



Revisjonsrapport

Rapport	
Rapporttittel Mærsk Intrepid - rapport etter tilsyn med bærende konstruksjoner og maritime systemer	Aktivitetsnummer 400009002
Gradering	
<input checked="" type="checkbox"/> Offentlig	<input type="checkbox"/> Begrenset
<input type="checkbox"/> Unntatt offentlighet	<input type="checkbox"/> Fortrolig
<input type="checkbox"/> Strengt fortrolig	
Involverte	
Hovedgruppe T-Flyttbare	Oppgaveleder Arne Kvitrud
Deltakere i revisjonslaget Narve Oma og Arne Kvitrud	Dato 19.12.2013

1 Innledning

Petroleumstilsynet (Ptil) gjennomførte tilsyn med Mærsk Drilling (Mærsk) 3. til 5.12.2012 hos Keppel FELS i Singapore. Tilsynet var knyttet til maritime systemer og bærende konstruksjoner på Mærsk Intrepid. 2.12.2013 var vi om bord på Mærsk Intrepid, og de øvrige dagene i prosjektlokalene til Mærsk Drilling.

2 Bakgrunn

Tilsynet har sin bakgrunn i at Mærsk 12.9.2013 søkte om samsvarsuttalelse (SUT) for Mærsk Intrepid.

3 Mål

Målet med tilsynet var å følge opp at Mærsk har gjort de nødvendige målinger og tiltak for å sikre seg at Mærsk Intrepid er i samsvar med petroleumsregelverket for maritime systemer og bærende konstruksjoner.

4 Resultat

Det ble avdekket avvik vedrørende utmattingsanalyser. Det ble også identifisert forbedringspunkter knyttet til vanntette dører, bruk av standarder og dempningsverdier for utmattingsanalyser.

5 Observasjoner

Ptils observasjoner deles generelt i to kategorier:

- Avvik: Knyttet til de observasjonene hvor vi mener å påvise brudd på regelverket.
- Forbedringspunkt: Knyttet til observasjoner hvor vi ser mangler, men ikke har nok opplysninger til å kunne påvise brudd på regelverket.

5.1 Avvik

5.1.1 Utmattingsanalyser

Avvik:

Det var ikke gjort utmattingsanalyser av innfestning av rør ("jetting pipes") mot legger.
Det var ikke gjort utmattingsanalyser av boretårnet.

Begrunnelse:

1. Det var ikke gjort utmattingsanalyser av innfestning av rør ("jetting pipes") mot legger.

Sjøfartsdirektoratets byggeforskrift § 6 punkt 2.6 krever at "*hvor utmatting kan forekomme på grunn av varierende belastning skal dette tas hensyn til ved konstruksjon og beregning.*"

DNV-OS-C104 Section 3 D 400 krever: "*The fatigue life shall be calculated..*" og i Section 4 G 101 "*repetitive loads, which may lead to possible significant fatigue damage, shall be evaluated. The following listed sources of fatigue loads shall, where relevant, be considered: — waves (including loads caused by slamming and variable (dynamic) pressures)... The effects of both local and global dynamic response shall be properly accounted for when determining response distributions related to fatigue loads.*" Etter vår vurdering passer flere av disse punktene for forholdene på Mærsk Intrepid. Tilsvarende krav finner en også i DNV-OS-C201 (Section 3 E 600 og I 101), DNV-RP-C104 (Section 7.1) og DNV-RP-C203 (Section 1.1).

Gusto MSC skrev (vedlegg til e-post fra Mærsk 10.12.2013): "*The jetting lines connections to the braces are not analyzed in detail in this project. They have been analyzed in the design of the Maersk Innovator / Inspirer, which have identical jetting lines, diagonal braces and design conditions. The relevant report has been shown during the audit. [Fatigue strength verification X-brace at splash zone CJ70-150-MC, P10159-3642 rev 0, June 12 2001]*".

Rørene går i et område langs leggene der de utsettes for betydelig lokal laster og det er ikke avklart i tilbakemeldingen fra Gusto MSC, hva som er beregnet utmattingsdelskade på innfestningene mellom vertikale rør og opplagerne ved leggene. Forutsetningene og konklusjonene for dette arbeidet mangler i rapporten for Mærsk Intrepid.

2. Det var ikke gjort utmattingsanalyser av boretårnet.

Boretårnet er ikke dekket av rammeforskriften § 3 jamfør innretningsforskriften § 1 bokstav a). Innretningsforskriften sier at "*rammeforskriften § 3 omfatter bare bestemmelser om forhold av maritim karakter som ikke er direkte knyttet til den petroleumsfunksjonen som innretningen skal utføre. Paragrafen omfatter ikke bestemmelser om: — bore- og prosessutstyr...*".

NORSOK N-001 punkt 7.2.5 om "Fatigue limit states" (FLS) krever "*Structures shall be designed to withstand the presupposed repetitive (fatigue) actions during the service life of the facility*" og punkt 6.4.2 om Repetitive actions and possible fatigue damage in topside structures krever blant annet: "*Flare towers, drilling towers, bridges, crane pedestals and other fatigue exposed structures should be given special attention*".

Mærsk (e-post av 10.12.2013) skrev at de hadde følgende informasjon fra DNV knyttet til utmattingsanalysen av boretårnet: *“For derrick designs we typically evaluate fatigue based on fatigue life of 20 years (70% in operation, 20% transit, 10% in harbor) with design factor of 1 due to 5-yearly inspection. During transit, except for field moves, it is assumed 0 set-back unless otherwise specified. For derricks with bolted connections according to API 4F and installed on jack-ups, it has been considered that fatigue is not critical to the design and thus not required as part of the design documentation. For floaters we require full fatigue analysis for derricks with welded connections while derricks with bolted connections are subject to fatigue analysis of foundation plates and welded gusset plates.”*

Det mangler en vurdering av utmattingslevetidene av boretårnet og opplagringene ved fundament iht. kravene i innretningsforskriften.

Krav:

Rammeforskriften § 3 om anvendelse av maritimt regelverk i petroleumsvirksomheten til havs. Sjøfartsdirektoratet: Forskrift 4. september 1987 nr. 856 om bygging av flyttbare innretninger, § 6 punkt 1.1 og 2.6.

DNV-OS-C104 Structural Design of Self-Elevating Units (LRFD Method), april 2012.

DNV-OS-C201 Structural Design of Offshore Units (WSD Method), oktober 2012.

Innretningsforskriften § 56 om bærende konstruksjoner og maritime systemer med veiledning. NORSOK N-001 Integrity of offshore structures, september 2012.

Normer:

DNV-RP-C203 Fatigue Design of Offshore Steel Structures, oktober 2012

DNV-RP-C104 Self-elevating Units, november 2012.

5.2 Forbedringspunkter

5.2.1 Vanntette dører

Forbedringspunkt:

Mærsk Intrepid hadde bare manuelle vanntette dører.

Begrunnelse:

DNV-OS-C301 krever at *“Frequently used watertight doors or hatch covers shall be arranged for emergency remote closing”*. Mærsk hadde ikke foretatt en vurdering av hvilke dører som falt inn under denne bestemmelsen.

Krav:

Rammeforskriften § 3 om anvendelse av maritimt regelverk i petroleumsvirksomheten til havs. DNV-OS-C301 Stability and Watertight Integrity, oktober 2013, Chapter 2, Section 2, punkt 3.6.1 om Operation and control of watertight doors and hatch covers.

5.2.2 Bruk av standarder

Forbedringspunkt:

Mærsk har ikke håndtert avvik fra normer i samsvar med rammeforskriften § 24 om bruk av anerkjente normer.

Designer har brukt andre formler for spenningskonsentrasjoner enn de som framgår av DNV-RP-C203.

I analysene er det brukt formelverk som er utenfor det området de er gyldige for.

Begrunnelse:

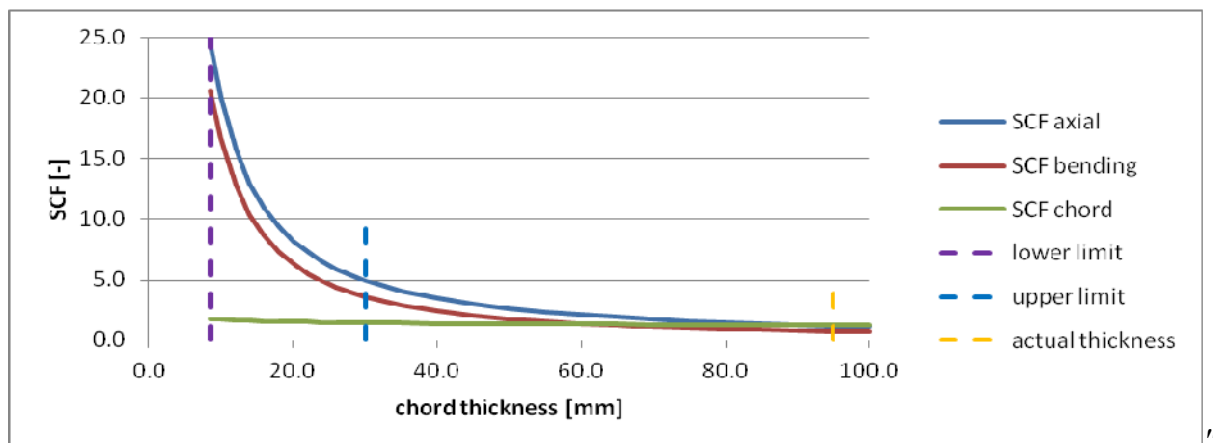
1. Det er brukt stål i leggene med flytegrense opp til 690MPa på Mærsk Intrepid. Det er gjort utmattingsanalyser i samsvar med DNV-RP-C203. Den sier "*This Recommended Practice is valid for steel materials in air with yield strength less than 960 MPa. For steel materials in seawater with cathodic protection or steel with free corrosion the Recommended Practice is valid up to 550 MPa*". Gusto MSC skrev (vedlegg til e-post fra Mærsk 10.12.2013): "*Limited information is available on welded joints in material with 690 MPa yield. The standard SN-curves of DNV-RP-C203 are used for the leg fatigue check. The fatigue report which clearly states this approach has been approved by DNV. During the design of Maersk Innovator / Inspirer SN-data for high strength steel was provided by the manufacturer of the leg material. This data indicated a better fatigue resistance than that of the standard SN-curves*".

Bakgrunnen for kravene i DNV-RP-C203 er gitt i HSE rapport OTH 92390, "Background to New Fatigue Guidance for Steel Joints and Connections in Offshore Structures", datert desember 1999, kapittel 4.8 (Use of Higher Yield Strength Steels). Denne rapporten underbygger en begrensning i anvendelse av SN kurver mht. flytegrense, i overensstemmelse med DNV-RP-C203.

2. Designer har brukt spenningskonsentrasjonsfaktorer i samsvar med artikkel P. Smedley og P. Fisher: "Stress Concentration Factors for Simple Tubular Joints", ISOPE 1991. Dette er ikke i samsvar med DNV-RP-C203 punkt 3.3.1 og Appendix B. Gusto MSC skrev (vedlegg til e-post fra Mærsk 10.12.2013): "*The Smedley and Fisher SCFs are used, not the Efthymiou SCFs included for guidance in DNV-RP-C203. For most of the leg structure the balanced axial loading at a K-joint is the most relevant loading, together with in-plane-bending. According to guidance from ABS the Efthymiou equations are not recommended for this specific loading condition. Based on the provided table S&F formulas are more widely applicable and therefore these are used in the fatigue analysis. [ABS Guide for the fatigue assessment of offshore structures, April 2003].*"

Det er benyttet en annen norm (ABS) enn det som er basis for utmattingsberegningene (DNV).

3. Designer har brukt formelen i P. Smedley og P. Fisher for $\gamma = D/2T$ langt utenfor det området den er gyldig for. Gusto MSC skrev (vedlegg til e-post fra Mærsk 10.12.2013): "*The gamma parameter for the tubular joint SCF formula is outside of the validity range. The gamma parameter denotes the wall thickness to radius ratio of the chord member. Jack-up leg chord structures have significantly larger wall thicknesses than normal structural tubular members (pipes), so the formulas are developed for a different range, and SCFs for the chord members can be considered as an extrapolation of the results. Investigating the values of the SFCs for increasing wall thickness from inside the applicable area to the actual wall thickness shows a smooth less than linear reduction in SCF, as is expected with an increasing wall thickness. The calculated SCFs are considered to be applicable for the chord brace node. Application of these SCFs, the value of gamma and the fact that this is outside the validity range are clearly mentioned in the fatigue report which has been approved by DNV.*"



Det framgår ikke fra dokumentasjonen fra Gusto MSC at spenningskonsentrasjonsfaktorene er anvendelige for aktuelt D/2T forhold. I publikasjonen "Advanced SCF formula for simple and multi-planar tubular joints" av P.A. Smedley (TUBULAR STRUCTURES - INTERNATIONAL SYMPOSIUM, side 329-338, 2003), som er en oppdatering av P.A. Smedley og P. Fishers ISOPE publikasjon, gjengis følgende: "*For any parameter outside the range of applicability, a check should be made with the true parameter and also with the limiting value, and the largest absolute SCF or stress adopted accordingly*".

Krav:

Rammeforskriften § 24 om bruk av anerkjente normer.

Rammeforskriften § 3 om anvendelse av maritimt regelverk i petroleumsvirksomheten til havs.

Norm:

DNV-RP-C203 Fatigue Design of Offshore Steel Structures, October 2011.

5.2.3 Dempningsverdier for utmattingsanalyser

Forbedringspunkt:

Det var brukt en dempning på 4 % av kritisk i utmattingsanalysene. Det er større enn det som er typisk observert fra målinger av oppjekkbare innretninger i sjøtilstander av betydning for utmatting.

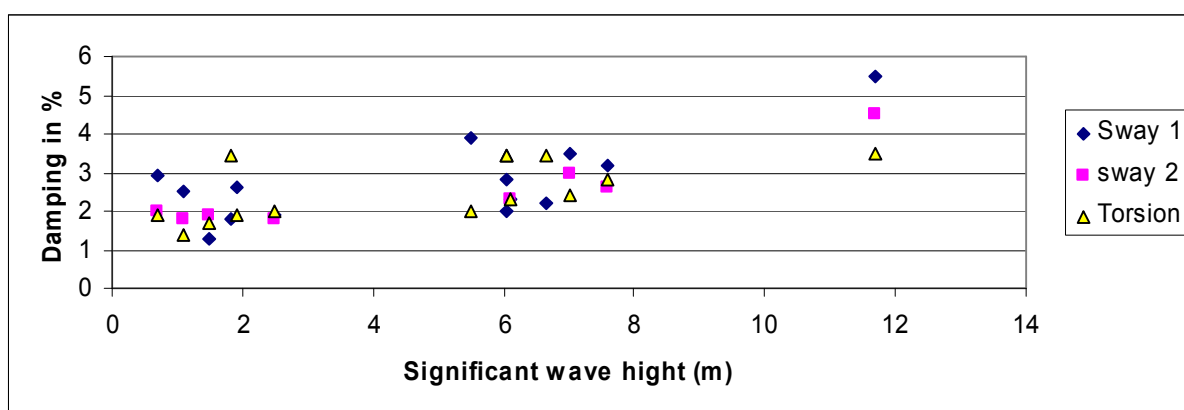
Begrunnelse:

Det er gjort målinger av flere oppjekkbare innretninger gjennom årene. Målt dempning vil inneholde konstruksjonsdempning, fundamentdempning, hydrodynamisk dempning, dempning fra jekkesystemet med mer. Målingene i seg selv skiller ikke hva som kommer fra hvilken kilde. De målingene vi har tilgang på er:

Hambly mfl (Hambly E C, G R Imm og B Stahl: Jackup performance and foundation fixity under developing storm conditions, OTC 6466, Houston, 1990) angir at de for riggen Rowan Gorilla II på Arbroath i Nordsjøen har målt dempning. Vanddypet er 93m. Dempningen er 2 % for lave sjøtilstander til 5 % for høye. Disse tallene er basert på bredden ved spektertoppen, og kan være noe høy ved høye sjøtilstander siden båndbredden er påvirket av jackupens egenperiode. Egenperioden endres med sjøtilstanden fra 3,9 sek til 4,4 sek ved store bølger. Den største sjøtilstanden som ble målt var $H_s=8m$. De angir at en økning av dempningen fra 2 til 5 % bare øker maksimalmomentet på toppen av leggene med 2 %.

Brekke med flere (*Brekke J N, J D Murff, R B Campbell og W C Lamb: Calibration of jackup structural analysis procedure using field measurements from a North Sea jack-up, OTC 6465, Houston, 1990*) finner et best estimat på dempning på 1,8-2,8 % for Maersk Guardian. De hadde bølger opp til 7,5m på Silver Pit.

Brichmann og Brekke (*Brinkmann Carl R og James N Brekke: Maersk Guardian Jack-up measurements at Ekofisk 2/4-W Location, Exxon production research company, Houston, EPR.79PS.93, draft juli 1993*) har undersøkt Maersk Guardian for vinteren 1990/1991. Den sto da på Ekofisk. Egenperiodene for jackupen var 5-6 sekunder, og den signifikante bølgehøyden var opp til 11,7m. Enkeltbølger var opp til 22m. I denne bølgen var den totale dynamiske forsterkningen ikke mer enn 1,10. Sterndorff (*Sterndorff M J: Note on ringing effects for the Maersk Guardian, DHI, Hørsholm, 24.9.1993*) har gjort det samme. Han oppgir den første egenperioden til å være 5,95 sekunder i den største stormen. I vedlegg E gir han dempningsverdier som vi har plottet mot Hs (i meter) nedenfor. Han gir dempningsverdiene beregnet som en middelvei og ett standardavvik. Den største dempningen har en verdi på 5,5 % med et standardavvik på 1,2 %.



Figur 1: Dempning i % for de tre første svingeformene av Maersk Guardian på lokasjon 2/4-W og Silver Pit plottet mot Hs (i meter). Etter tabellopplysninger hos Sterndorff (1993) og Brekke (1990). Sterndorff har i tillegg for hver dempningsverdi beregnet middelvei og standardavvik, men det er ikke vist her.

Karunakaran med flere (*Karunakaran D, M Bærheim og N Spidsøe: Measured and simulated dynamic response of a jackup and a large jack-up platform in North Sea, OTC 8827, Houston, 1998*) har regnet på og analysert målinger fra West Epsilon. Den var utstyrt med skjørt. Den er analysert for tre stormtidspunkter med Hs på 9,0-9,3m. De finner egenperioder og stivheter som samsvarer bra med beregningene, men de sier ikke noe om hvordan beregningene er utført. Det er nært lineær rotasjonsstivhet, og med bare en beskjeden hysteresis. For å få beregningene til å stemme for maksimal respons bruker de 3,5 % dempning. For de påfølgende bølgeene bruker de 4,5%. Om de antar at det ikke er strøm, passer 5,5 % best. Det er ikke målt strøm.

Morandi med flere (*Morandi A C, D Karunakaran, A T Dixon, M Bærheim: Comparison of full-scale measurements and time domain irregular sea analysis for a large deepwater jack-up, OTC 8828, Houston, 1998*) har også analysert West Epsilon dataene med skjørt. De fikk best tilpasning ved å bruke 5,5 %.

Etube med flere (L.S. Etube, F.P. Brennan og W.D. Dover: Modelling of jack-up response for fatigue under simulated service conditions, Marine Structure, 12, 1999, side 327-348)

analyserte også data for Mærsk Guardian på Ekofisk og Silver Pit. De skriver blant annet "... *there is a very close match in the model and service transfer functions for 4 and 5.5% damping, respectively, using data obtained from the Silver Pit and the Ekofisk complex in the North Sea.*" De oppgir ikke bølgehøydene for de dataene de analyserte og heller ikke hvilke responsparametre de har analysert. Resultatene ser ut til å samsvar med noen av resultatene i figur 1 for "sway 1"-svingeformen.

I 2012 skrev Talisman (Yme main structure, 9th May 2012 – Input Ptil meeting) om dempning på Yme: "*Atkins has calculated lower fatigue life than SBM and the lowest fatigue life at the highest utilised girth weld is approximately 12 years when utilising a damping of 2%... Atkins has calibrated their analyses models towards the actual measured data for damping and natural periods in their calculations*". Yme har et annet fundament enn det som er vanlig.

Gusto MSC skrev (vedlagt e-post fra Mærsk 10.12.2013) "*Some papers indicate damping values below 3% for low (fatigue) sea states. These damping measurements are derived from measured motion response using a statistical analysis method. This statistical analysis method probably does not take into account non-linearities such as the 2nd order wave loads and the effect of leg spacing in the overall base shear of a 3-legged jack-up and may therefore produce low estimates. It is concluded in subsequent papers that using this low damping in analysis models tends to over-predict the true dynamic behavior near resonance. Other papers using a more relevant method to derive the damping from measurements conclude on damping values ranging from 4% to 5.5%. [Etube e.a. (1999), OTC8827 & OTC8828].*" Artiklene OTC8827 og OTC8828 er om West Epsilon med skjørt, som er en annen fundamentløsning enn det som ligger til grunn for analysene for Mærsk Intrepid, og analysene er for høyere sjøtilstander enn de som normalt bidrar mest til utmatting. Artikkelen til Etube med flere ser også ut til å omhandle høyere bølgehøyder uten at det er angitt spesifikt.

Krav:

Rammeforskriften § 3 om anvendelse av maritimt regelverk i petroleumsvirksomheten til havs, jamfør Sjøfartsdirektoratets byggeforskrift (nr 87/856) § 6 punkt 1.1.

Norm:

Det Norske Veritas: DNV-OS-C104, Environmental Conditions and Environmental Loads, kapittel 4.4.5 Damping, november 2012.

6 Andre kommentarer

Vi merket oss som positivt at Mærsk Intrepid hadde øket dimensjonerende kollisjonsenergi utover det som framgår av DNV-OS-standardene. Stedsspesifikke kollisjonsanalyser viser flere steder at en får større kollisjonsenergier enn 14MJ med en årlig sannsynlighet på 10^{-4} . Den økte kollisjonsenergien kan hjelpe på behandlingen av stedsspesifikke samtykker. Se også vår pressemelding: <http://www.ptil.no/nyheter/risiko-for-kollisjoner-med-besokende-fartoe/article7484-24.html> og DNV-OSS-201 om N-notasjon.

Det var en god del maritimt utstyr som ikke var TAG-merket. Vi ble forklart at 60 personer arbeidet med å få dette ferdig til rett tid. Vedlikeholdsdata var ikke lagt inn enda.

En god del maritimt utstyr var ikke så ferdigstilt, at det gjorde tilsyn der hensiktsmessig. Vi merket oss blant annet at sentralt kontrollrom ikke var ferdigstilt, det manglet terser på luker

på dekket og det var brukt feil farge på lys ved en vanntett dør. Mærsk anga at dette ville bli brakt i orden.

Vi merket oss at Mærsk hadde valgt å ikke utføre bruddmekanisk testing (CTOD-testing). Det vil begrense innretningens muligheter til å kunne brukes som produksjonsinnretning. DNV-OS-C101 Sec.4 D 400 Fracture mechanics (FM) testing 401 krever at *"For units which are intended to operate continuously at the same location for more than 5 years, FM testing shall be included in the qualification of welding procedures for joints"*. Det er videre gjort utmattingsanalyser for vanddypp opp til 135-140m, som vil begrense vanddyppet for langtidsbruk.

Mærsk Intrepid har en høy metasenterhøyde ($GM = 46m$), som innebærer at den når den flyter vil få store bevegelser i bølger.

Designer brukte i stor grad egenprodusert programvare, som ikke var spesifikt DNV-godkjent.

Det var enda ikke utført krengeprøve, slik at analyserapportene enda ikke hadde ivarett endringene i vektorer og tyngdepunkter. Analyserapportene var heller ikke oppdatert i forhold til vektrapportene. I vektrapporten var helikopterdekket ca. 300 tonn. Det var vesentlig større enn vektene som var brukt i konstruksjonsanalysene av helikopterdekket og for boligkvarteret, som brukte ca. 200-250 tonn. I e-posten av 10.12.2013 opplyste Mærsk at Gusto MSC i en ny utgave av analysene dagen før, hadde oppdatert helikopterdekkrapporten med nye vektorer.

7 Deltakere fra Petroleumstilsynet

Narve Oma og Arne Kvitrud.

8 Dokumenter

Følgende dokumenter ble benyttet under planlegging og gjennomføringen av aktiviteten:

- Gusto MSC: Impact and damage stability analysis CJ70-X150-MD 30.3.2011.
- Gusto MSC: Structural analysis for impact with 10000 t vessel, 6.7.2012.
- Gusto MSC: Fatigue Assessment Cantilever, CJ70-X150-MD, 14.02.2013.
- MSC: Fatigue Strength Assessment, CJ70-150-MC, 26.03.2001.
- MSC: Fatigue Analysis Mærsk Inspirer on Volve, P10923-4640, 15.03.2007.
- MSC: Overall Basic Design Report, CJ70-X150-MD, 18.04.2012.
- Gusto MSC: Fatigue Assessment CJ70-X150-MD, 11.04.2012.
- Keppel FELS: MSC-CJ70-X150-MD Offshore drilling unit, Tank capacity plan, Main hull, 8.7.2012.
- Keppel FELS: MSC-CJ70-X150-MD Offshore drilling unit, Leg structure, 31.7.2011.
- Maersk Drilling: MSC-CJ70-X150-MD Mobile offshore drilling unit, 14.10.2011.

Vedlegg A

Oversikt over personell som deltok under tilsynet.