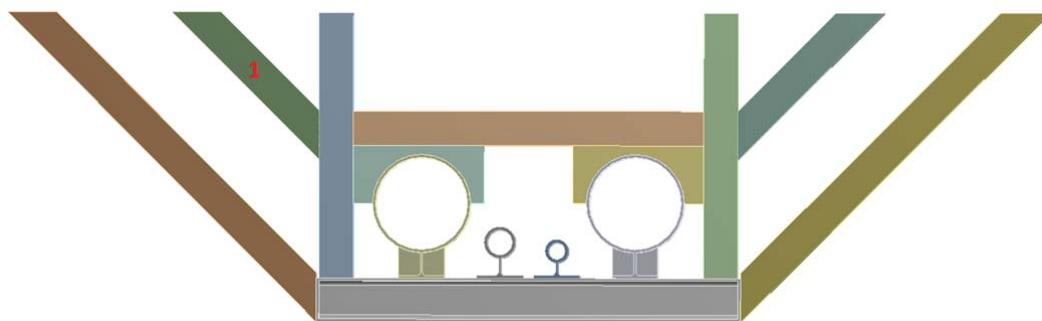
6.1.2 1. Videreudvikling af løsningsforslaget

Første trin i videreudviklingen af det initierende løsningsforslag er at understøtte rammen yderligere ved at lave understøtningen ens for begge sider. Alle understøtningerne er lavet som faste indspændinger.

I konstruktionsøjemed er det valgt udelukkende at anvende SHS120x120x6 profiler, da det er en løsning, der både er nem at fremstille i land og at installere offshore. Yderligere er det en løsning, som kan adopteres af samtlige rammer langs rørstrækningen uden yderligere design.

1. videreudviklings opbygning ses på Figur 56.

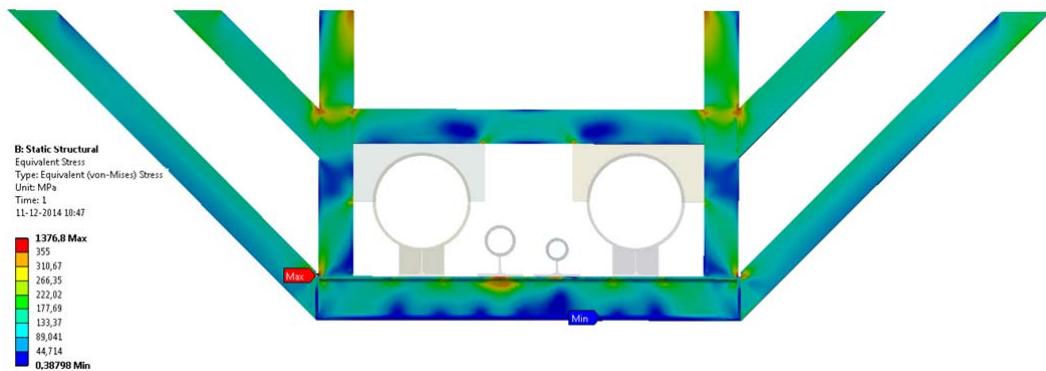
Rapportudskriften fra ANSYS findes i Appendiks K.



Figur 56 – Afbildning af 1. videreudvikling af det initierende løsningsforslag. {1} viser den øverste skrå SHS bjælke.

Skærmbillede fra ANSYS.

Som det ses på fordeling af Von Mise spændinger på Figur 57, er det en solid løsning. De kritiske spændinger er begrænset til hjørner omkring samlinger. Gennem Hot-Spot analyse ses det, at samtlige kritiske spændinger er produkter af singulariteter.

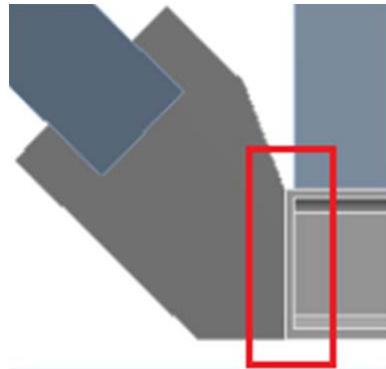


Figur 57 - Analysegeometrien fra Figur 56 vist med Von Mise spændinger. Skærmbillede fra ANSYS

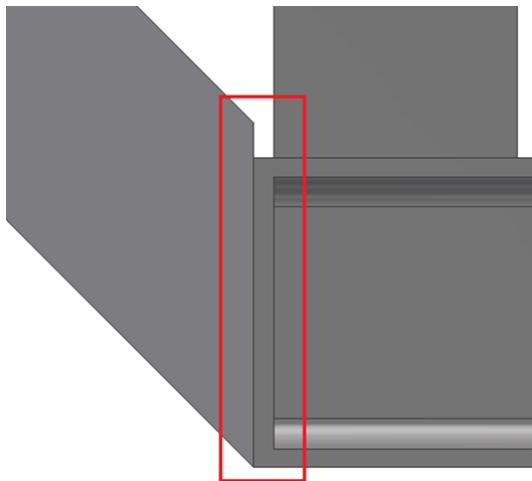
1. videreudvikling indeholder dog nogle uhensigtsmæssige konstruktionssamlinger, som bør ændres for en endelig løsning.



Samlingen mellem den skrå SHS bjælke og HEA bjælken i bunden bør ikke være direkte men med en indsvejsningsplade imellem – se Figur 58. Indsvejsningspladen mellem den skrå SHS bjælke og HEA bjælken gør, at kræfterne overføres fra HEA bjælkens krop til indsvejsningspladen og videre i SHS bjælken. Ved at samle den skrå SHS bjælke og HEA bjælken direkte med hinanden skal endepladen på HEA bjælken videreføre kræfter, hvilket ikke er hensigtsmæssigt – se Figur 59.



Figur 58 – Detalje udsnit fra Figur 54 s. 66. Skærmbillede fra ANSYS. Viser samlingen mellem indsvensningspladen for den skrå SHS bjælke og HEA bjælken.



Figur 59 – Detalje udsnit fra Figur 55 s. 66. Skærmbillede fra Inventor. Viser den direkte samling mellem den skrå SHS bjælke og HEA bjælken.

Samme scenarie er tilfældet for de fire understøtninger, hvor de samles med undersiden af Cellar-Deck. På Figur 60 s. 69, som er et billede af en af rammerne langs rørstrækningen, ses det, at der mellem Cellar-Deck og rammen er en stor HE bjælke. Derfor bør løsningen ligeledes indeholde en indsvejsningsplade fra SHS bjælken.



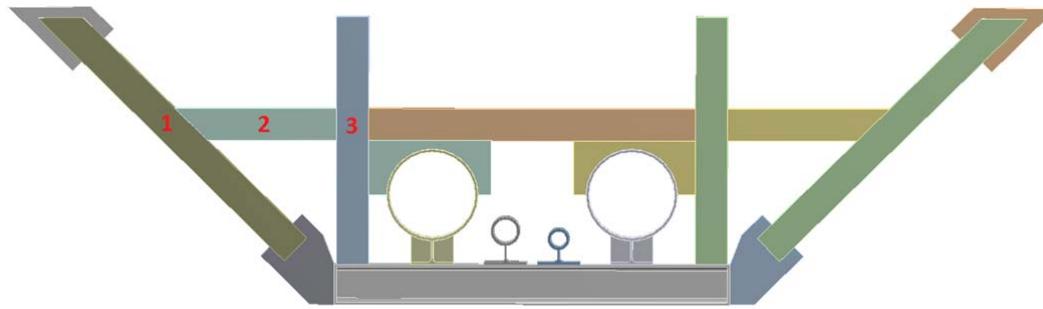
Figur 60 – Billede af en af rammerne fra inspektionen offshore. Viser at rammen er svejst på en stor HE bjælke på undersiden af Cellar-Deck.

6.1.3 2. Videreudvikling af løsningsforslaget

2. videreudviklingen tager udgangspunkt i, at 1. videreudvikling nedsætter de kritiske spændinger tilstrækkeligt men ikke er en konstruktionsmæssig god løsning.

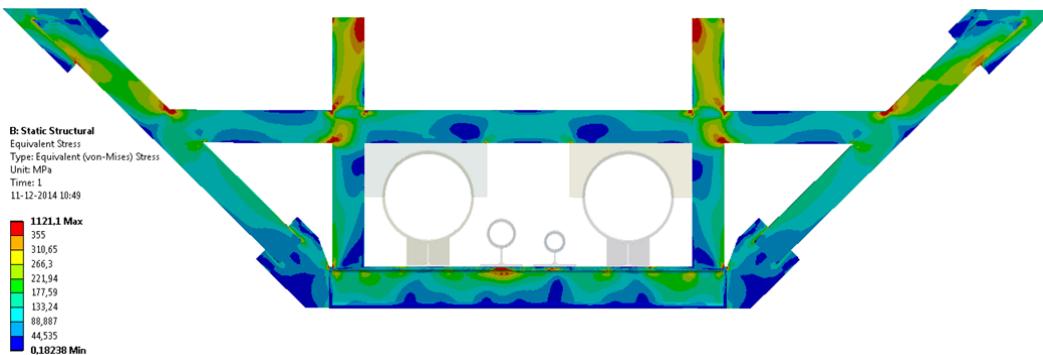
Figur 61 viser 2. videreudvikling. Den eksisterende løsning for understøtning af HEA bjælken {1} er anvendt på begge sider af rammen. Mellem den vertikale- {3} og den skrå SHS bjælke {1} er der horisontalt indsat en afstivende SHS bjælke {2}. Antagelsen er, at bjælkerne understøtter rammen på samme måde, som de øverste skrå SHS bjælker gør i 1. videreudvikling – se markering {1} Figur 56 s. 67. Fordelen ved 2. videreudvikling er, at den mindsker mængden af svejsearbejde til selve platformen.

Rapportudskriften fra ANSYS findes i Appendiks L.



Figur 61 – Afbildning af 2. videreudvikling af det initierende løsningsforslag. {1} viser den skrå SHS bjælke. {2} viser den afstivende SHS bjælke. {3} viser den vertikale SHS bjælke. Skærmbillede fra ANSYS.

Som det ses på Figur 62, er dette ikke en solid løsning. De skrå SHS bjælker {1} er belastede i en sådan grad, at spændingerne i visse punkter er kritiske. Ligeledes aflastes de vertikale SHS bjælker {3} ikke tilstrækkeligt.



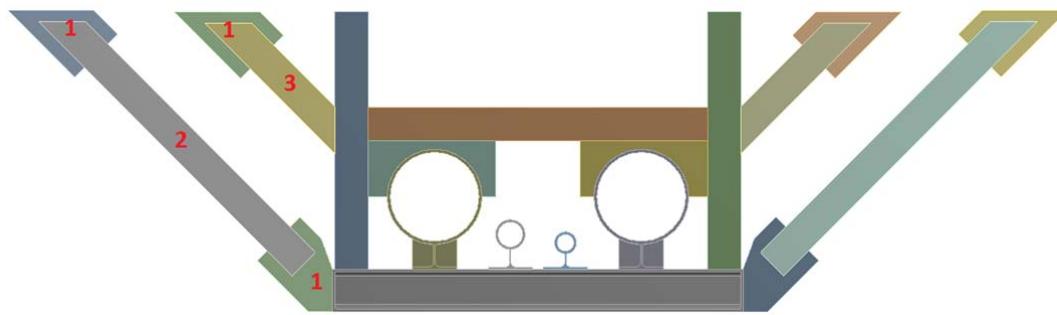
Figur 62 - Analysegeometrien fra Figur 61 vist med Von Mise spændinger. Skærmbillede fra ANSYS

6.1.4 3. Videreudvikling af løsningsforslaget

3. videreudvikling er lavet med erfaringen fra foregående løsningsforslag og videreudviklinger - se Figur 63. Rammen er understøttet med faste indspændinger, som i 1. videreudvikling men med korrekte samlingsmetoder på både rammen og undersiden af Cellar-Deck {1}.

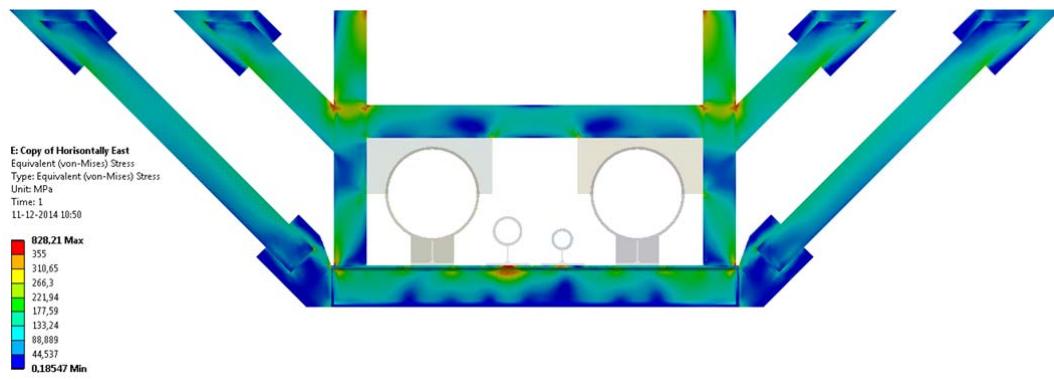
3. videreudvikling tager udgangspunkt i den eksisterende skrå SHS bjælke {2} som i 2. videreudvikling. De øverste skrå SHS bjælker {3} er konstrueret ud fra samme princip som de nederste skrå SHS bjælker {2}. Konstruktionen af SHS bjælkerne i land er således så simpel som muligt. 3. videreudvikling er ligeledes simpel at installere offshore, da det udelukkende er svejsearbejdet mellem rammen og undersiden af Cellar-Decket, der skal udføres offshore.

Rapportudskriften fra ANSYS findes i Appendiks M.

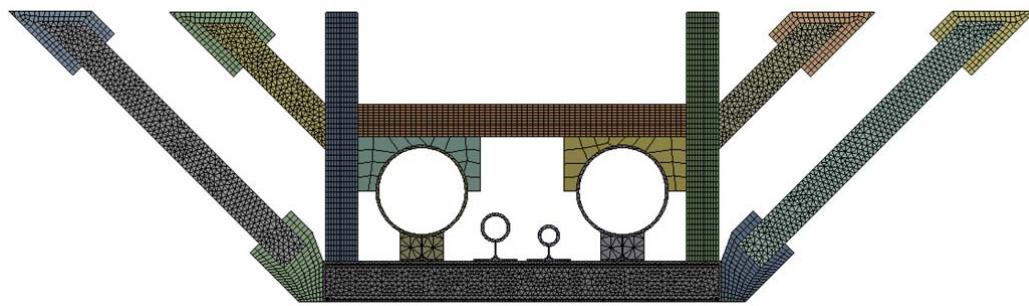


Figur 63 – Afbildning af 3. videreudvikling af det initierende løsningsforslag. {1} viser indsvejsningspladerne for de skrå SHS bjælker. {2} viser den nederste skrå SHS bjælke. {3} viser den øverste skrå SHS bjælke. Skærbillede fra ANSYS.

Som det ses på Figur 64 s. 71 er dette en solid og konstruktionsmæssig god løsning. De kritiske spændinger er begrænset til hjørner omkring samlinger, hvilket indikerer at de kan være produkter af singulariteter.



Figur 64 - Analysegeometrien fra Figur 63 s. 71 vist med Von Mise spændinger. Skærbillede fra ANSYS

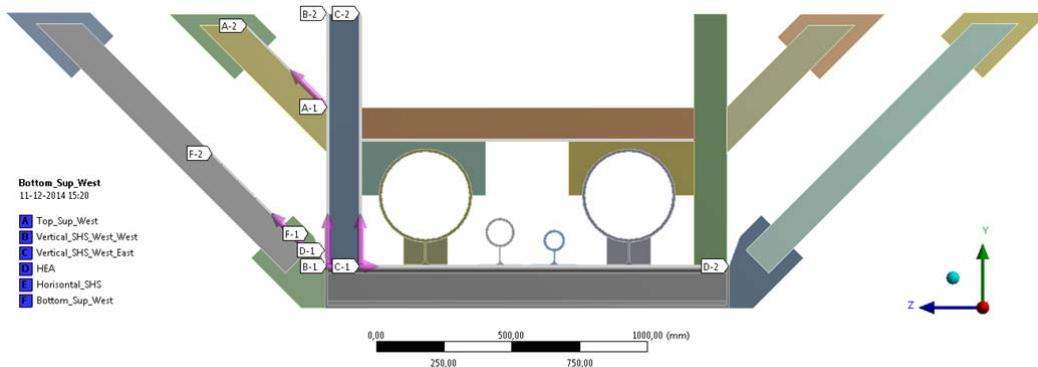


Figur 65 – Analysegeometrien fra Figur 63 s. 71 vist med mesh. Skærbillede fra ANSYS.

Som kontrol af om de kritiske spændinger er singulariteter, er meshet i første omgang ændret således, at arealet bliver mindre og spændingen bliver større. Dette er tilfældet ved alle kritiske spændinger og det kan derfor konkluderes, at der er tale om singulariteter.

Efterfølgende er der lavet paths ved alle kritiske spændinger, således de kan undersøges vha. Hot-Spot analyse – se Figur 66.

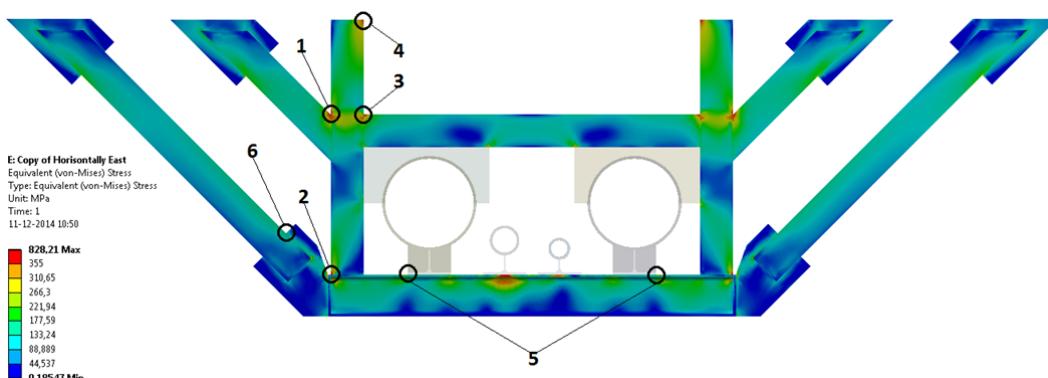
Der ses ikke på begge sider af rammen, da den i stor grad er symmetrisk vertikalt over midten. Yderligere ses der udelukkende på Von Mise spændinger.



Figur 66 – Figur 63 s. 71 vist med paths. Skærbillede fra ANSYS.

På Figur 67 er der lavet et oversigtsbillede over de kritiske spændinger på Figur 63 s. 71.

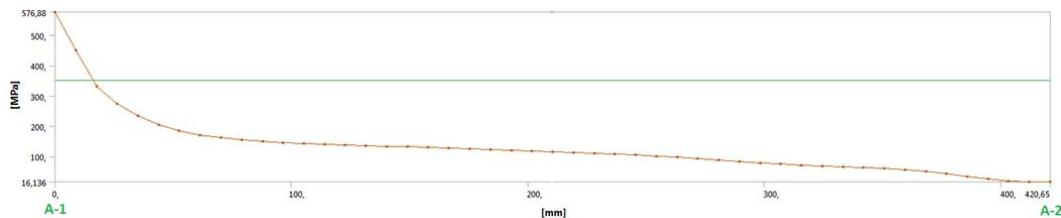
Spændingerne er nummeret ift. referencer i kommende afsnit.



Figur 67 – Oversigtsbillede af singulariteterne langs paths på Figur 66. Skærbillede fra ANSYS.

6.1.4.1 Path A

Figur 68 viser spændingsvariationen langs path "A" på den øverste skrå SHS bjælke. Den høje spænding ved 0mm er et produkt af en singularitet idet den er placeret i samlingen mellem den øverste skrå SHS bjælke og den vertikale SHS bjælke – se markering 1 på Figur 67 s. 72. Ved Hot-Spot analyse af kurven på Figur 68 findes spændingen i 0mm til et sted mellem 200MPa og 300MPa .

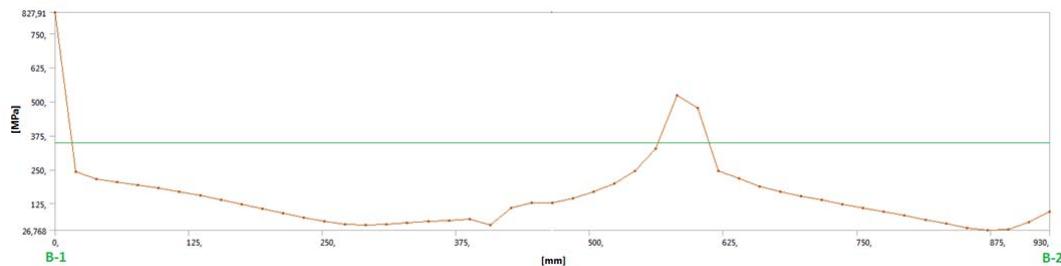


Figur 68 – Spændingsvariation langs path "A" på den øverste skrå SHS bjælke – se Figur 66 s. 72. Horizontal grøn linje indikerer maksimal spændingen på 355MPa . Skræmbillede fra ANSYS.

6.1.4.2 Path B

Figur 69 s. 73 viser spændingsvariationen langs path "B" på den venstre side af den vertikale SHS bjælke. De to peaks på kurven er resultater af singulariteter. Peak 0mm er i samlingen mellem den vertikale SHS bjælke og HEA bjælken – se markering 2 på Figur 67 s. 72. Peak ved 600mm er i samlingen mellem den vertikale SHS bjælke og oversiden af den horisontale SHS bjælke – se markering 1 på Figur 67 s. 72.

Hot-Spot analysen viser, at de begge er under 355MPa .

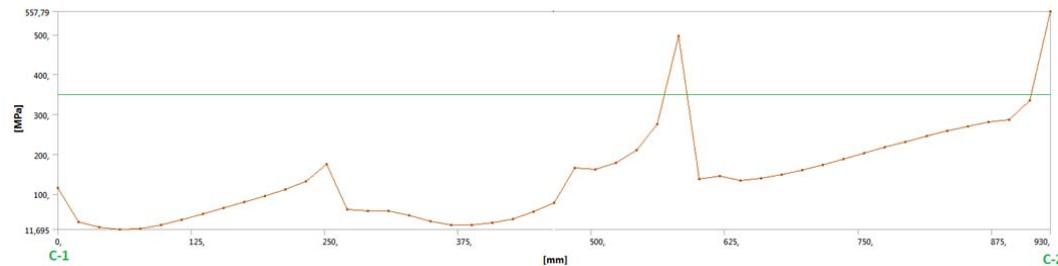


Figur 69 – Spændingsvariation langs path "B" på den venstre side af den vertikale SHS bjælke – se Figur 66 s. 72. Horizontal grøn linje indikerer maksimal spændingen på 355MPa . Skræmbillede fra ANSYS.

6.1.4.3 Path C

Figur 70 viser spændingsvariationen langs path "C" på den højre side af den vertikale SHS bjælke. De to peaks på kurven er resultater af singulariteter. Peak ved 600mm er i samlingen mellem den vertikale SHS bjælke og oversiden af den horizontale SHS bjælke – se markering 3 på Figur 67 s. 72. Peak ved 930mm er i samlingen mellem den vertikale SHS bjælke og Cellar-Deck – se markering 4 på Figur 67 s. 72.

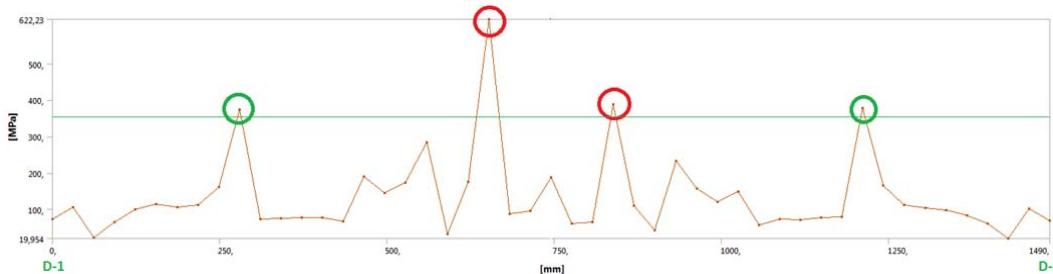
Hot-Spot analyse viser at de begge er under 355MPa .



Figur 70 – Spændingsvariation langs path "C" på den højre side af den vertikale SHS bjælke – se Figur 66 s. 72. Horizontal grøn linje indikerer maksimal spændingen på 355MPa . Skræmbillede fra ANSYS.

6.1.4.4 Path D

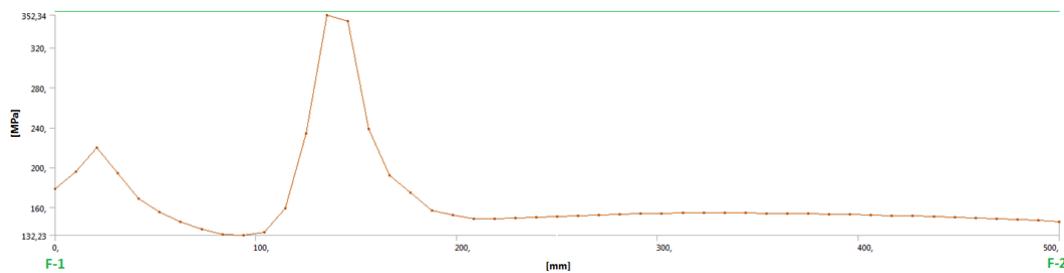
Figur 71 s. 74 viser spændingsvariationen langs path "D" på HEA bjælken. De fire peaks på kurven er ud for for de fire rørsupports'ene. De to peaks i midten, markeret med røde cirkler, er produkter af en stor udbøjning af rørsupports'ene for henholdsvis 3" OH og 2" OH. Rørsupports'ene er stærkt underdimensioneret ift. bølgelasten, hvorfor projektrapportens perspektivering omhandler udskift af disse. Der ses derfor bort fra de to peaks. De to peaks i siderne, markeret med grønne cirkler, er derimod produkter af singulariteter, hvilket også antydes af kurven. Singulariteternes placering er i samlingen mellem ydersiden af de to 12" rørsupports og HEA bjælkens overside – se markering 5 på Figur 67 s. 72.



Figur 71 – Spændingsvariation langs path "D" på HEA bjælken – se Figur 66 s. 72. Horizontal grøn linje indikerer maksimal spændingen på 355MPa . Skræmbillede fra ANSYS.

6.1.4.5 Path F

Figur 72 viser spændingsvariationen langs path "F" på den nederste skrå SHS bjælke – se markering 6 på Figur 67 s. 72. Peaket ved 150mm er lige under $355MPa$ men i dette tilfælde betyder det nødvendigvis, at spændingen ikke er kritisk. I modelleringen af den oprindelige ramme er der foretaget et estimat af indsvejsningspladernes tykkelse, da målene ikke er indikeret på As-Built tegningerne. Det er valg, at modellere indsvejsningspladerne med en tykkelse på $30mm$. Hvis tykkelsen reel er mindre, kan det resultere i et højere spændingsniveau. Hvis dette er tilfældet og spændingerne overstiger $355MPa$, er der risiko for plastisk deformation. Forekommer der plastisk deformation, drejer det sig om et meget lille område, hvilket ikke har nogen større konsekvenser for den resterende konstruktion. Dette sammenholdt med at der er tale om en ALS situation, accepteres peaket selvom det overstiger $355MPa$ i et vist omfang.



Figur 72 – Spændingsvariation langs path "F" på den nederste skrå SHS bjælke – se Figur 66 s. 72. Horizontal grøn linje indikerer maksimal spændingen på $355MPa$. Skræmbillede fra ANSYS.

6.2 Løsningsvalg

3. videreudvikling af det initierende løsningsforslag aflaster rammen tilstrækkeligt. Yderligere er det en løsning, som i land er simpel at fremstille, samtidig med at den er simpel at installere offshore.

Det er en løsning, som ikke kun kan implementeres på PS-1-B-003 men også på de resterende rammer på rørstrækningen.

Det skal noteres, at det ikke er nødvendigt at udføre analyse på løsningen, hvor bølgeretningen ændres til øst mod vest, da rammen er understøttet ens på begge sider.

I Tegningsmappen findes tegningerne "Bottom Support Beam" og "Top Support Beam".

Tegningerne beskriver hvorledes de ekstra understøtninger for PS-1-B-003 fabrikeres. Der er taget udgangspunkt i materialetype S355, da den resterende konstruktion er af denne type.

Havde de nye understøtninger været hårdere belastede end $355MPa$, kunne en anden materiale klasse vælges. Udo over valget af materiale er der ikke foretaget nogen specifikke krav i tegningerne, da de eneste krav til løsningen er, at den i sig selv skal kunne holde til bølgelasten samt at den fabrikeres og installeres ift. MOTS-31.

6.3 Fejlmodellering af Skrå SHS bjælke

I forbindelse med den indledende modellering af den skrål SHS bjælke er der lavet en fejl, som er gentaget i løsningen – se Figur 73.



Figur 73 – Afbildning af den skrål SHS bjælke. Skræmbillede fra Inventor

Fejlen består i, at indsvejsningspladerne der forbinder SHS profilet til henholdsvis rammen og Cellar-Deck, er modelleret med udskæringer for SHS profilet, som vist på Figur 74 og Figur 75. Eftersom rammerne er modelleret efter As-Built tegninger og ikke arbejdstegninger, har det ikke været klart, hvorledes de skulle modelleres. Denne type samling af tubulære profiler og pladematerialer er meget anvendt. Fejlen bunder derfor udelukkende på manglende erfaring fra forfatteren.



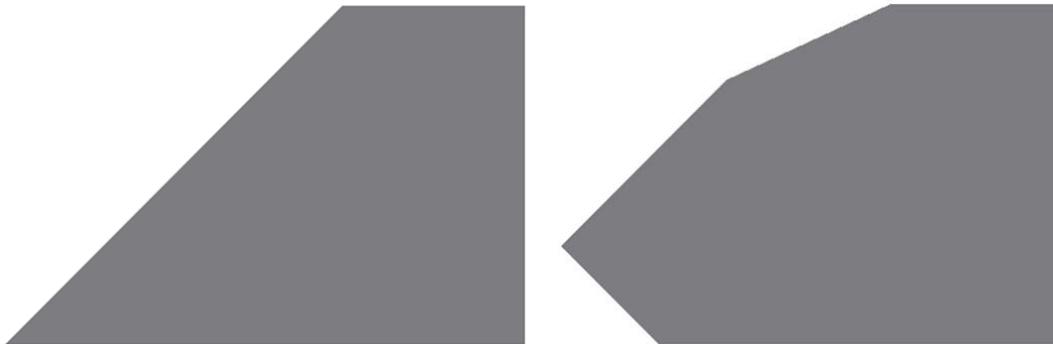
Figur 74 – Afbildning af den fejlmodellerende øverste
indsvejsningsplade for den skrål SHS bjælke. Skræmbillede fra
Inventor.



Figur 75 – Afbildning af den fejlmodellerende nederste
indsvejsningsplade for den skrål SHS bjælke. Skræmbillede
fra Inventor.

Fremfor udskæring i indsvejsningspladen laves udskæringen i SHS profilet. På denne måde opnås en væsentligt stærkere samling, da indsvejsningspladen er gennemgående og derved øger stivheden.

Figur 76 og Figur 77 viser hvorledes indsvejsningspladerne reelt ser ud - dvs. uden udskæring.



Figur 76 – Afbildning af den korrektmodellerende øverste
indsvejsningsplade for den skrå SHS bjælke. Skræmbillede fra
Inventor.

Figur 77 – Afbildning af den korrektmodellerende nederste
indsvejsningsplade for den skrå SHS bjælke. Skræmbillede
fra Inventor.

Figur 78 viser hvorledes SHS profilet reelt ser ud – dvs. med udskæring.



Figur 78 – Afbildning af det korrektmodellerede SHS profil for den skrå SHS bjælke. Skræmbillede fra Inventor.

Yderligere er indsvejsningspladerne i første omgang modelleret i tykkelsen 30mm. Det er efterfølgende fundet, at pladetykkelsen normalt er omkring 15mm ved samling mellem SHS- og HEA bjælker af denne størrelse.

6.3.1 Verifikation af fejlmodellering

Da opsætning af en komplet analyse for den korrekte modellering er meget tidskrævende, er det valgt at sammenligne den fejlmodellerede skrål SHS bjælke med den korrektmodellerede skrål SHS bjælke. De to modeller udsættes for en belastning, der er sammenlignelig med belastningen den skrål SHS bjælke oplever ved anvendelse som understøtning for rammen.

Som vist på Figur 79 s. 79 er den skrål SHS bjælke fast indspændt som i analysen af den fulde geometri. Yderligere er den belastet med en kraft på 25kN på den flade, som overfører kræfterne i analysen af den fulde geometri. Størrelsen af kraften er fiktiv men er valgt således, at der opstår en spænding omkring flydespændingen på stålet, ligesom det er tilfældet i den komplette analyse.



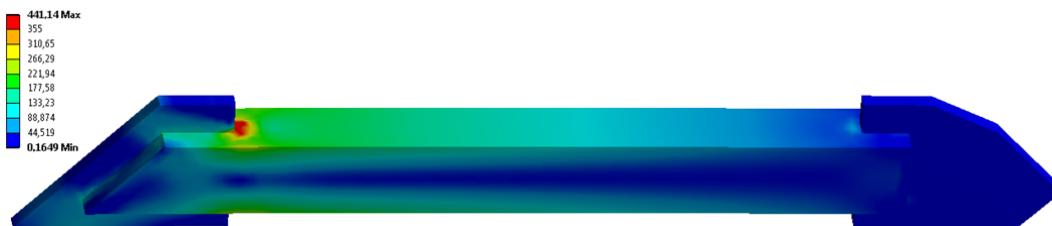
Figur 79 - Den skrå SHS bjælke vist med understøtning og last. (A) viser den faste indspænding. (B) viser den påsatte last.

Skærmbillede fra ANSYS

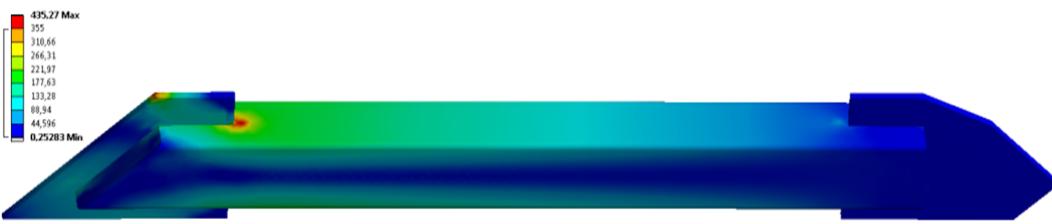
Den maksimale spænding for den fejlmodellerede skrå SHS bjælke ligger omkring $440 MPa$ – se Figur 80. I samme punkt oplever den korrektmodellerede skrå SHS bjælke en spænding på omkring $435 MPa$. Med sammenligningen vurderes det ikke nødvendigt at lave en ny analyse af den fulde analyse geometri, hvor den korrektmodellerede SHS bjælke er implementeret..

Rapportudskriften fra ANSYS på fejlmodelleringen findes i Appendiks N.

Rapportudskriften fra ANSYS på korrektmodelleringen findes i Appendiks O.



Figur 80 – Den fejlmodellerede skrå SHS bjælke vist med Von Mise spændinger. Skærmbillede fra ANSYS.



Figur 81 – Den korrektmodellerede skrå SHS bjælke vist med Von Mise spændinger. Skærmbillede fra ANSYS.



MAERSK
OIL

Ekstremlast af Rørsupports, Dan FF





7 Diskussion

Igenmenn projektet er der foretaget nogle valg, som i dette afsnit diskuteres.

7.1 Størrelsen på mesh

Det beskrives i afsnit **3.11.3.1 Rammens mesh s. 45**, at analyser på den komplette rammestruktur i ANSYS er lavet med en mesh på 20mm . 20mm kan virke som en stor inddeling men analysen er begrænset af, at den tilgængelige ANSYS licens kun tillader 250.000 noder. Hver enkelt 3D mesh indeholder fire til otte noder. Dette afhænger af, om der anvendes tre- eller firkanter og at der ikke anvendes "midside-nodes". En "Midside-node" er en ekstra node mellem to forbundne noder, som muliggør ikke-lineær repræsentation langs randen af meshet. Derfor nås begrænsningen på 250.000 noder hurtigt, når der arbejdes med større konstruktioner.

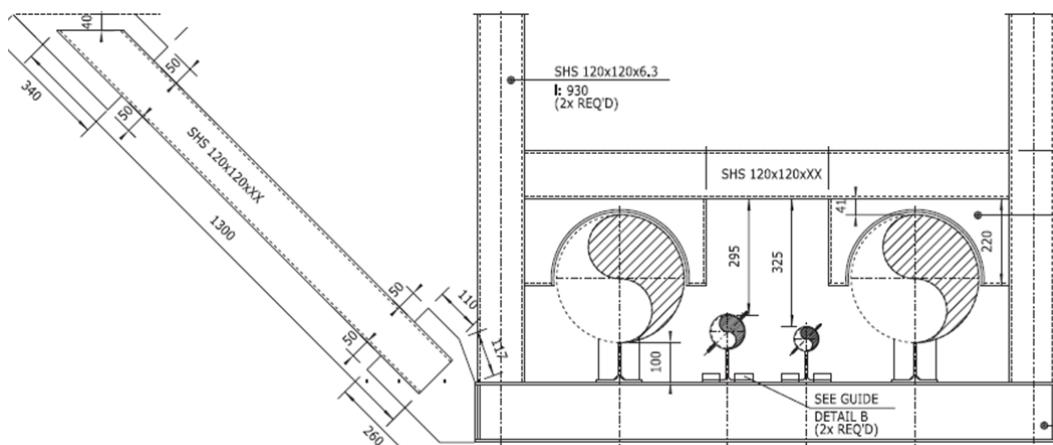
Eftersom spændingerne i analyserne er for de enkelte bjælkeelementer, ville det reelt have været muligt at ændre størrelsen på meshet fra bjælke til bjælke mellem hver aflæsning. Det ville dog have været utroligt ressourcekrævende og er derfor kun anvendt ift. identifikation af singulariteter. Derudover ville det ikke have haft stor effekt på analyserne, da der er tale om store delelementer og simple samlinger. Et mindre mesh kunne have gjort spændingsbilledet omkring samlingerne mere realistisk. Dette er i projektet håndteret med Hot-Spot analyse.

7.2 Valg af ramme for analyse

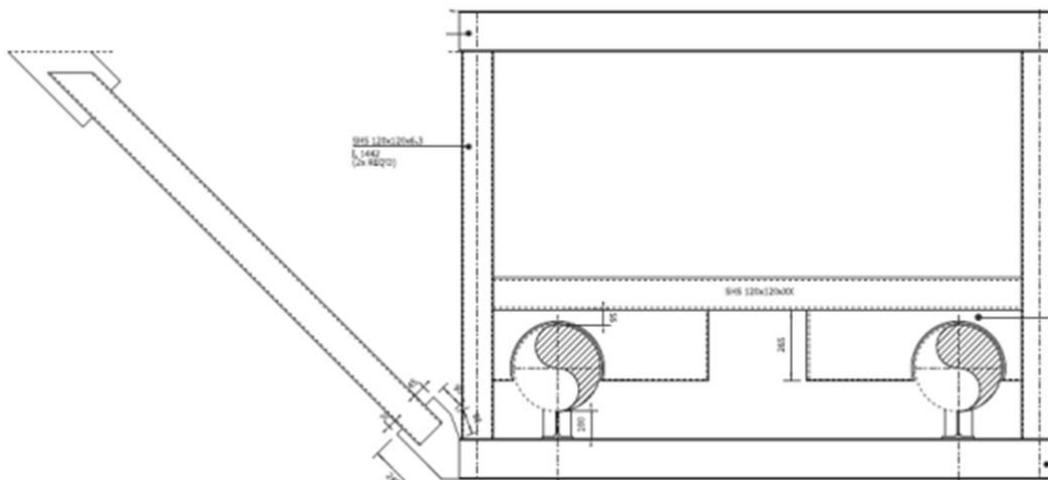
I afsnit **3.11.3 FE-model for rammen s. 44** vælges der at tage udgangspunkt i rammen PS-1-B-003. Dette gøres, da det er den mest anvendte rammetype langs strækningen samt at den er påvirket af yderligere to rør - 2" OH og 3" OH. Hvorvidt dette er det rigtige valg, kan diskuteres, da PS-1-B-007 er væsentligt højere en PS-1-B-003. Dette ses ved sammenligning af Figur 82 og Figur 83 s. 82.

Øget højde resulterer i, at rammen i sig selv vil opleve en større påvirkning fra bølgen men samtidig er der ingen ekstra reaktioner fra 2" OH og 3" OH. Øget højde på rammen er dog kun tilfældet for PS-1-B-007.

Det anbefales, at verificere om PS-1-B-007 aflastes tilstrækkeligt af valgte løsningsmodel.



Figur 82 – Udsnit af As-Built tegning for PS-1-B-003. Komplet As-Built tegning i Bilag 3.



Figur 83 – Udsnit af As-Built tegning for PS-1-B-007. Komplet As-Built tegning i Bilag 3.

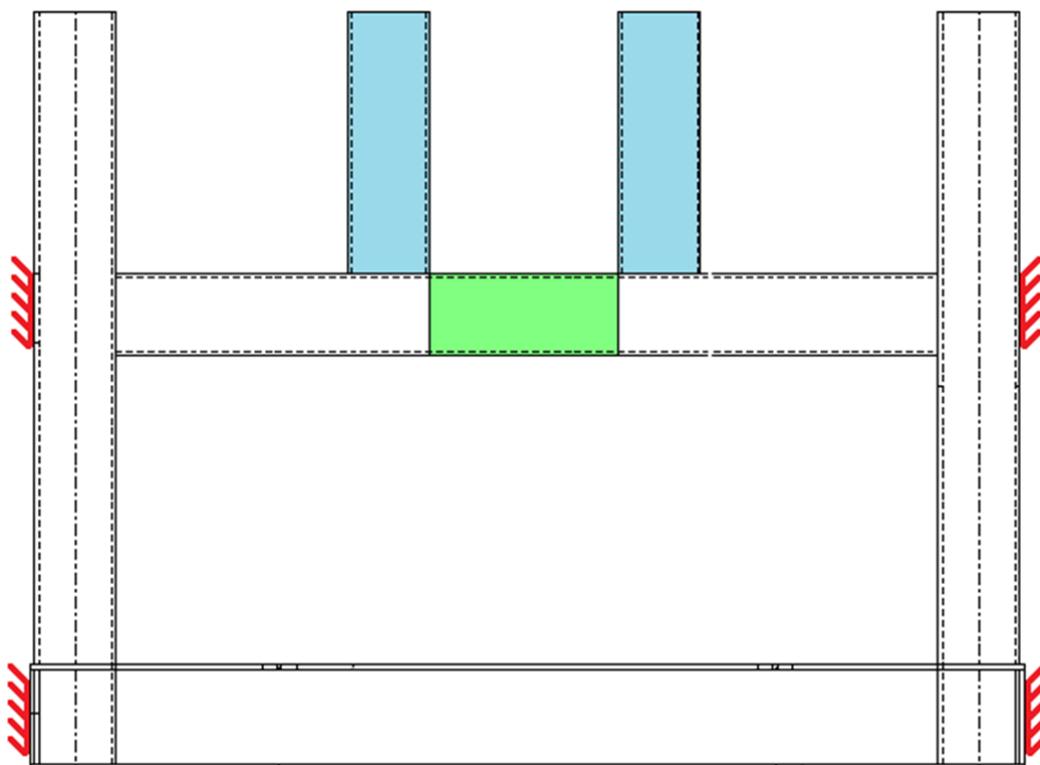


7.3 Løsningens relevans for rammetype 3

I afsnit 3.5.1 **Rørsupport s. 11** beskrives de forskellige rammetyper. På Figur 13 s. 12 fremgår en rammetype, som afviger fra de resterende rammer. Typen har ikke en vertikal SHS bjælke i den fulde længde af rammen, hvilket gør den mindre stiv end de andre rammetyper. Det kan derfor diskuteres, om løsningen er tilstrækkeligt for denne rammetype.

Fremfor en horisontal SHS bjælke i den fulde længe af rammen, er der to ekstra understøtninger – se blå markering på Figur 84. Det kombineret med fire ekstra understøtninger – se røde markeringer på Figur 84, gør at stivheden ikke vurderes som et problem.

For sikkerhedens skyld kan tvivlen fjernes ved indsættelse af et 280mm SHS120x120x6 profil, som vist med grøn markering på Figur 84.



Figur 84 – Skitsering af foreslæede afstivning på afvigende rammetype, PS-1-B-002.



MAERSK
OIL

Ekstremlast af Rørsupports, Dan FF



8 Konklusion

Først og fremmest kan det konkluderes, at rørene 12" WI og 12" PHS er tilstrækkeligt understøttet af rammerne PS-1-B-002 til 008. Rørene påvirkes maksimalt af spændinger på omkring 220 MPa ved kontakt med 10.000års-bølgen, hvilket er væsentligt mindre end rørenes flydespænding på 450 MPa . 12" WI og 12" PHS behøver derfor ikke yderligere understøtning.

Det kan dog konkluderes, at rammerne omkring rørsupport PS-1-B-002 til 008 ikke kan holde til 10.000års-bølgen. Problemformuleringen beskriver et ønske om en løsning, som understøtter nuværende ramme yderligere og som kan installeres uden større modifikation på eksisterende struktur. Løsningen skal kunne anvendes langs hele rørstrækningen på nær PS-1-B-001 og gerne på lignende rammestrukturer under Cellar-Deck på Nordsøen. Disse ønsker er opfyldt med 3. videreudvikling på det initierende løsningsforslag. Løsningen indebærer tre ekstra understøtninger i form af skrå SHS bjælker, som understøtter rammen således den ikke udsættes for kritiske spændinger.

Alle rammetyperne er udstyret med en HE160A bjælke i bunden og SHS120x120 bjælker vertikalt. Løsningen kan dermed anvendes på samtlige rammer langs rørstrækningen ved justering af længden på understøtningerne.

Eftersom løsningen er en genanvendelse af designet fra den eksisterende understøtning af rammen, kan løsningen adopteres på lignende rammestrukturer under Cellar-Deck på Nordsøen. Det er dog kun konceptet, der kan adopteres, da det ikke kan forventes, at alle lignende rammestrukturer på hele Nordsøen er lavet af HEA- og SHS bjælker af samme størrelse. Der skal derfor tages forbehold for ændring i plade og profilstørrelser ved anvendelse af løsningen på andre rørstrækninger.

Løsningen involverer ikke modifikation på eksisterende struktur i anden henseende end, at der omkring svejsninger skal fjernes eksisterende coating.

Løsningen kan fabrikeres i land og skal derved udelukkende installeres offshore. Installationen indebærer kun seks svejsninger pr. ramme, som alle er let tilgængelige. Yderligere skal der foretages NDE og coating, men dette ville være tilfældet for alle svejste samlinger.

Det kan således konkluderes, at den valgte løsning er en særdeles anvendelig løsning på problemet omhandlende 10.000års-bølgens øgede belastning på rammestruktur under Cellar-Deck på Nordsøen.



9 Perspektivering

I dette afsnit beskrives de punkter der bør arbejdes videre med i forhold til projektet.

9.1 Rørsupports for 2" OH og 3" OH

I afsnit **6.1.4 3. Videreudvikling s. 71** nævnes det, at rørsupports'ene for 2" OH og 3" OH rør er stærkt underdimensionerede ift. bølgelasten, da ANSYS analyserne viser en meget stor udbøjning af disse.

Det anbefales derfor, at rørsupports'ene for 2" OH og 3" OH udskiftes, hvis OH rørene forsat ønskes under Cellar-Deck og at rørene understøttes yderligere langs strækningen under Cellar-Deck. En anden løsning kunne være, at flytte rørene over Cellar-Deck, således de ikke skal dimensioneres efter 10.000års-bølgen.

9.2 Verifikation af løsningen ift. PS-1-B-001, 002 og 007

På trods af at løsningen findes valid for alle rørsupports'ene langs rørstrækningen for 12" WI og 12" PHS, bør løsningen verificeres ift. nedenstående tre rørsupports:

- PS-1-B-001, som der vælges at se bort fra, da den understøtter 12" WI og 12" PHS hvor de er klassificeret som stigerør. Dette er beskrevet i afsnit **3.5.1 Rørsupports'ene PS-1-B-001 til 008 s. 11.**
- PS-1-B-002, som afviger fra de resterende rammetyper. Dette er diskuteret i afsnit **7.3 Løsningens relevans for rammetype 3 s. 83.**
- PS-1-B-007, som er væsentlig højere end valgte analyseramme. Dette er diskuteret i afsnit **7.2 Valg af ramme for analyse s. 81.**

10 Kildeliste

1. **Maersk Oil Denmark.** *Dan - the longest producing field.* [pdf]
2. **Rambøll Oil & Gas.** *Dan F Complex General Documentation.* [pdf] Esbjerg : Rambøll Oil & Gas, 2014.
3. **Maersk Olie & Gas.** MOG Intranet. *MOG Intranet.* [Online] Maersk Olie & GAs. [Citeret: 05. 10 2014.] N/A.
4. **Steel Tubes India.** API 5L X 65 PSL1. *Steel Tubes India.* [Online] [Citeret: 18. Oktober 2014.] http://www.steeltubesindia.net/api5lx65-pipe/pipeline_type_api5lx65_psl1_carbonsteel_pipe.html.
5. **The American Society of Mechanical Engineers.** *Welded and Seamleas Wrought Steel Pipe.* [pdf] New York : The American Society of Mechanical Engineers, 2004. ASME B36.10M.
6. **Det Norske Veritas.** *Recommended Practice, Environmental Conditions and Environmental loads.* [pdf] s.l. : Det Norske Veritas, 2010. DNV-RP-C205.
7. **Maersk Olie & Gas.** *(Bilag 10) FW Wave loads for Dan F supports calculations.* [E-mail] Esbjerg : Maersk Olie & Gas, 2014.
8. **Wikipedia.** Breaking wave. *Wikipedia.* [Online] [Citeret: 21. Oktober 2014.] http://en.wikipedia.org/wiki/Breaking_wave.
9. **Maersk Olie & Gas.** *General Design and Reassessment Conditions, Enviromental Design Data.* [pdf] s.l. : Maersk Olie & Gas, 2012. TD12-SP-153 AZJ/sbj.
10. —. *General Jacket Desing and Reassessment Conditions, Wave-in-Deck Loading.* [pdf] s.l. : Maersk Olie & Gas, 2004. EP04-5972 AZJ/ikn Rev. 2.0.
11. **European Comitee for Standardization.** *Petroleum and natural gas industries - Fixed steel offshore structures.* Brussels : European Comitee for Standardization, 2007. ISO 19902.
12. **Yunus A. Cengel, Robert H. Turner, John M. Cimbala.** *Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences.* New York : McGraw-Hill, 2008. ISBN 978-007-126631-4.
13. **MyDatabook.** Thick Walled Cylinder Stress Calculator. *MyDatabook.* [Online] [Citeret: 15. November 2014.] <http://www.mydatabook.org/solid-mechanics/stress-for-thick-walled-cylinders-and-spheres-using-lames-equations/>.
14. **Nyt Teknisk Forlag.** *Teknisk Ståbi.* Valby : Nyt Teknisk Forlag, 2011. ISBN 978-87-571-2729-4.
15. —. *Maskin Ståbi.* Valby : Nyt Teknisk Forlag, 2011. ISBN 978-87-571-2547-4.
16. —. *Stålkonstruktioner efter DS/EN 1993.* Valby : Nyt Teknisk Forlag, 2009. ISBN 978-87-571-2683-9.
17. **Damkilde, Lars.** *Tværsnitsanalyse.* [Håndskrift (pdf)] Maj 2008.

18. **Wikipedia.** Carbon steel. *Wikipedia*. [Online] [Citeret: 18. Oktober 2014.]
http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_steel.
19. —. Water. *Wikipedia*. [Online] [Citeret: 18. Oktober 2014.]
<http://en.wikipedia.org/wiki/Water>.
20. —. Wave flume. *Wikipedia*. [Online] [Citeret: 21. Oktober 2014.]
http://en.wikipedia.org/wiki/Wave_flume.
21. **Dansk Standard.** *Dansk Ingenørforenings norm for pælefunderede offshore stålkonstruktioner, Part 2, Annexes A-F*. [pdf] s.l. : Teknisk Forlag Normstyrelsens Publikationer, 1984. DS 499.
22. **Autodesk, Inc. (US).** Autodesk ForceEffect. *Autodesk ForceEffect*. [Online] Autodesk, Inc. (US). <http://forceeffect.autodesk.com>.



MAERSK
OIL

Ekstremlast af Rørsupports, Dan FF



AALBORG UNIVERSITET
STUDENTRAPPORT

11 Kildekritik

I projektrapporten er der anvendt en række kilder, hvor hovedparten er enten undervisningsmateriale fra Aalborg Universitet Esbjerg eller anerkendte normer og standarder. Dette er kilder som generelt bragtes valide.

Kilder som Steel Tubes India, MyDatabook og Wikipedia er der igennem projektet forholdt sig kritisk til. Alle referencer til denne type kilder er sammenlignet med flere andre kilder, inden kilden er anvendt i projektet. Yderligere er det udelukkende data, som er almindeligt kendt, der er refereret til ved disse kilder.