

**Driftserfaringer av offshore stålkonstruksjoner,
med fokus på de innrapporterte skadene på bærekonstruksjonene,
og knyttet mot årsaker og tiltak.**

Arne Kvitrud og Roger L Leonhardsen
Oljedirektoratet,
postboks 600,
4003 Stavanger

NORSK STÅLFORENING,
Oslo 31.5.2001
Driftserfaringer av stålkonstruksjoner til lands og til vanns.

INNHOLDSFORTEGNELSE

INNLEDNING	3
STORULYKKER	4
TILLØP TIL ULYKKER – TRENDER I PERIODEN 1990-2000	7
KONSTRUKSJONSSKADER OG KONSTRUKSJONSRELATERTE HENDELSER	7
KOLLISJON MED FARTØYER SOM IKKE ER FELTRELATERTE	10
KOLLISJON MED FELTRELATERT TRAFIKK	12
DRIVENDE FARTØYER ELLER GJENSTANDER PÅ KOLLISJONSKURS	15
PROSESSLEKKASJER	16
BRANNER	18
ERFARINGER MED FASTE STÅLKONSTRUKSJONER	20
SPREKKER	20
STORMSKADER	23
MÅLING AV KONSTRUKSJONSOPPFØRSELEN PÅ JACKETER	23
DEMPING AV JACKETER	24
EROSJON	24
MARIN BEGROING	25
ERFARINGER MED JACKUP INNRETNINGER	27
FUNDAMENTERINGEN	28
FULLSKALAMÅLINGER	28
ERFARINGER MED HALVT NEDSENKBARE PRODUKSJONSINNRETNINGER OG TLP-ER	30
VESLEFRIKK B	30
SNORRE A	30
ERFARINGER MED FLYTENDE PRODUKSJONSINNRETNINGER	32
INNLEDNING	32
“GRØNNSJØ”-HENDELSER	32
LASTE- OG BALLASTTANKER	34
TURRET	34
PROBLEMER MED RETNINGSKONTROLLEN	34
ERFARINGER MED FORANKRINGSSYSTEMER	36
SKADER OG HENDELSER PÅ OG FORÅRSAKET AV FORANKRINGSSYSTEMER 1990-2000	36
BRUDD I ANKERLINER – STATISTIKK FRA NORSK SOKKEL	38
ERFARINGER MED FLAMMETÅRN OG HELIKOPTERSTØTTER	39
STATFJORD A	39
HEIMDAL	40
STATFJORD B	41
STATFJORD C	41
GULLFAKS B	41
ODIN	42
VALHALL - PCP	42
JOTUN B - STØTTER TIL HELIKOPTERDEKK	42
ÅSGARD B – SKRÅSTAG SOM UNDERSTØTTER HELIKOPTERDEKKET	43
REFERANSER	44

INNLEDNING

Vi er blitt bedt av Norsk Stålförening om gi en presentasjon av driftserfaringer av offshore stålkonstruksjoner, med fokus på de innrapporterte skadene på bærekonstruksjonene, og knyttet mot årsaker og tiltak. Vi har forsøkt å løse den oppgaven ved å gi et overblikk over erfaringer med stålkonstruksjoner på norsk sokkel. Vi vil beskrive:

- a) storulykker og utviklingen av hendelser på norsk sokkel,
- b) erfaringer med jacketkonstruksjoner,
- c) erfaringer med produksjonsskip,
- d) erfaringer med halvt nedsenkbare produksjonsinnretninger,
- e) erfaringer med forankringssystemer
- f) erfaringer med flammestårn og støtter til helikopterdekk.

Vi vil kople beskrivelsen opp mot forklaringer på hendelser og til en viss grad beskrive utvikling i antall hendelser over tid. Det er ikke gjort noe forsøk på å gi fyldige beskrivelser av alle hendelser, men heller korte beskrivelser med henvisning til dokumenter og artikler der det er mulig å finne flere opplysninger.

Deler av teksten er på engelsk der det har vært enkelt å legge inn beskrivelser fra dokumenter og artikler som allerede er på engelsk.

Hendelsene som er beskrevet i denne artikkelen er ikke en fullstendig gjennomgang av hendelser, skader og erfaringer på norsk sokkel, men et utvalg som er gjort for denne presentasjonen.

STORULYKKER

Tapet av Sleipner var den foreløpig siste i rekken av totaltap av innretninger en har hatt på norsk sokkel. De andre er Frigg DP1, Alexander Kielland og West Gamma. Vi har altså mistet en jacket, en halvt nedsenkbar flytende innretning, en jackup og en betongkonstruksjon. Det er bare Alexander Kielland ulykken som har ført til direkte tap av menneskeliv. De øvrige har vi sluppet unna med "bare" betydelige økonomiske konsekvenser.

Vi vil kort gjennomgå årsakene til de ulykkene vi har hatt i norsk petroleumsvirksomhet.

1. Tapet av Frigg DP1 12.10.1974 skjedde da jacketen skulle installeres på Frigg. Flere ballasttanker som skulle holde jacketen flytende når den ble manøvrert på plass, var underdimensjonert. De som besøkte Frigg kunne inntil nylig se deler av jacketen stikke opp av havet. Barrieren her var uavhengig verifikasjon.
2. Tapet av Alexander Kielland 27.3.1980 var direkte forårsaket av en sveisefeil. En liten sprekk fikk lov til å utvikle seg, til den til slutt rev av et stag. Uten staget var innretningen ustabil og veltet. Den bakenforliggende årsak til ulykken lå også i dimensjoneringen av innretningen som tillot at en liten feil kunne gi slike konsekvenser. Barrieren her var at både prosjektering og bygging var sertifisert.
3. Tapet av West Gamma 21.8.1989 var direkte forårsaket av dårlig sjømannskap. Utstyret på dekk var ikke festet tilstrekkelig. Når det ble storm, forskjøv lasten seg, innretningen ble ustabil og havarete. Det var her knapt noen barriere.
4. Tapet av Sleipner A-1 23.8.1991 var i hovedsak forårsaket av en feil gjort i en analyse. Celleveggene som var underdimensjonert sprakk opp, vannet strømmet inn og hele innretningen sank. Barrieren her var uavhengig verifikasjon, utført av et selskap innleid av Statoil.

I alle disse tilfellene kan en stille seg spørsmålet om en burde ha innretninger hvor feil får slike følger. I praksis kan en ikke hindre alle typer feil, en må leve med en risiko. Denne risikoen skal likevel være så lav at en kan leve med den. Tap av understell er en så alvorlig hendelse at vi har prøvd å sette strengere krav til sikkerhet mot sammenbrudd av konstruksjonene enn mot andre ulykker.

Hovedprinsippet må være at arbeid skal gjøres rett første gangen, men et annet hovedprinsipp må være at en skal legge inn barrierer. August Strindberg skrev engang at det er ikke våre dyder, men våre feil som gjør oss til mennesker. Folk gjør feil, men de skal fanges opp før det kan skje noe vesentlig skade. Boreforskriften krever ekstra barrierer i brønnene. I beregningene av bærende konstruksjoner legger vi inn barrierer ved at vi krever spesifiserte sikkerhetsfaktorer eller reservestabilitet. Vi legger også inn en barriere når vi krever at uavhengige gjør omfattende gjennomganger av beregninger og tegninger (verifikasjon).

Det viktigste elementet i selve dimensjoneringen er å få en sikker og robust konstruksjon. Det styrer vi i hovedsak gjennom det tekniske regelverket vårt, men også ved det tilsynet vi utfører mot operatørene og mot de som gjør prosjektering, bygging og installering.

Forskrift om bærende konstruksjoner sier at vi skal dimensjonere konstruksjonene for å tåle det en populært kaller for hundreårsbølgen. I tillegg legger vi inn ekstra sikkerhetsfaktorer (lastfaktorer). Styrken på materialet beregnes ved at en må legge seg på en lav %-del av de

målte styrekverdiene, og at det legges på en ekstra sikkerhetsfaktor (materiefaktoren). Samlet skal dette dekke de naturlige usikkerheter i laster og styrke av konstruksjoner. Det skal i teorien ved bruk av pålitelighetsmetoder gi en årlig sannsynlighet for brudd som er i størrelsesorden 10^{-4} til 10^{-5} per år.

I tillegg krever vi utført risikoanalyser. Ulykkeslaster som opptrer med en frekvens hyppigere enn 10^{-4} per år skal en så dimensjonere for.

Regelverket blir også utfordret av oljeselskapene og de som dimensjonerer. Kravene til billigere og mer optimale løsninger krever at man stadig går løs på - og spiser opp alle ekstra marginer eller ekstra sikkerhet som man tidligere la inn når en var usikker. Det lages stadig prosjekter hvor oppgaven er å øke kunnskapen, og med det gi mer presise verdier. Det vil i de fleste tilfellene gi lavere faktisk sikkerhet enn før, fordi de tillater stadig mer optimalisering. Vi har en stor utfordring i å følge med faglig og i å virke som bremse for nye uprøvde eller udokumenterte løsninger. Et eksempel her er Heidrun og Draugen hvor en optimaliserte geometrien for å få de bølgestene en kjente så lave som mulig. En endte da med en konstruksjon som pådro seg store andre ordens laster (ringing) som var ukjente da en optimaliserte. Dersom en optimaliserer på den en kjenner blir betydningen av det en ikke kjenner desto større.

Vi er avhengig av godt sjømannskap, men som det ble vist ved tapet av West Gamma er det en skjør forholdsregel. Den nye innretningsforskriften til Oljedirektoratet som trer i kraft 1.1.2002 vil ha krav om kontroll av at ingen enkeltfeil under bruk skal føre fare- eller ulykkessituasjoner. Etterlevelsen av bestemmelsen er likevel i praksis vanskelig. På den Canadiske riggen Ocean Ranger sviktet det automatiske ballastsystemet under en storm for noen få år siden. Hadde alle gått og lagt seg til å sove, ville alt gått bra. I stedet foretok mannskapet en manuell og ukyndig operasjon av ballastsystemet som førte til at hele riggen gikk ned og alle døde.

Vil vi så kunne hindre storulykkene? Etter Alexander Kielland kom det vesentlig strengere krav til utmatting. For konstruksjonsdeler hvor brudd kan få betydelige konsekvenser, har vi etter Alexander Kielland øket sikkerhetsfaktoren fra 1 helt opp til 10 i visse tilfeller. Konstruksjonene skal da tåle 10 ganger så mange lastsvingninger som det ble krevd tidligere. Det er også en differensiering ut fra alvorlighetsgrad og muligheten for inspeksjon. Utmattingssprekker har forekommet og forekommer jevnlig på de konstruksjonene vi har. Når sprekker blir oppdaget, blir de reparert eller fulgt opp med jevnlig inspeksjon.

Ulykken med Alexander Kielland ga ikke bare skjerpelse med hensyn til utmatting, men også til stabilitet i skadet tilstand. Sjøfartsdirektoratet ga da ut et skjerpet regelverk som i hovedsak er adoptert av oss etterpå. OD har likevel ikke hatt fullt så strenge krav som Sjøfartsdirektoratet for en innretninger, dersom en risikoanalyse viser at det ikke er behov for reserveoppdriften. Med innretningsforskriften som trer i kraft 1.1.2002 vil vi vise direkte til Sjøfartsdirektoratets regelverk. I tillegg til stabilitetskravene for flytere, innførte vi etter Alexander Kielland ulykken også krav til alle konstruksjoner i skadet tilstand. I skadet tilstand etter en ulykkeslast skal konstruksjonene fortsatt tåle en hundreårsbølge, men vi krever ikke da at det skal legges inn ekstra sikkerhetsfaktorer.

Vi har altså ikke alltid fysiske barrierer om noe skulle gå galt. For eksempel vil hull i de nedre deler av skroget på flytende betongkonstruksjoner kunne føre til at hele innretningen kan synke. Våre barrierer mot feil er :

- at en ulykkeshendelse som kan gi hull i nedre del av skroget er meget usannsynlig
- i at feil ved dimensjoneringen skal fanges opp av verifikasjonen.

Vi har likevel strenge krav til styrke og stabilitet i skadet tilstand; strengere enn det en vil finne i de fleste andre lands regelverk. Fra 1.2.2002 får vi fra innretningsforskriften også krav om kontroll av enkeltfeil.

Storulykker har hendt i norsk petroleumsvirksomhet. Vi har et regelverk og et kontrollsystem som forebygger ulykker, men vi må realistisk se i øyene at ikke noe system er perfekt. Vi har noen krav som er strengere og til dels mye strengere enn en del andre land. Dette er krav som i stor grad kom etter ulykken med Alexander Kielland. Etter Sleipner har vi skrudd kravene til betongkonstruksjoner opp et lite hakk. Men kan det skje igjen? Svaret må være ja. Vi øker kravene når det skjer noe galt - "alle" sjekker at det samme ikke skal skje igjen. Etter en stund er det meste likevel glemt. Det går jo så bra. "Herald of free Enterprise" havarerte, og Estonia havarerte trolig av en liknende årsak. Frigg DP1 sank, og Sleipner A-1 sank av en liknende feil. Lærekurvene er ikke alltid perfekte. I dag er de anbefalingene som ble gitt etter tapet av Sleipner i ferd med å bli glemt.

Ulykken med Alexander Kielland er den største tragedien som har rammet petroleumsvirksomheten i Norge. Bruken av halvt nedsenkbare innretninger (semier) har likevel fortsatt som før. Det samme gjelder jacketer og jackuper. Tapet av Sleipner har ført til en "tillitskrise" for hele betongindustrien. Operatører i Norge velger bort betongalternativet allerede i en tidlige fase. En sikker innretning er likevel like mye knyttet til gode rutiner, godt regelverk, god kompetanse både for den som gjør prosjektering, fabrikkasjon og de som foretar operasjoner til havs, som av valg av materialer og utbyggingsløsning.

Vår oppgave er å være med på å sikre fullt forsvarlig sikkerhet og arbeidsmiljø. Det gjelder både for de som blir direkte og de som blir indirekte berørt. Tapet for de som mister noen av sine kjære er stort, men det er også lidelse hos andre som en gjerne ikke tenker så mye på. Tapet av Sleipner var også en stor menneskelig påkjenning for de som hadde gjort feilene. Vi er mennesker og gjør derfor også feil.

TILLØP TIL ULYKKER – TRENDER I PERIODEN 1990-2000

I tillegg til de mest alvorlig hendelsene som kommer i presse og kringkasting er det en lang rekke hendelser og skader på konstruksjonene som de fleste ikke får høre noe om. Vi har vår database over slik hendelser (CODAM) på produksjonsinnretninger som ble påbegynt i 1976 og DNV har en tilsvarende database for de mobile innretningene ("The damage data base") som ble påbegynt i omkring 1985. Sammen gir de to databasene en oversikt over de fleste innretningene på norsk sokkel. Verken vi eller DNV har dekket mobile innretninger som er klassifisert i utenlandske klassifiseringsselskaper.

For å registrere og kunne sammenstille skader på og hendelser i forbindelse med bærende konstruksjon og rørledningssystem har OD opprettet en database kalt CODAM (CORrosion and DAMage). Databasen inneholder også nøkkeldata for installerte innretninger og rørledningssystem på norsk sokkel.

Innrapporteringen av skader og hendelser finner sted årlig, enten elektronisk (e-post eller diskett) eller manuelt (skjema), i forbindelse med innsendelse av tilstandsevalueringsrapport for hhv. bærende konstruksjon og rørledningssystem. Skader og hendelser av stor kritikalitet for rørledningssystemets eller konstruksjonens integritet varsles imidlertid direktoratet omgående. Det er utarbeidet ett veiledningshefte, med tilhørende rapporteringskriterier, som gir en innføring i hvordan rapporteringen skal skje.

Opplysninger fra CODAM databasen benyttes som underlag for å utarbeide statistikk og trender, til interne- og eksterne studier, ved tilsynsaktivitet, for informasjon til interne og eksterne brukere. Informasjonen i databasen er offentlig tilgjengelig informasjon og kan etterspørres ved henvendelse til OD. Nå er det innrapportert totalt ca. 5600 skader og hendelser. Disse fordeles med 2290 rapporteringer på rørledningssystem og resterende 3320 på bærende konstruksjoner. Melder klassifiserer skadene og hendelsene i følgende nivå: "Insignificant" (ubetydelig skade eller hendelse), "Minor" (liten skade eller hendelse) eller "Major" (alvorlig skade eller hendelse). Rørledningssystem- og innretning historikk delen dekker nøkkelopplysninger om alle rørledningssystem (transportrørledninger og feltrørledninger) og alle permanent installerte innretninger på norsk sokkel. Ved årsskiftet 2000/01 er det 103 innretninger, fordelt på 89 jacket'er, GBS'er og TLP'er og 14 FPU'er, FPSO'er og semier, på sokkelen.

De mest oppdaterte sammendrag av innhold I CODAM finner en i artiklene av Hamre et al (1991) and Leonhardsen et al (2001).

Konstruksjonsskader og konstruksjonsrelaterte hendelser

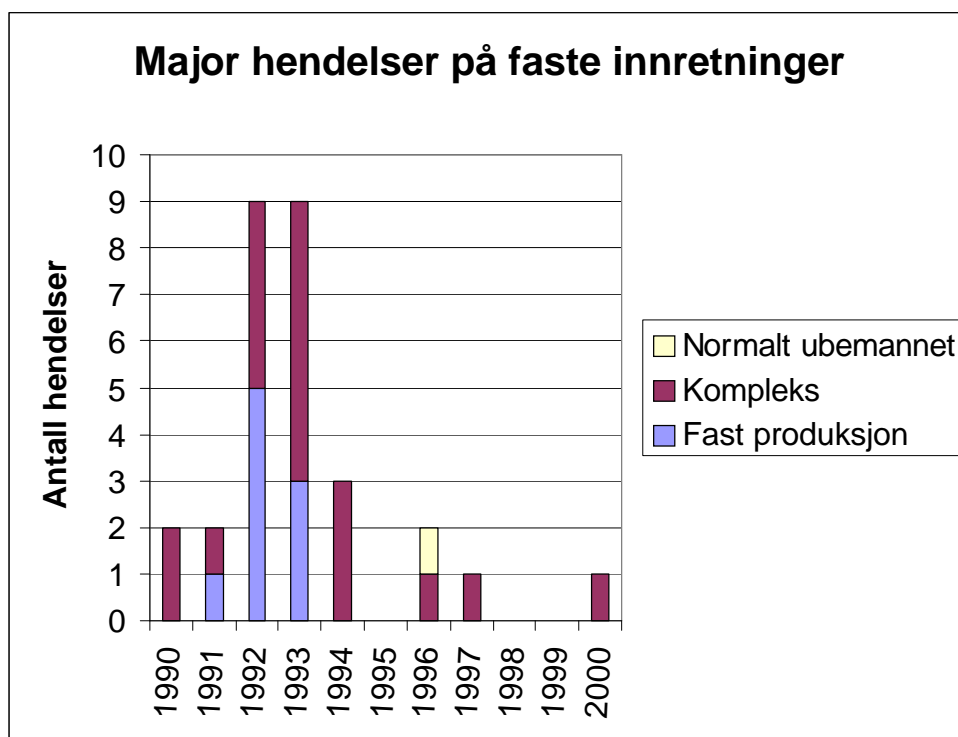
Større ulykker knyttet til konstruksjoner er sjeldne. De mest alvorlige hendelsene er beskrevet over. Selv om det er noen svært alvorlige hendelser, er de for få til å kunne måle trender. Vi har derfor måttet velge hendelser og skader med mindre alvorlighetsgrad som mål for endringer i risikoen, og antatt at det er en sammenheng mellom antall mindre hendelser og de alvorligste (Hale, 2000). I tillegg er det en rekke større og mindre hendelser og ulykker. Det er likevel ikke noen klar sammenheng mellom antall mindre hendelser og storulykker. Det er likevel ikke uvanlig å regne med at det er en sammenheng, - ved at mange små hendelser kan føre til flere større hendelser.

Med unntak av de flyttbare innretningene er det ved denne sammenstillingen tatt utgangspunkt i de skadene som operatørene har klassifisert som "major" i CODAM. Det er brukt data fra 1990-2000. Det er videre gjort en vurdering av om skadene har et storskadepotensiale.

For faste innretninger er det tatt med major hendelser i CODAM, men med unntak av:

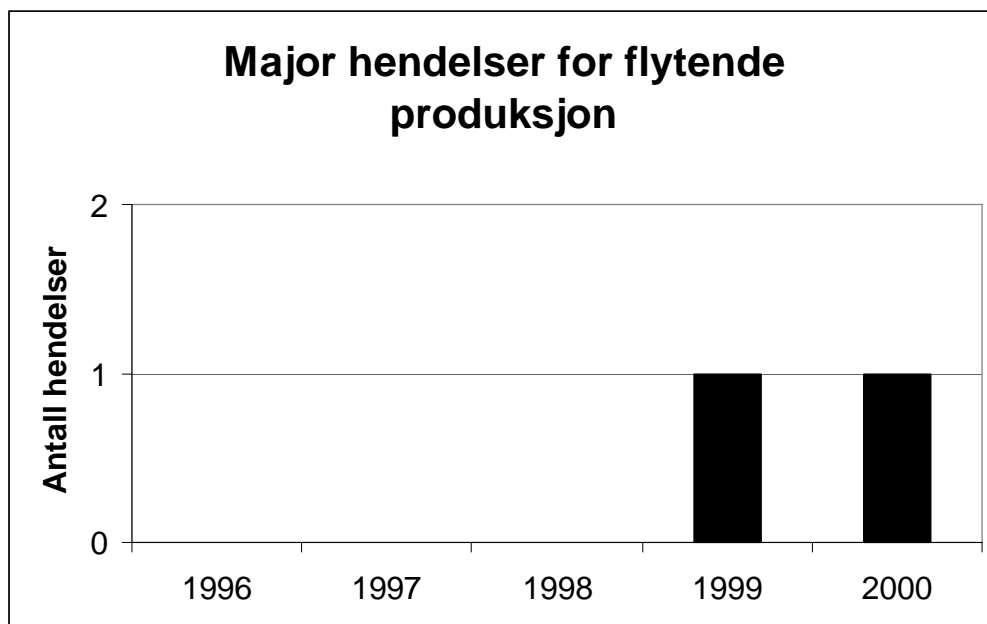
1. Skader i flammetårn og kranpidestall - de har liten betydning for storulykker, men kan likevel gi bidrag til mindre ulykker.
2. Sprekker og skader i conductor-rammer og caissoner - da de bidrar lite til storulykker.
3. Kollisjonsskader - da de er dekket nedenfor.
4. Fallende gjenstander da det dekkes nedenfor.
5. Skader som følge av brann og eksplosjoner.

Figuren nedenfor viser major hendelser knyttet til konstruksjoner. Figuren viser at det fra 1993 er en klar nedadgående trend i utviklingen. Alle skadene er på innretninger som er bygget før 1986.



Figur 1: Antall alvorlig (major) hendelser på konstruksjoner og knyttet til marine operasjoner 1990-2000.

For flytende produksjonsinnretninger er det i figur 2 i tillegg til det som framkommer i CODAM som "major" lagt til en "grønnsjø" hendelse, tre ankerlinebrudd og et produksjonsskip med "drag chain" som lå feil vei mot været i storm. Antall hendelser er lavt. Økningen de siste årene har nok en sammenheng med økt bruk av flytende produksjonsinnretning.

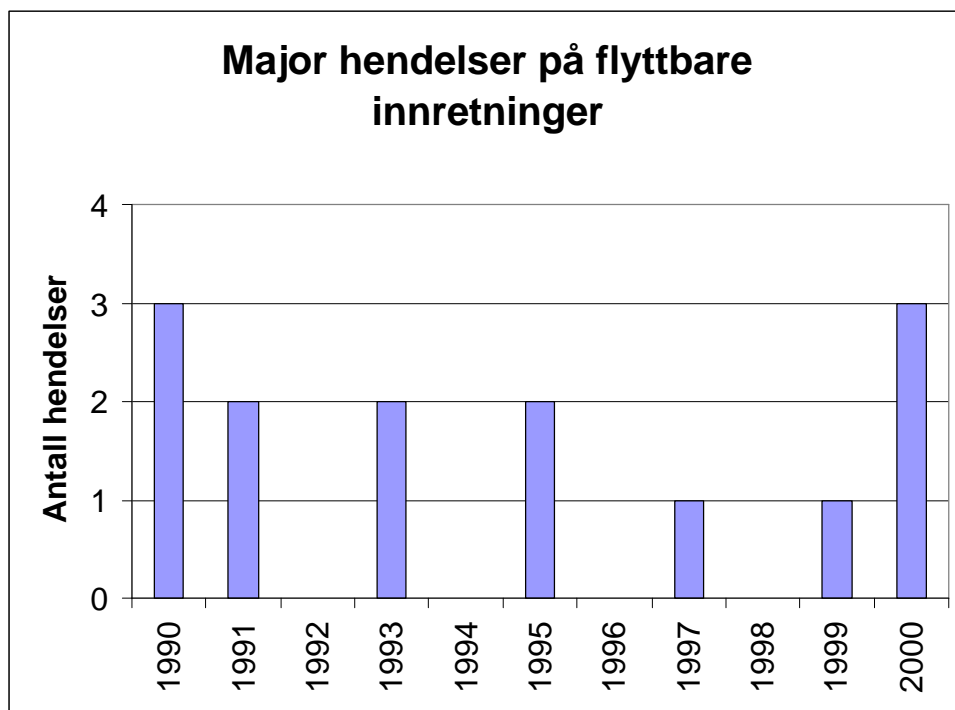


Figur 2: Antall alvorlig (major) hendelser på flytende produksjonsinnretninger 1990-2000.

Flyttbare innretninger er som nevnt ikke dekket av CODAM. For flyttbare innretninger er det foretatt en gjennomgang av innrapporterte hendelser i ODs hendelsesdatabase, i vårt journalsystem og annen tilgjengelig informasjon. Hendelser knyttet til flyttbare innretninger som vi har definert som relevante og på samme nivå som hendelsene for faste innretninger er skjønsmessig bestemt å være:

1. Tap av minst en ankerline.
2. Rigger som er tatt til land for utbedring etter funn av skader eller sprekker utenom klassifiseringsperiodene.
3. Hendelser i storm: tap av slepelinere og alvorlig erosjon.
4. Hendelser med DP-systemer.

Det er ingen markert trend for 1990-tallet samlet, men det kan virke som om nivået har nådd et lavt nivå, for så å gå opp igjen. Vi har ikke noen klar årsak til disse endringene, men det er kanskje ikke uventet ut fra at alderen blir stadig høyere på de fleste av disse innretningene.



Figur 3: Antall alvorlig (major) hendelser på flyttbare innretninger 1990-2000.

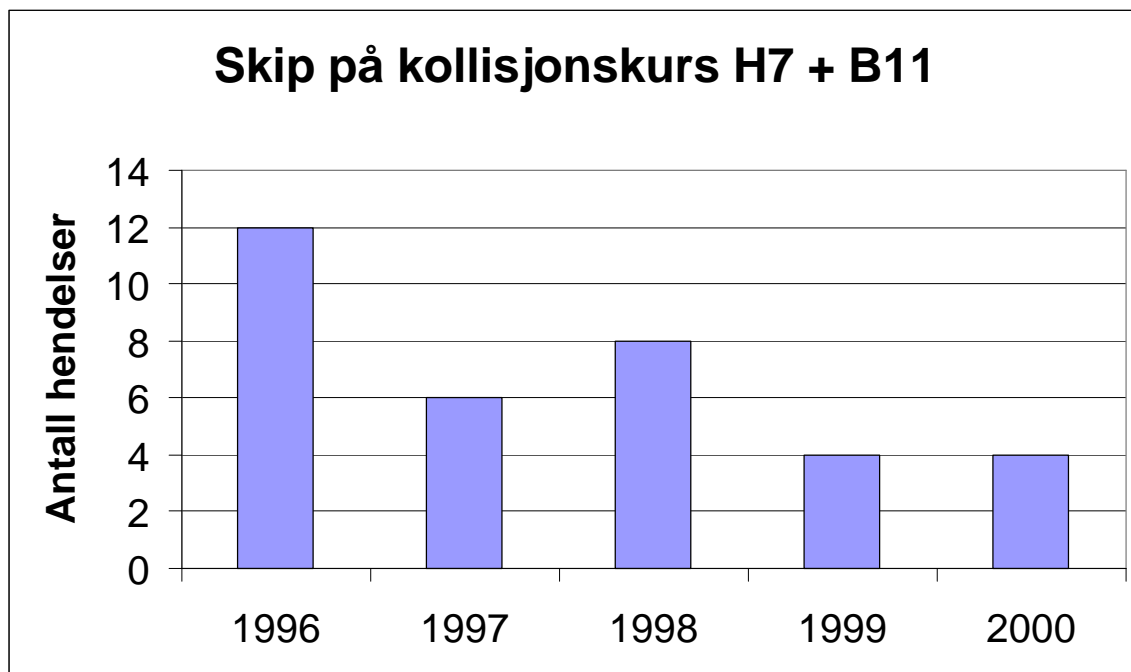
Kollisjon med fartøyer som ikke er feltrelaterte

Med kun to kollisjoner på norsk innretninger med fartøy som ikke er feltrelatert – den ene er en ubåt mot Oseberg i 1986 og den andre et fartøy mot H7 i 1995, er det et ikke grunnlag for å måle om det skjer endringer. Det har derfor vært nødvendig å velge andre indikatorer for se på forventet hyppighet av kollisjoner. Vi har valgt å bruke antall fartøyer på kollisjonskurs som et mål for kollisjonsfrekvensen. Det er brukt følgende definisjon av skip på kollisjonskurs - minst ett av kriteriene må tilfredsstilles:

1. når beredskapsfartøy er mobilisert, utover å kalle opp på radio, uansett passeringsavstand,
2. når cpa er innenfor sikkerhetssone og det ikke oppnås kontakt før det er 30 min til cpa (cpa = "closest point of approach").

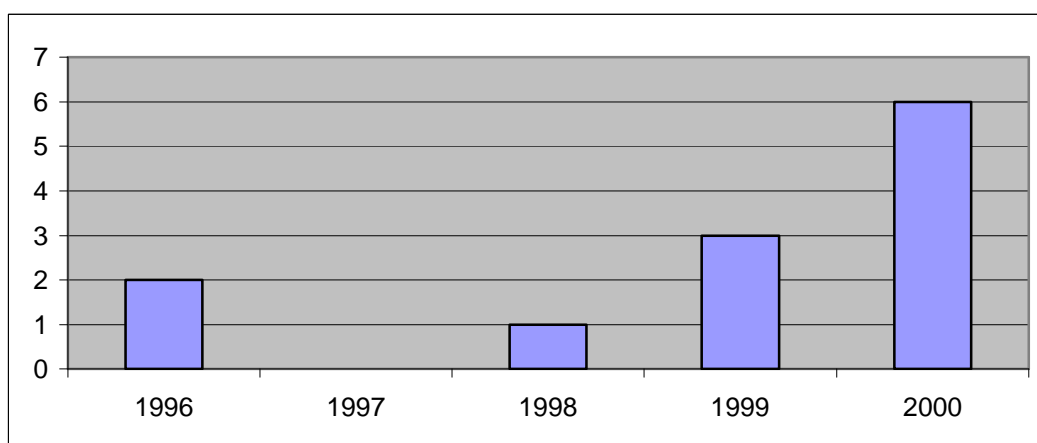
Operatørene ble bedt om å skaffe data. Samtidig er disse opplysningene sjekket mot data fra Statoils Overvåkingssentral på Sandsli, ODs hendelsesregister og rapportering i forbindelse med grensekrenkinger. Overvåkingssentralen på Sandsli kom i bruk i november 1998, og kan ha medført at det etter den tid er blitt flere rapporterte hendelser. Fra operatørene er det med ett unntak nesten ikke rapportert hendelser utover de som registreres av overvåkingssentralen på Sandsli. Unntaket er observasjoner ved H7 og B11. Disse innretningene står på tysk sokkel, og brukes som kompressorinnretning for gassen som sendes fra Ekofisk til Emden. De er under delt norsk og tysk jurisdiksjon og opereres av PPCoN. Antall observasjoner fra disse innretningen er større enn for resten av sokkelen til sammen.

Vi har funnet antall skip på kollisjonskurs etter kriteriene over for H7 og B11. Vi har ikke tatt med en seilbåt. Trenden er nedadgående.



Figur 4: Skip på kollisjonskurs på H-7 og B11

Vi har så funnet antall skip på kollisjonskurs for resten av norsk sokkel. Vi har brukt kriteriene over og i tillegg ikke tatt med fiskefartøyer. Trenden er klart oppadgående de siste årene.



Figur 5: Skip på kollisjonskurs på norsk sokkel 1996-2000 (H7 og B11 er holdt utenfor)

En kan diskutere om det er riktig å inkludere H7 og B11 siden de ligger utenfor norsk sokkel, og de samtidig er så dominerende i antall hendelser.

Trafikktetthet, størrelses- og hastighetsfordeling er i stor grad det som styrer resultatene fra risikoanalyser. En ser store forskjeller i risiko fra en innretning til en annen, avhengig av trafikken i nærområdet. En skjønnsmessige betraktninger tilsier at denne faktoren har endret seg lite. Økende utbygging i nordlige farvann, hvor denne trafikken er mindre enn i Nordsjøen, skulle bidra til å trekke gjennomsnittet i gunstig retning. Det skulle forventes en

gunstig utvikling når det gjelder det tekniske utstyr som navigasjonshjelpemidler og kart. Etter en samlet vurdering, basert på skjønsmessige analyser av de enkelte faktorene kan det konkluderes med at sannsynligheten for kollisjon med passerende fartøy på norsk sokkel ikke burde ha endret seg av betydning i perioden 1996-2000. Når trenden av skip på kollisjonskurs likevel er oppadgående kan årsaken være økt og uberettiget tiltro til tekniske hjelpemidler som vi også kjenner fra de feltrelaterte kollisjonene, samt dårligere kvalifikasjoner på maritime mannskap på fartøyene.

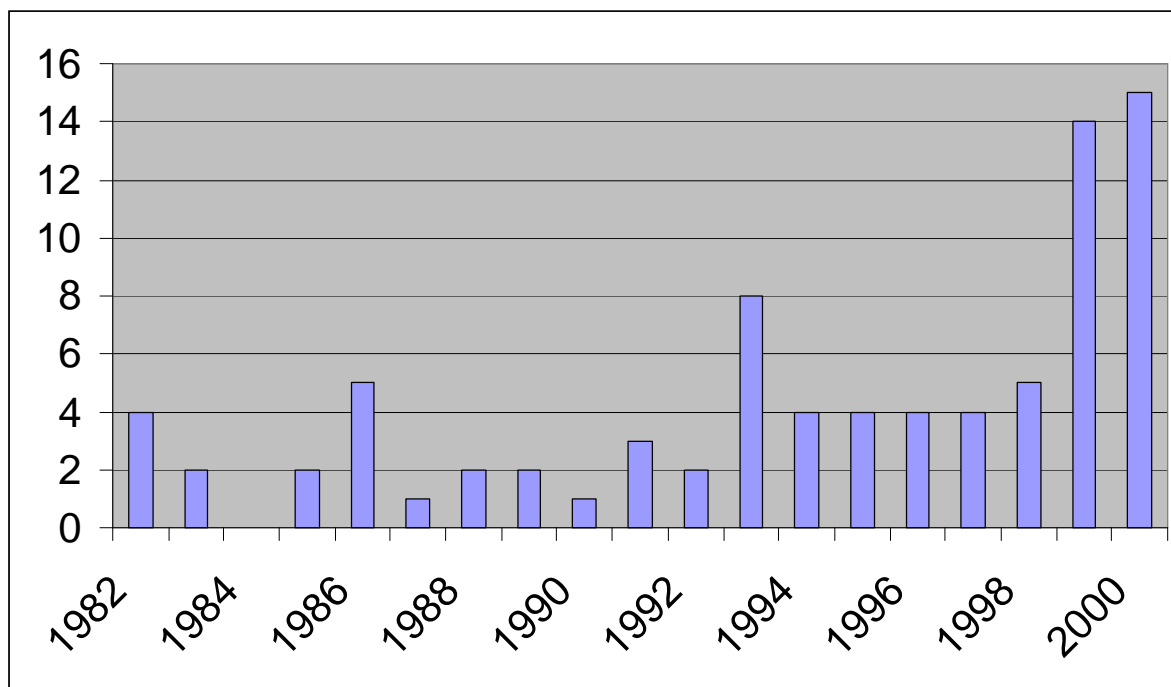
Effektiviteten av tiltak for å redusere kollisjonssannsynligheten har nok økt noe. Omfanget av disse tiltakene varierer noe, som overvåking fra den enkelte innretningen, fra hjelpefartøyer (radar), overvåking fra trafikksentral, varsling eller oppkalling via radio og andre midler, hjelpefartøy med varsling via lyd og lys. En skulle forvente at dette skulle bidra til økt sikkerhet. Fjerning av beredskapsfartøy virker i motsatt retning. Med hensyn til innretningenes egen beredskap har det skjønsmessig vurderes ikke vært betydelige endringer de siste 5 år.

Kollisjon med feltrelatert trafikk

Den mest alvorlig hendelsen av dette slaget inntraff 6.11.1966 da forsyningsbåten Smith Lloyd 8 kjørte inn i Ocean Traveller på blokk 25/11 og laget et stort hull i skroget. 51 mann hoppet i sjøen og ble plukket opp av Smith Lloyd. Alvorlige hendelser er sjeldne, og det er mange typer hendelser i denne kategorien, - fra master som kjøres inn i dekket på innretningen, skip som driver inn i innretningen og skip som treffer med full fart.

Kollisjoner med feltrelaterte fartøyer rapporteres umiddelbart til OD dersom det gjøres større skade. Vi har brukt vårt hendelsesregister til å få med kollisjonene derfra. Skader fra kollisjoner rapporteres videre inn til databasen CODAM en gang i året. CODAM inneholder heller ikke her data om de flyttbare innretningene. Høsten 2000 avholdt vi møter med operatørene der de ble bedt om å fortelle om sine erfaringer med skipskollisjoner. Vi fikk da opplysninger om langt flere mindre hendelser de siste to årene enn det som var rapportert inn tidligere på vanlig måte.

Vi har sammenstilt de kollisjonshendelsene vi har hatt siden 1982 i figuren nedenfor. De to siste årene utmerker seg fra gjennomsnittet. En tilsvarende topp finner en i 1993. I 1993 ble det første gang gjort en større innsats for innsamling av opplysninger om kollisjoner. Det er derfor ikke urimelig å gå ut fra at det en stor del av de endringene en ser kan ha sin årsak i økt innsats og fokusering på datainnsamling. Når toppene blir høyere de siste årene enn i 1993 kan årsaken være at vi har vært flinkere til å få inn data fra de flyttbare innretningene, men også mer kompliserte boreoperasjoner som krever mye mer spesialutstyr enn før, slik at transportvolumet øker.

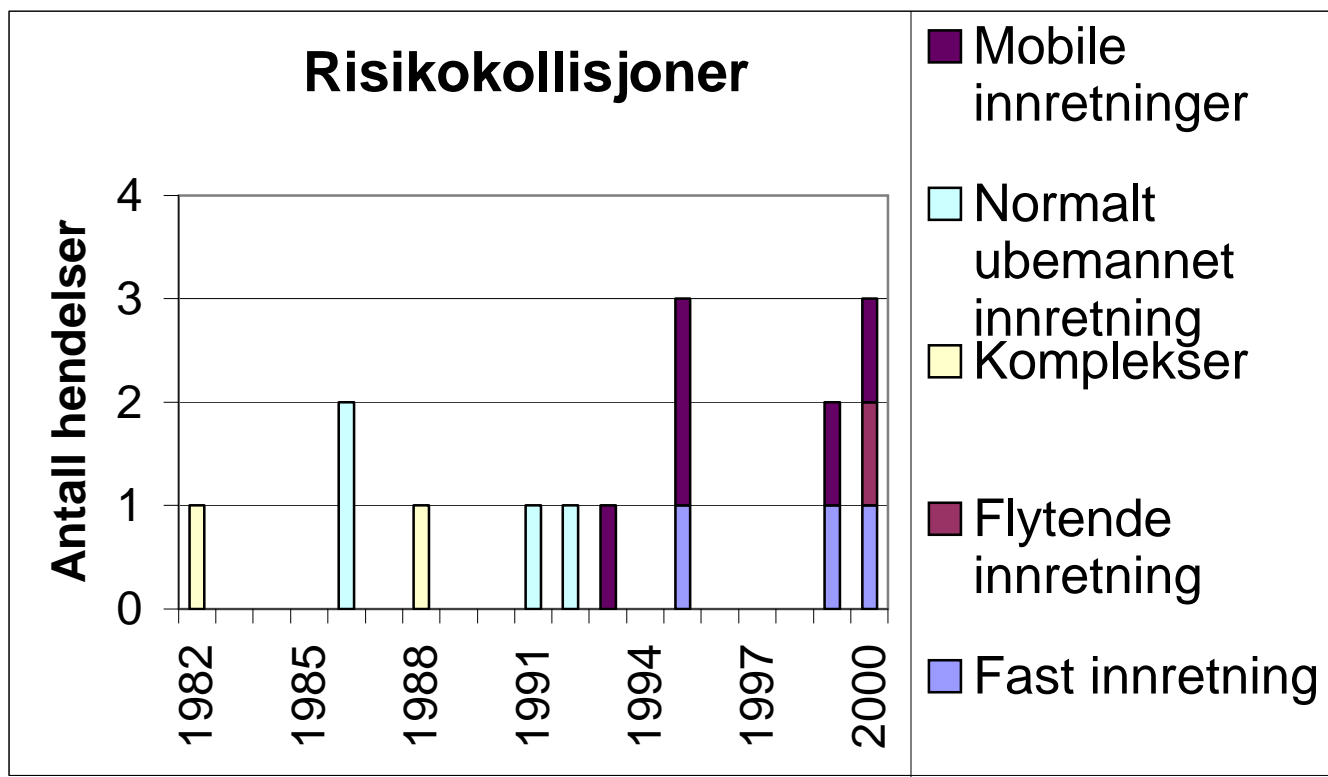


Figur 6: Sammenstøt mellom innretninger og feltrelaterte fartøyer i perioden 1982-2000.

Med såpass stor usikkerhet i datagrunnlaget kan det være grunn til å prøve å sile bort de minste hendelsene. Vi valgte en avgrensning av dataene der en kun tar med:

1. Fartøyer med over 5000 tonn (dwt). De fleste innretninger tåler kollisjoner med fartøy inntil 5.000 tonn og 2 m/s. Ikke alle disse kollisjonene er kraftige, men feil på disse fartøyene har et potensial for å bli større.
2. Kollisjon med høy hastighet (ett tilfelle).

Med en slik avgrensning av dataene har en igjen de dataene som er presentert i neste figur. For hele perioden er det ikke noen markert trend. Om en ser på perioden 1996-2000 er trenden svakt økende. En medvirkende årsak til økningen kan være økt bruk av fartøy over 5.000 tonn. Med ett unntak er alle disse kollisjonene knyttet til bruken av DP-systemer, feil bruk og feil i systemene.



Figur 7: Kollisjoner som er definert som "risiko"-kollisjoner i perioden 1990-2000

Årsakene til endringene kan også være bunnet i virkelige endringer. Av bakenforliggende årsaker kan det være (Statoil: Møtereferat fra møte med OD angående fartøy-rigg kollisjoner, 1.11.2000):

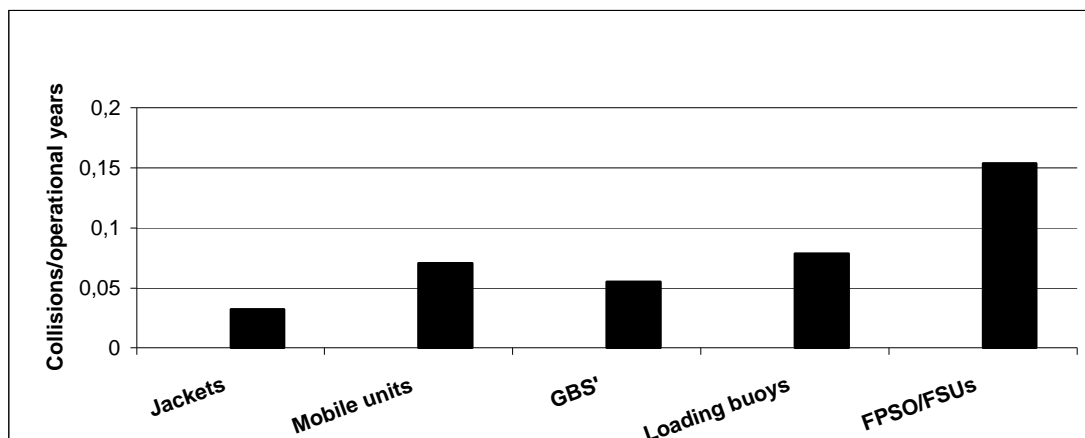
- sikkerhetskulturen i fartøynæringen er ikke god nok, - det slurves for mye med prosedyrer,
- båtene blir mer avanserte med teknisk utstyr på broa, som ikke alle mestrer eller blir tilstrekkelig opplært i. I svært mange tilfeller er årsaken knyttet til feil i eller feil bruk av automatiske posisjoneringssystemer (DP). En har stor tiltro til systemene og når det oppstår feil er ikke de som er på broa tilstrekkelig oppmerksomme til å korrigere feilene tidsnok,
- stort gjennomtrekk av mannskap. Årsaken er blant annet store lønnsforskjeller mellom fartøy og plattformansatte, samt stor arbeidsbelastning. Fartøyene fungerer ofte som opplæringsplass for yngre folk før de får jobb på en innretning. Yngre og uerfarne navigatører er ofte ikke like flinke med bølger og strøm som de eldre,
- svært tette seilingsprogram med korte seilingsstider, og små muligheter for restitusjon mellom lange arbeidsøkter. Tett program gjør også at en tar sjanser for å holde rutene. Kapteinene og styrmennene føler seg presset til å levere for ikke å miste oppdrag. Kollisjoner skjer også oftest i slutten av arbeidsperioden til den som er på broa,
- korte lasteslanger og dårlig kapasitet på innretningene gjør at tiden inntil innretninger blir lang, slik at konsentrasjonen om oppgaven svekkes.

Vi har også forsøk å beregne kollisjonsfrekvenser for ulike typer innretninger, og får da en fordeling som vist i figuren nedenfor. Fem kollisjoner kan knyttes til lasteoperasjoner av tankskip. Det har etter de opplysninger vi har vært fire kollisjoner på norsk sokkel mellom tankskip og lastebøyer:

- 23.1.1986 Statfjord C-lastebøye - kollisjon med tankeren Polyviking (130.700 dwt),
- 9.6.1986 Statfjord-B-SPM - kollisjon med tankeren Polytraveller (125.690 dwt).

- c) 10.10.1991 på Gullfaks- SPM 1 - lastebøye - kollisjon med tankeren Sarita (124.472 dwt),
 d) 17.1.1992 Statfjord- C-SPM - lastebøye - kollisjon med tankeren Evita (126.352 dwt),

I tillegg har det vært en kollisjon 5.3.2000 mellom Norne FPSO og tankeren Knock Sallie (154.000 dwt). Det har videre vært nesten-kollisjoner, blant annet 21.11.1986 mellom Petrojarl 1 og Petroskald, etter strømbrydd på Petroskald. For flere opplysninger se Leonhardsen et al (2001).



Figur 8: Kollisjonsfrekvenser (kollisjoner per operasjonsår) som funksjon av type innretning.

Den gjennomsnittlige frekvensen for kollisjoner på norsk sokkel er omkring 0,59 kollisjoner pr operasjonsår. For FPSO og FSUs er frekvensen dobbelt så høy. De har omkring samme frekvens for kollisjoner med forsyningsfartøyer, men de har i tillegg en kollisjonsfrekvens fra tankskip som synes å være i samme størrelsesorden. Fra britisk sokkel har en flere produksjonsskip, og erfaringer derfra viser også at en får kollisjoner mellom tankskip og produksjonsskipene. De vi har fått melding om er: 29.7.97 på Gryphon, 12.8.97 og 30.10.1997 på Captain, 25.9.98 på Schiehallion, 15.8.1998 på Kittwake og 8.3.1999 på Banff. Så at vi får kollisjoner på norsk sokkel med tankskip er nok ikke noen tilfeldighet.

Drivende fartøyer eller gjenstander på kollisjonskurs

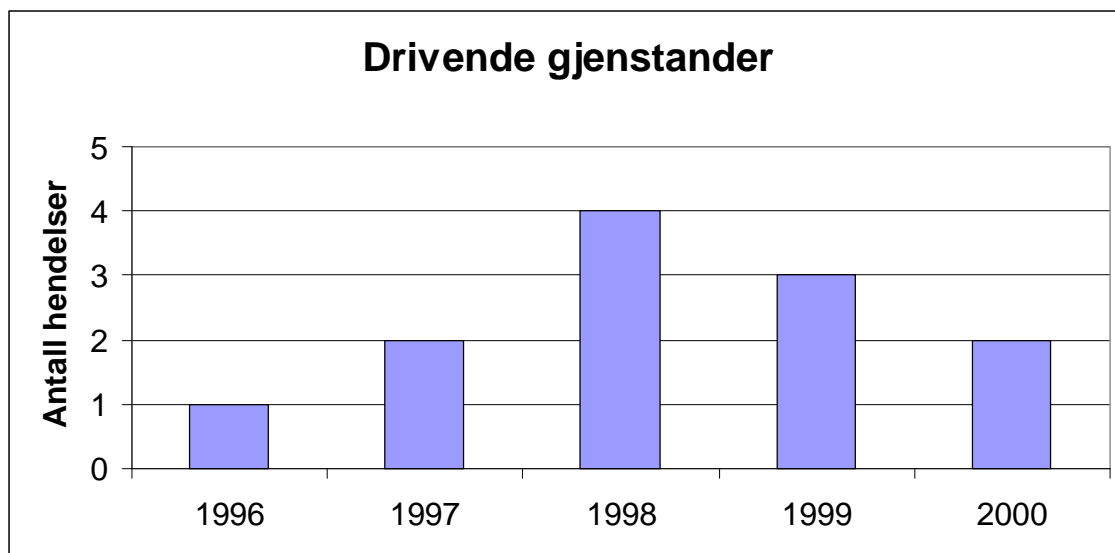
Det har ikke vært kollisjoner mellom innretninger og drivende gjenstander på norsk sokkel. Det nærmeste en har vært en kollisjon var i januar 1974. Transocean 3 gikk ned ved Beryl feltet på engelsk sokkel. En 50m lang og 1000 tonn stålsøyle drev derfra mot West Venture. Britiske bombefly prøvde forgjeves å bombe den. Til slutt passerte den riggen med en avstand på 100m. Drivende gjenstander har et potensial for å gi skade på innretningene og stigerør.

Vi ba operatørene sende inn alle hendelser knyttet til drivende gjenstander og fartøyer. Vi valgte til slutt å bruke følgende kriterier:

- gjenstander eller fartøyet må være nærmere enn 10 nm og ha driftretningen hovedsaklig mot innretningen,
- mindre gjenstander som livbåter og bøyer er ikke tatt med

Mange av dataene fra operatørene hadde dårlig kvalitet. Det har derfor vært nødvendig med en omfattende etterkontroll av dataene ved gjennomgang av ODs hendelsesregister og journal, samt mot registreringer i Statoil overvåkingsentral på Sandsli.

Som vist i figuren under er det ikke en markert økende trend i perioden 1996-2000.



Figur 9: Drivende gjenstander i nærheten av innretninger på norsk sokkel

Prosesslekkasjer

Blant de faktorene som har betydning for risiko er gass- eller olje-mediets sammensetning, lekkasjens tørrelse; utslippsrate (varierer med tiden), og varigheten. Konsekvensen av lekkasjen er sterkt avhengig av hvor lekkasjen oppstår i forhold til tennkilder, med hensyn til ventilasjon osv. En annen vanskelighet er at de størrelsene som er mest aktuelle å bruke for å beskrive eller klassifisere lekkasjen, som lekkasjerate, ikke er direkte observerbar eller målbar. Den må beregnes eller estimeres ut fra andre observerbare størrelser. En av de mulighetene som er brukt er å ta utgangspunkt i gassdetektorenes registreringer, og regne seg tilbake til lekkasjestørrelse via skystørrelse. Noen ganger er det mulig å finne hullstørrelse. Vi har valgt å karakterisere lekkasjene med ett enkelt mål, nemlig lekkasjerate (i kg/s), plassert i de fire relativt grove størrelseskategoriene: < 0,1 kg/s, 0,1 til 1,0 kg/s, 1,0 til 10 kg/s og > 10 kg/s.

Gassskyens størrelse er et godt mål for risikopotensialet. Tennsannsynligheten øker (proporsjonalt eller mer) med skyens volum, og konsekvensen etter en antenning øker også kraftig med skyens størrelse. Derfor har vi valgt å benytte skyens størrelse som referanse ved klassifiseringen av de lekkasjene som har et forløp som ikke logisk eller praktisk kan beskrives ved en utslippsrate. Et kortvarig ("momentant") utslipp av en begrenset gassmengde er et eksempel på dette. Her regnes dette utslippet om til en "ekvivalent" utslippsrate, hvor "ekvivalent" her betyr at utslippet skaper en gassky av tilsvarende (ekvivalent) størrelse, eller som gir et tilsvarende risikobidrag. En praktisk begrunnelse for å velge denne forenklingen er at gassskyens størrelse ofte vil kunne estimeres ut fra de observasjonene gassdeteksjonssystemet gir. Lekkasjene under 0,1 kg/s er ikke tatt med. Dette er i hovedsak

fordi lekkasjer av denne størrelsen bidrar svært lite til risiko. En lekkasje av denne størrelse som danner en "jet" vil typisk danne en sky, innenfor LEL, godt under 1m^3 . Tenssannsynligheten for en slik sky er svært lav, spesielt i prosess-området. Den vil heller ikke kunne forårsake signifikante overtrykk ved en eventuell antennelse. En annen begrunnelse for å utelate disse minste lekkasjene er at usikkerheten i rapporteringsgraden er særlig stor for disse lekkasjene, og en eventuell trend vil mest avspeile de usikre rapporteringskriteriene. I et lengre perspektiv (10-20 år) har det vært en betydelig nedgang i antall gasslekkasjer. Dataene for de senere årene, 1996 til 2000, som presenteres nedenfor, indikerer at denne gunstige utviklingen har snudd.

Figuren viser samlet antall lekkasjer over $0,1\text{ kg/s}$ de siste fem år. Det er en viss nedadgående trend tidsrommet 1996 til 1999, men en betydelig økning det siste året. Det er ikke registrert lekkasjer over 10 kg/s i år 2000, mens det er to i 1999 og en i 1998 og 1997. Det er

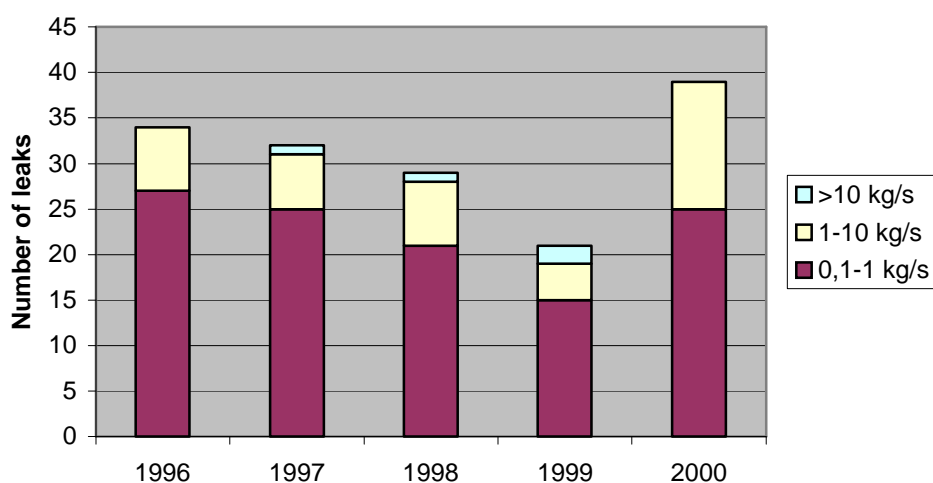


Figure 10: Antall gasslekkasjer i kategorier for perioden 1996-2000.

selvfølgelig slik at en stor lekkasje, for eksempel 10 kg/s , gir et dramatisk større risikobidrag enn en på 1 kg/s . For faste produksjonsanlegg og komplekser er bildet omtrent som for totalantallet. For flytende produksjon er antallet mer markert økende. Dette er som forventet da antall flytende produksjonsanlegg har øket de siste årene. Spesielt har oppstart av innretningene på Åsgard-feltet, bidratt til økningen.

De data som foreligger gir ingen klar indikasjon på hvilke årsaker som ligger bak denne utviklingen. En analyse av årsakene til lekkasjene er ikke gjennomført. Det er tidligere foretatt analyser i de enkelte selskaper og i regi av OLF. Basert på tidligere arbeid og de data som foreligger, kan visse trekk ved lekkasjebildet skisseres. Av utstyr og komponenter er det ventiler som er største bidragsyteren til antall lekkasjer (mest mindre lekkasjer i stempakninger og flenspakninger). Innretningens alder ser ikke ut til å ha noen særlig betydning.

De fleste lekkasjer opptrer når "noe er på gang" ved:

- inngrep i prosessen,
- åpning eller lukking av trykkbærende systemer,
- transiente prosessforløp som opp- og nedkjøring.

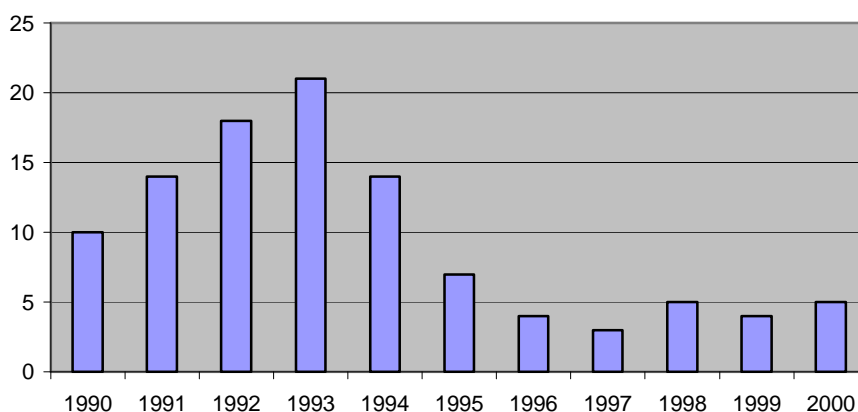
Siste året viser en viss økning av ”tekniske” årsaker i forhold til tidligere, som var mer dominert av feiloperasjoner. Noen feilmekanismer kan gi store, plutselige lekkasjer. Det er her det store risikopotensialet ligger. Det gjelder for eksempel ulike typer sprøbrudd, spenningskorrosjon, utmatting, sand-erosjon. Dette er feilmekanismer som opptrer sjelden, og som er annerledes enn de som forårsaker de mindre lekkasjene. Disse feilmekanismene avdekkes ikke ved å følge utviklingen av de mindre lekkasjene. Det må derfor anvendes andre virkemidler for å kontrollere disse.

Ingen av lekkasjene, over 0,1 kg/s, har siden 1992 blitt antent. Betydelige ressurser bygges inn i plattformene for å forebygge og hindre at store branner oppstår. Disse kan være av design-, teknisk- og operasjonell karakter. I de siste årene er det spesielt lagt stor vekt på å oppnå en bedre kontroll på tennkilder. En betydelig medvirkende årsak til at ingen av gasslekkasjene har blitt antent må derfor tillegges det faktum at barrierene virker. Det har likevel forekommet andre betydelige branner og de er omtalt nedenfor.

Branner

Totalt har det forekommet 21 alvorlige branner i perioden 1990-2000 og det er små endringer i de enkelte år. Alvorlige branner er ikke entydig definert, men dette er branner som har eller kan ha et farepotensial som kan skade mennesker eller utstyr. Eksempler på dette er:

- Forbrenning på hud (2. og 3. grad),
- Røykforgiftning,
- Røykspredning til de sikreste områdene (som boligkvarter, kontrollrom),
- Kraftig røykutvikling eller utvikling av spesielt giftige gasser,
- Røykutvikling som vil begrense rømming og evakuering,
- Kraftig varmeutvikling,
- Muligheter for kraftig varmeutvikling eller eskalering,
- Brannskader i form av tydelige og synlige skader, og som vil kreve reparasjon,
- Brann med uventet lang varighet eller uforutsette problemer med slokking.



Figur 11: Antall alvorlige branner i perioden 1990-2000.

De mest alvorlige brannene de siste årene har vært:

* 31.1.96 Statfjord-C Under overførsel av olje i rør fra tank til behandlingssted for kaks, oppstod

det lekkasje fra en blindflens som manglet. Oljen rant utover innretningen og ble antent da den kom i kontakt med uisolerte deler av eksosanlegget. Det var vanskelig å komme til med slukkeutstyr.

* 19.6.97 Transocean Artic Brann i shakerrommet, Kabler og oljerester ble antent av skjærebrenning i rommet over. Oljeholdig slam i rommet ble også antent litt senere i brannforløpet. Brannen ble sløkket med deluge, skum og pulver

* 18.10.98 Sleipner-A Brann oppsto mellom boligkvarter og hjelpeutstyrmodul på grunn av en diesellekkasje som ble antent av varm eksoskanal. Diesellekkasjen skyldes overfylling av dagtank og ca 6000 liter rant ut. Brannbekjempelse ble foretatt med vannkanoner og slanger.

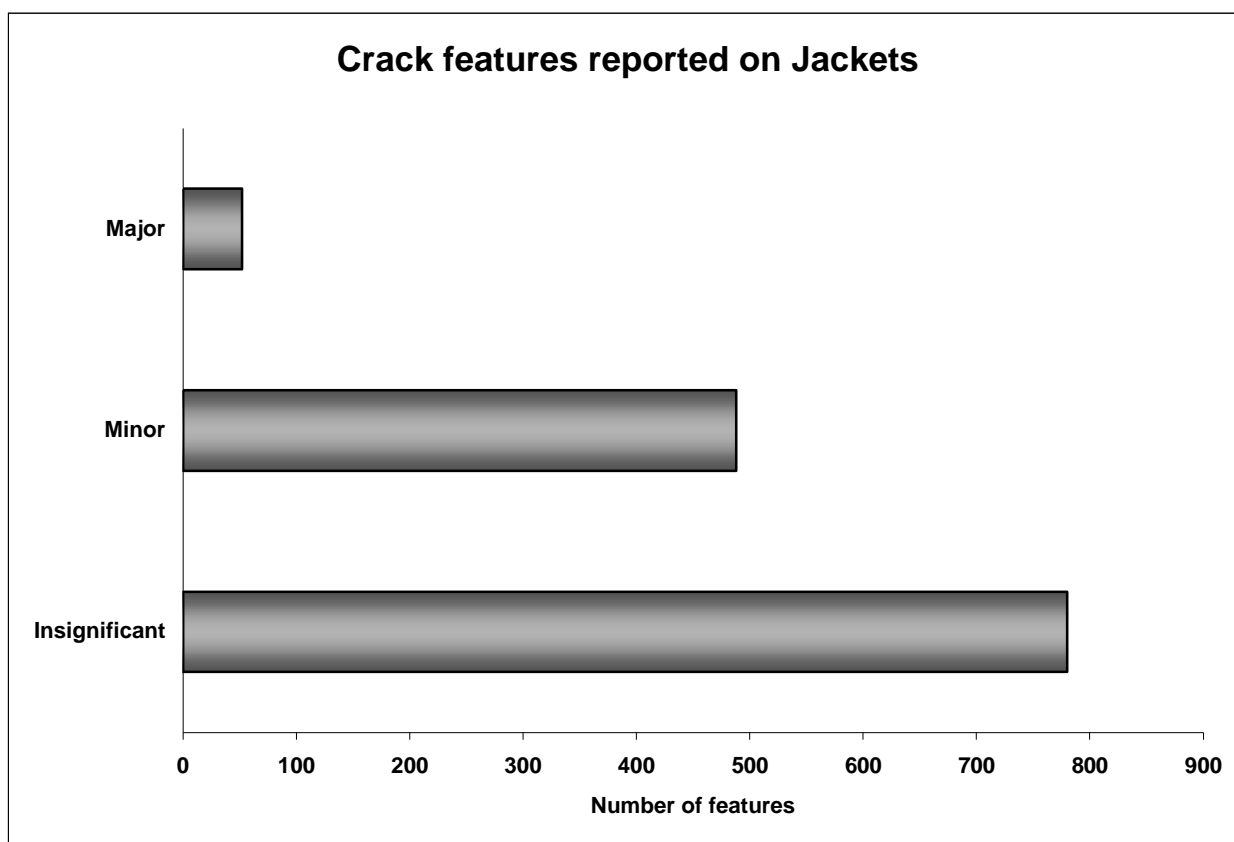
De mest vanlige årsakene til at branner tennes er mekanisk varmeutvikling eller høye overflatetemperaturer, mens elektrisk feil er nest vanlig. I seks tilfeller er det hydrokarbonholdige væsker som har bidratt til brannene. Ingen av disse er olje fra prosessanlegget. Ett tilfelle er brann i produsert gass for brennstoff til en turbin. De øvrige er brann i elektriske anlegg (5 stk), brann i pakninger, oljeholdig isolasjon, slanger, filter etc (5 stk). Den siste er brann forårsaket av lekkasje i en acetylenlange.

Alle branner og branntilløp er uønsket og blir derfor registrert av oljeselskapene. En stor del av disse blir rapportert til Oljedirektoratet. Nedre grense for rapportering er ikke entydig bestemt og kan variere for de enkelte selskapene. Det er også en variasjon over tid. De siste årene viser en betydelig økning i rapporterte mindre branner. Medvirkende årsaker til dette er en lavere terskel for hva som blir rapportert.

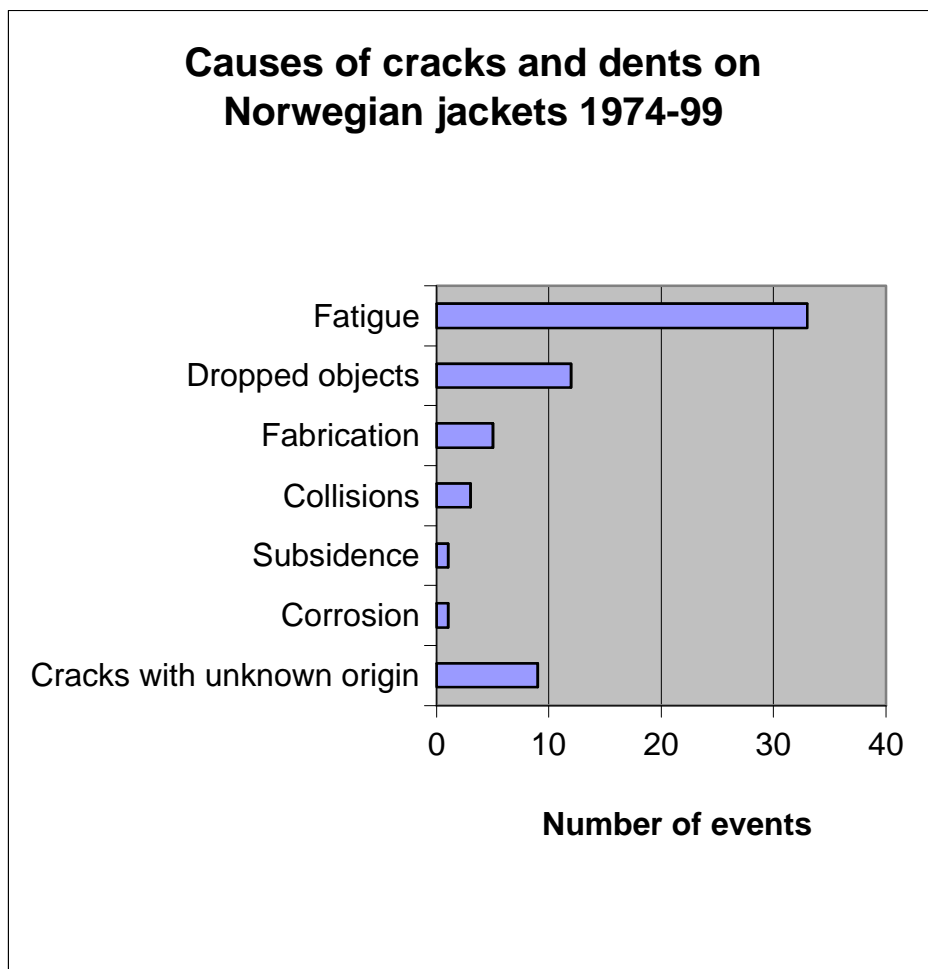
ERFARINGER MED FASTE STÅLKONSTRUKSJONER

Sprekker

Det er siden 1976 rapportert til OD litt over 1300 sprekker på jacket konstruksjoner. Det er i tillegg mange innrapporteringer av korrosjonsangrep, skader fra kollisjoner, fallende gjenstander samt skader fra seafastening og under installering. Ingen av disse har ført til ulykker, men flere av sprekkene er klassifisert som alvorlige. Med unntak av kollisjonsskader er alle de mest alvorlige sprekkene funnet på jacketer som er installert før 1986.

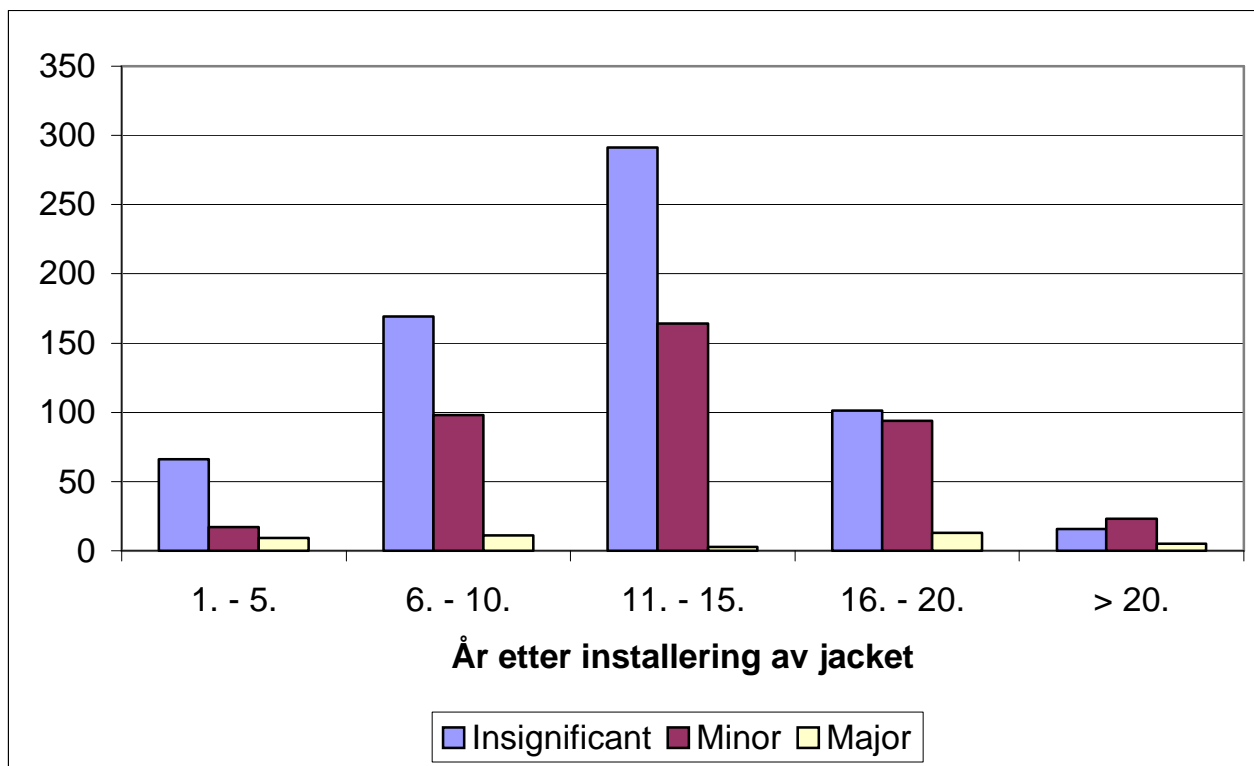


Figur 12: Spekker på jacket konstruksjoner fordelt på alvorlighetsgrad.

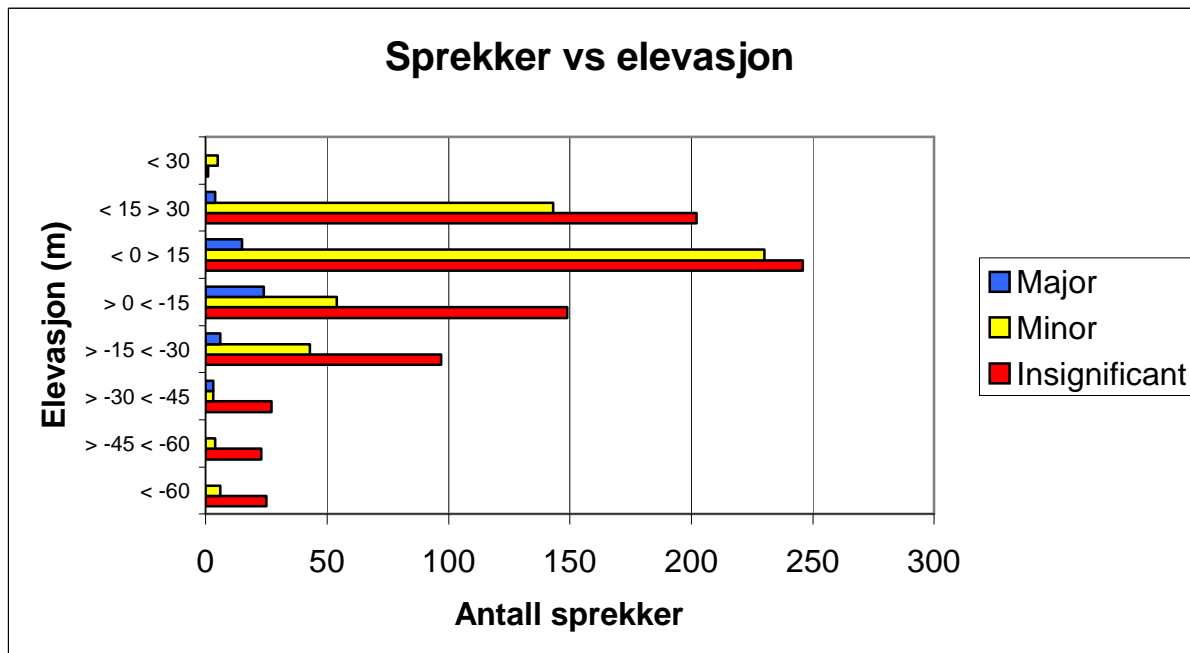


Figur 13: Årsakene til de mest alvorlige sprekkene på norske jacketer 1974-99, slik de er rapportert til CODAM. Alle, med unntak av en skipskollisjon, er på jacketer installert før 1986.

De fleste sprekkene er i bølgesonen. En god del av sprekkene er i konduktorrammer. De fleste sprekkene er også på de eldste innretningene.



Figur 14 Antall innrapporterte sprekker som funksjon av alder på jacketen når sprekken ble funnet.



Figur 15: Antall innrapporterte sprekker på jacket konstruksjoner fordelt etter vanddyb. Under vann har negative tall og over vann har positive tall. De fleste sprekken har kommet i og nær havnivå.

Stormskader

Det er rapportert en del stormskader på jacketkonstruksjoner. De fleste av skadene har kommet i Ekofisk-området. Årsakene til skadene har sin hovedforklaring i nedsynking av havbunnen (subsidence), som har gjort at dekkskonstruksjonene har kommet nærmere havflaten. Noen av de stormsituasjonene en har hatt er nevnt nedenfor:

24.11.1981 der en vegg ble skadet av bølger 20m over LAT.

3.1.1984 en container 17m over LAT ble tatt av en bølge og kastet i sjøen. Noen bjelker ble bøyd og det kom vann i inn i et kontrollrom.

28.-29.2.1988 En dekkplater ble bøyd oppover 20m over LAT, men innsynking 15,8 m over middelvannstand.

12.-13. desember 1990 ble det gjort omfattende skader på innretninger i Nordsjøen og særlig i Ekofisk-området.

De nyeste stormskadene i Ekofisk-området fikk en 30.-31. januar 2000. Typiske skader var ødelagte kabelgater, kabler løftet ut av kablegater, bøyde inntrykte vindvegger, plater som løsnet fra veggene, vann inn i verktøy og utstysrom, grating ødelagt, rekkverk ødelagt, trapp og ledere ødelagt og forskyving av en bro.

På grunn av innsynkingen tilfredsstillende ikke de eldste innretningene på Ekofisk sikkerhetskravene i storm. For å sikre forsvarlig virksomhet er det satt krav om nedstenging og avmanning av innretningene ved varsler om større stormer.

Måling av konstruksjonsoppførselen på jacketer

Det har gjennom årene vært utført en lang rekke målinger på norske innretninger, der en har sammenliknet beregnet oppførsel med målte akselerasjoner og bevegelser. Tabellen nedenfor gjengir noen av resultatene fra en del slike måleprosjektet i Nordsjøområdet. Sammenlikningen er gjort mot et utkast til ISO-standard, som ligger nær opp til lastmetodikken beskrevet i NORSOK N-003.

Tabell 1: Forskjeller mellom målte lastvirkninger og beregnede lastvirkninger i jacketer.

Plattform	Bias - ISO (beregnet-målt) - measured)	COV	Merknader
Ekofisk 2/4-A	+23% til -14%	30-40%	Dragdominert
Ekofisk 2/4-H	-40%	-	Blanding av drag + inertia
Valhall QP	-20%	15%	Blanding av inertia + drag
Draupner	+30%	37%	
Gorm	-40%	25%	Lave sjøtilstander – massedominert.

Tern	-3% til -16%	24-25%	Blanding inertia + drag
Magnus	+8% til -24%	32%	Inertia dominert

Det er ikke noen åpenbar konklusjon i resultatene. Det er et stort sprik mellom resultatene på de ulike innretningene og stor spredning om en ser på resultatene for hver enkelt innretning.

Demping av jacketer

Det har vært gjentakende diskusjoner om hvilken demping som skal brukes på jacketer. De målingene vi kjenner til er listet i tabellen nedenfor.

Tabell 2: målte dempningsverdier på jacketer

FORTIES	2.2-4.2%
VALHALL QP	1.0-2.0%
EKOFISK 2/4H	0.7-2.6%
EKOFISK 2/4D	1.0-3.0%
SOUTH PASS 62C	1.2-1.6%
OSEBERG	0.5-3.0%
TERN	1.5-2.0%
MAGNUS	1.0-1.8%
DRAUPNER	0.6-1.5%

Spredningene er stor, med gjennomsnittet er omkring 1,8%. En demping på 1,5 % i utmattingsgrensetilstander og 2% for bruddgrensetilstander er nok fornuftige valg.

Erosjon

Erosjon har vært forventet på jacketkonstruksjonene, og vi har hatt erosjon. Erosjonen kommer i områder med sandbunn og er mest utpreget dess lengre sør en kommer i Nordsjøen.

At havbunnen på Ekofisk synker er ikke noe nytt. Vi får dannet en grop som blir stadig større. Mer ukjent er det at samtidig med nedsynkingen foregår en oppfylling av gropa med sand. Sanden på havbunnen i hele den sørlige Nordsjøen flytter seg stadig vekk og en del havner nede i gropa. De nederste delene av konstruksjonene og rørledningene på havbunnen blir stadig mer begravd. En tilsvarende effekt ser man også på Valhall hvor en også har innsynking.

Områdene sør i Nordsjøen : Ekofiskområdet, Ula, Gyda, Valhall og Hod har alle lett eroderbar finsand. Området faller sammen med det området som var tørt land under siste istid. Sanden (løss) er trolig først fraktet med smeltevannet fra breene, og deretter

transportert med sterk vind ut fra breområdene. Løssen har trolig dekket forsenkninger i landskapet, slik at en har fått et teppe av løss av varierende tykkelse over de eldre jordlagene. Det er dermed bare en begrenset del av sokkelen vår som er utsatt for erosjon.

Når en plasserer en konstruksjon på havbunnen endres de lokale strømforholdene rundt konstruksjonene og en får lokalt større hastigheter på vannmassene som fører til at en får erosjon. Rundt konstruksjoner som er utsatt for erosjon, kommer oftest en rask utvikling mot en maksimal erosjonsdybde like etter at de er installert. Normalt avtar deretter erosjonen eller stagnerer helt. I stormtilstander ser en også at en kan få økt erosjon.

For innretninger hvor det blir drevet boring og dumping av borekaks er det oftest lite erosjon. Det skyldes trolig oppbygging av borekaks som motvirker erosjonen. I regelen får en da en oppbygging av sedimenter. Dersom det er grovere materialer (som lag av skjell eller grus) i de finere erosjonsutsatte sedimentene, så er det en tendens til at erosjonene stanser når erosjonen når det grovere laget. Det kan også være at en har skjellrester godt spredd i finsanden. Da vil de eroderbare materialene forsvinne først. Skjellrestene vil falle nedover og til slutt bli så omfattende at de til slutt danner et motstandsdyktig lag, slik at erosjonen stanser helt opp.

Idland (1992) har gjennomgått alle rapportene om erosjon på norsk innretninger tilbake til 1976. Den mest omfattende erosjonen har en på pumpeinnretningen B11 mellom Ekofisk og Emden. Her er erosjonen på over 4m. Det er en stadig utvikling av erosjonsdybden og det er ikke noe som tyder på at en grense er nådd. Etter å ha sammenliknet observert erosjon med ulike teorier, har en måtte konkludere med at vår mulighet til å forutsi omfanget av erosjon i "løss-området" dessverre er begrenset. Erosjonen er avhengig av konstruksjonsgeometrien, vanddybde og strømforholdene. Når en ny innretning dimensjoneres må en derfor ta godt i, med hensyn til erosjonsdybde. Når erosjonen øker øker også avstanden fra havflaten til havbunnen og med det de belastninger som konstruksjonene må tåle.

Marin begroing

Marin begroing er en felles betegnelse på alger (planter) og dyr som vokser på kunstige underlag i sjøen. Begroings-organismer vil variere i størrelse fra mikroskopiske bakterier til store tarearter flere meter lange. Likeledes er det stor variasjon i form og hardhet fra myke, trådformede alger til harde, klumpformede blåskjell og rur. Begroingen er i stadig utvikling, nye arter kommer til mens andre forsvinner. Denne stadige forandringen av begroingen skyldes ikke bare biologiske faktorer, som tilgang på mat og spredning av larver og sporer, men i høy grad av ikke-biologiske faktorer som geografisk plassering, tidspunkt på året, dybdeforhold og så videre. Et begroings-samfunn er i kontinuerlig utvikling og forandring. Derfor vil begroingen på en plattform forandre seg både i sammensetning og mengde med tiden.

Prosentvis dekke av marin begroing og begroingstykkelsen varierer fra år til år, noe også begroingsartene gjør. Tykkelsen på den marine begroingen vokser jevnt inntil det innerste laget dør og begroingen reduseres, med dette varierer også tykkelsen. Det ser ut til at begroingen går i en syklus; den bygger seg opp både i utbredelse og tykkelse, reduseres ved at noe av begroingen faller av eller blir utkonkurrert, og begynner deretter og gro igjen.

Typer av marin begroing varierer også. Begroingssamfunnet på konstruksjonene like etter installering endres ofte gradvis de første årene. De aller vanligste typene av marin begroing

som man finner på de fleste innretninger er: blåskjell, kalkrørsmakk, anemoner, hydroider og sjøgress.

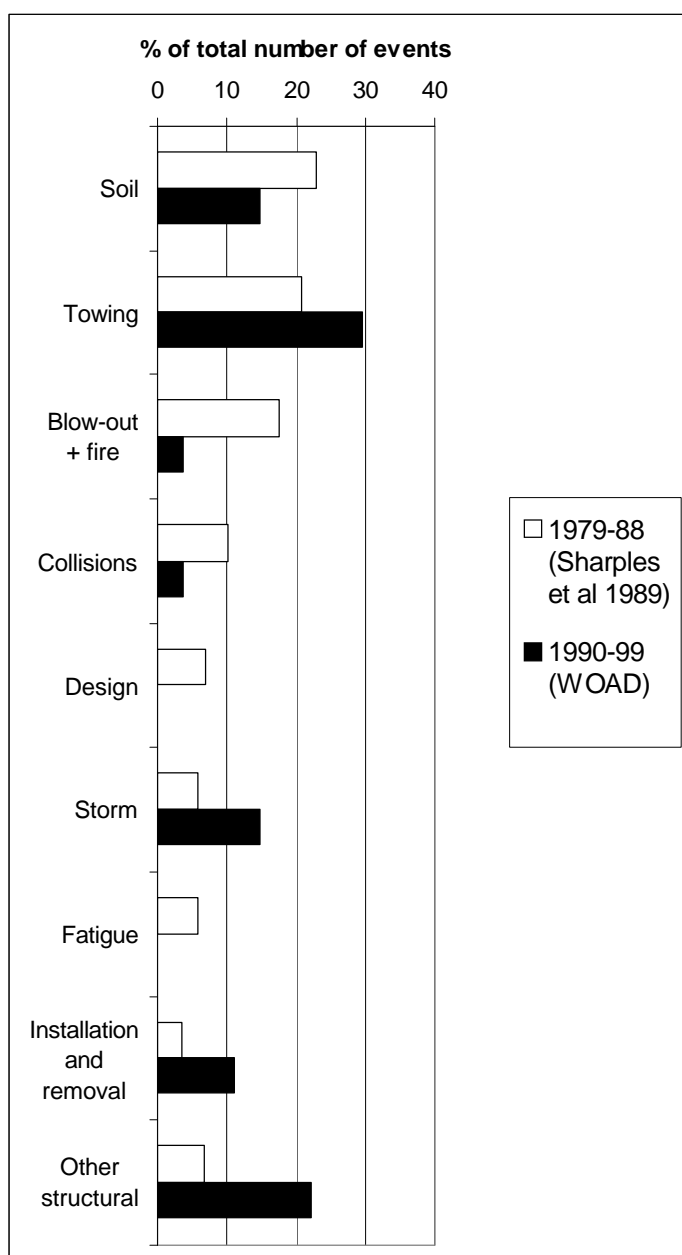
Begroingen fører til at diameteren på konstruksjonene øker og at ruheten øker. Det vil føre til at belastningene på konstruksjonene øker noenlunde proporsjonalt med omfanget av begroing. Marin begroing har størst innvirkning på lastene på rørene som har "minst" diameter, dvs i den øverste delen av plattformen. Her utgjør stort sett muslinger største delen av den harde begroingen, og kan dekke opp til 100 % av observerte områder og nå tykkelser på opp til 250 mm.

Den begroing som er anbefalt i NORSOK N-003 har sin bakgrunn i erfarte observasjoner på norsk sokkel. Det er brukt verdier for en lang rekke innretninger. En har brukt middelveien av observert begroing for hvert område og lagt til to standardavvik. Detaljer om dette finner en i Dahle og Kvitrud (1995).

ERFARINGER MED JACKUP INNRETNINGER

Bruken av jackuper i Norge har vært relativt begrenset. Årsaken har vært vanddypet som har gjort at de fleste jackupene ikke har kunnet operere på norsk sokkel. Det har imidlertid etter hvert kommet stadig flere jackuper som skal kunne brukes på stadig større vanddyp. En har også fått fundamenteringsløsninger med skjørt som også har gjort det mulig å utvide bruksområdet ytterligere.

Jackuper er på verdensbasis den konstruksjonstypen som har hatt flest ulykker. Figuren nedenfor er tatt fra Kvitrud et al (2001) som viser antall alvorlige hendelser på jackuper fordelt på årsaker.



Figur 16: Årsaker til de mest alvorlige ulykkene på jackuper på verdensbasis.

Feil knyttet til konstruksjoner og marine operasjoner på verdensbasis er den helt dominerende feilårsaken for denne type innretninger.

I Norge er det bare rapport noen få hendelser. Det er en del sprekker, men uten at noen av dem er vurdert som alvorlige. Det er videre to hendelser knyttet til fundamenteringen.

Fundamenteringen

Breivik (2.1.1995) skriver at West Omicron var plassert ved siden av 2/4-K med gangbro mellom. 2.1.95 klokka 00.00 hadde riggen vind på 60-65 knop og bølgehøyder på 10 til 12m. Den ene av leggene hadde da penetrert havbunnen ca 0,2 grader. Nedjekking av leggen ble startet klokka 0200. Penetreringen var da i overkant av 1 grad. Leggen ble jekket ned 4 fot for å bli horisontal. Klokka 1000 samme dag ble leggen jekket ned ytterligere en fot, for å få en svak helning motsatt vei. Beinet i forkant ble penetrert 3,15m og bakbeina 4,25m. Frambeinet ble penetrert til den hadde en kontaktflate på 110 m². Det var framleggen som sank. Breivik (17.1.1995) skriver at det var opp til 2m utvasking av havbunnen rundt to av sidene av "spudcan" på leggen.

Etter innstalleringen av Kolskaya på Hod ble det like etter installering (august - september ?) 1990 observert erosjon rundt den ene leggen. Det hadde vært en mindre storm og riggen hadde da flyttet litt på seg. Erosjonen startet da etter stormen. De foretok en inspeksjonen hvor de fant at det foregikk utvasking. Riggen sank så 15-20 cm på det ene beinet. Dette ble korrigert ved at en jekket opp denne foten. Det ble så gjort daglige ROV undersøkelser og erosjonen økte for hver dag. Det forsvant tusenvis av liter med sandmasser. Årsaken ble antatt å være sterk lokal strøm. Det ble laget en masse sandsekker som ble dumpet ved beinet. Det tok flere dager å få dette arbeidet utført.

Fullskalamålinger

Det er i liten grad gjort målinger på jackuper for å vurdere hvordan jackupene oppfører seg i storm på norsk sokkel. Det er likevel gjort målinger på Maersk Guardian, Kolskaya og West Epsilon. På Maersk Guardian (Christensen, 1993) ble det målt 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 dynamisk forsterkningen ikke mer enn 1,10.

Den største usikkerheten med hensyn til jackuper er nok knyttet til innspenningsforholdene mot jorda. West Epsilon ble instrumentert da den sto på Sleipner. Vanddyppet er 107m. Den sto med bro over til en jacket. Den var utstyrt med 5m lange skjørt. Beregnet og målt rotasjonsstivhet for West Epsilon på Sleipner kan settes opp slik fra ulike analyser:

Tabell 3: Målt og beregnet rotasjonsstivhet for West Epsilon på Sleipner.

Kilde	FLS	ULS
Leland mfl (1994)	490 GNm/rad	116 GNm/rad
Bærheim (1993)	300 GNm/rad	
Karunakaran (1998)	420 GNm/rad	310 GNm/rad
Målt (Karunakaran, 1998)	350 GNm/rad	

Spriket mellom tallene er altså betydelig, men neppe større enn en kunne forvente. Enda større usikkerhet har en nok på fundamenter uten skjørt.

Temperton mfl (1999) har analysert målinger på rigger i Nordsjøen. De definerer seg en statisk stivhet som er: $= K / (K + E * I / L)$ der K er rotasjonsstivheten. De oppnår en stivhet her på 45-90%. Ved bruk av SNAME-regelverket får de stivheter mellom 28-70%. SNAME gir konsekvent lavere stivhet for alle. Videre en dynamisk stivhet som er $= (f_m^2 - f_p^2) / (f_f^2 - f_p^2)$ der f er frekvenser, med indeks m for målt, p er beregnet stivhet ved leddlager (pinned), f er beregnet stivhet ved fast innspenning. De oppnår 30-90% stivhet. Det oppnås også varierende stivhet gjennom en storm. Samme jackupen har også store variasjoner avhengig av hvor den står. Det er større innspenning i leire enn i sand. De sammenstiller dataene og får:

Tabell 4: Innspenning av jackuper etter Temperton mfl (1999)

Rigg	Posisjon	Jord	Vanndyp	H-max	Statisk innspenning	Dynamisk innspenning
Maersk Guardian	Silver Pit	Sand	70	H=6	98%	62%
Rowan Gorilla II	Arbroath	Sand over leire	94	H=14	-	30%
Kolskaya	Hod	Sand	72	H=21	-	12%
Galaxy-1	Ranger	Sand	92	H ca 8	44%	50%
Galaxy-1	Judy	Siltig sand	75	H ca 7,5	28%	30%
Galaxy-1	Shearwater	Clay	89	H ca 12	70%	80-90%
Magellan	North Everest	Clay	89	H=17,1	66%	70-80%
Magellan	Joanne	Siltig sand	77	H=16,4	54%	60-70%
Monitor	Joule	Sand	28	H ca 11	32%	47-51%
Monitor	Halley North	Sand over silt	84	H ca 9	54%	50%

Det er altså betydelige forskjeller.

ERFARINGER MED HALVT NEDSENKBARE PRODUKSJONSINNRETNINGER OG TLP-ER

Ved utgangen av 2000 er følgende halvt nedsenkbare stålproduksjonsinnretninger og TLP-er i virksomhet på sokkelen:

- Veslefrikk B en modifisert borerigg operert av Statoil og satt i drift 1989,
- Snorre A (TLP) satt i drift 1992 og operert av Norsk Hydro,
- Njord A operert av Hydro og satt i drift 1997,
- Visund også operert av Hydro og satt i drift 1999 og
- Åsgard B operert av Statoil og satt i drift 2000.

Ytterligere én halvt nedsenkbar innretninger er under ferdigstilling på Stord, Snorre B, og skal etter planen slepes ut til feltet i mai 2001.

I hovedsak er det Veslefrikk B og Snorre A som har innrapportert skader tilknyttet bærekonstruksjoner til CODAM databasen.

Veslefrikk B

Oppsprekking av sveiser i kneplater i overgang søyle og pongtong ble første innrapportert i 1991. Ytterligere oppsprekking i tilsvarende konstruksjonsdetaljer ble påvist og innrapportert i 1993, 1995 og 1997. Ved å være oppankret i én posisjon som produksjonsinnretning, er Veslefrikk B utsatt for bølgelaster forskjellig fra en boreinnretning som kan vendes mot bølgeretningen i dårlige værforhold. Størst påkjenning har overgangen mellom søyle og pongtong. Sprekkene som var påvist ble utbedret fortløpende på feltet.

I 1999 ble Veslefrikk B tatt til land for oppgradering og modifikasjon for Huldra utbyggingen. Dekklasten er økt og ekstra oppdrifts elementer montert. Overgangene søyle og pongtong ble samtidig modifisert ved å sette inn støpte forbindelser, for å være i stand til å oppta den økte dekklasten og å unngå framtidig oppsprekking.

Under ett uvær i januar 1995 ble Veslefrikk B påført lokal strukturell skade, blant annet medførte bølgeslag mot undersiden av dekket oppbuling på ca 12cm i dobbelbunn ved søyle 1, oppbuling på ca 4cm i dobbelbunn ved søyle 2 og langskipsskott i dobbelbunn var løftet ca 6cm. Utbedring av skadene ble foretatt våren 1995.

Snorre A

I 1996 rapporterte operatøren om sprekker i sveis mellom ringstivere og stiverplater for kollisjonsskott mellom kollisjonstankene i søyle 1. Inspeksjon i de øvrige søylene påviste samme sprekkemønster i disse. Sprekkene har sannsynligvis oppstått på grunn av bølgeslag mot ytterskall kombinert med ett uheldig design av stivere. Sprekkpåvisning ved nivåer som tilsvarer skvalpe sonen støtter denne antakelsen. Utbedring ble igangsatt høsten 1997 delvis i form av sveisereparasjon, men også ved å fjerne en del av en horisontal stiver på kollisjonsskott og kuttet en fri T-stiver. Utkappingen myker konstruksjonen og øker utmattingslevetiden 7 – 10 ganger.

I forbindelse med reinspeksjon av søylene i 1998 ble tilsvarende oppsprekking påvist på motsatt side av kollisjonsskott hvor ringstiver er sveist mot skottet. Her var imidlertid oppsprekkingen hovedsakelig konsentrert til søylene 2 og 4. Basert på en

konstruksjonsanalyse, hvor videre kutting og oppmykning ble foreslått, frigjorde man alle gjennomføringer av ringstivere gjennom kollisjonsskottene ved å kutte gjennom skottet rundt hele ringstiveren. Tilsvarende utbedring er utført på alle nivåer innvendig i kollisjonstankene hvor en tidligere har påvist sprekkdannelse som følge av bølgeslag.

Under en storm i januar 1993 ble søndre brennerbom skadet etter å ha blitt truffet av bølgeslag. Bølgen har sannsynligvis klatret oppover søyle 4. Bølgen løftet bommen opp og deretter falt denne ned på bærebjelken, hvilket medvirket til sterk deformasjon av fremre del av bommen. I etterkant av hendelsen ble bommen modifisert bl.a. med økt veggtykkelse i stag og installering av winch til å løfte bommen når denne ikke er i bruk.

ERFARINGER MED FLYTENDE PRODUKSJONSINNRETNINGER

Innledning

I dette kapitlet vil lage et sammendrag av operasjonserfaringer med produksjonsskip på norsk sokkel. Det er nå fem produksjonsskip i operasjon på norsk sokkel. I tillegg er Petrojarl 1 under ombygging på Kværner Rosenberg verft for bruk på Glitnefeltet. Den skal på posisjon i løpet av sensommeren i år. Vi har erfaringer med produksjonsskip med Petrojarl 1, Norne FPSO, Petrojarl Varg, Åsgard A, Balder FPU og Jotun A. I tillegg har det vært tre flytende lagerenheter: Polysaga, Njord B and Åsgard C. Totalt representerer disse fartøyene mer enn 19 års offshore erfaring.

The FPSOs on the NCS are all turret moored. Accordingly, are all weather-waning, which means that the turret is located in the forward half of the vessel, and waves and wind will normally keep the FPSO with its bow towards the weather. Aiding the vessel to maintain a steady controlled course, the FPSOs are equipped with thruster assistance systems. Three of the FPSOs are located in the North Sea in water depths from 85 to 125 meters; the other two are located in the Norwegian Sea in water depths of 300 meters and 380 meters.

Although FPSOs have a relatively limited record on the NCS, compared to jackets, jack-ups, gravity based structures or semi submersibles, NPD has received information regarding collisions, green water incidents, mooring line failures, pitting corrosion in cargo tanks, cracking of rails in turret area and loss of heading control.

“Grønnsjø”-hendelser

Green water events have caused local damage on Norwegian production vessels. The damage has occurred in the bow area, amidships and aft. Significant modifications have been made, such as raised forecastle and installation of wave-breaking walls. Operational restrictions have also been introduced, including restriction to personnel access and storage limitations. The incidents and mitigations are described in detail in (Ersdal et al, 2000a), (Ersdal, 2000b) and (Ersdal et al, 2000c). A brief overview is given here.

The Norne FPSO has experienced a couple of green water events. Minor damage to fire equipment storage and a crane were registered. The operator concluded that a storage limitation (maximum 71% storage) and a static trim were necessary during the winter season. The FPSO has an all year restriction for personnel both on tank deck and in the process area when the significant wave height exceeds 6 m. Wave-breaking walls between the tank- and process deck have been installed on starboard and port side. The limitation in storage capacity and static trim were effective from the winter 1998 – 99. During this period no green water events were observed. The restrictions to storage lead to loss of production and additional costs, as the off-loading could not be performed in an optimum manner.

Åsgard A and Norne FPSO is in general similar, but the bow of Åsgard A was raised by 4.7 m late in the project to account for green water. 13 and 14 February 1999 wave damage was observed. The events occurred in a situation when the vessel was high in the sea. Damage to the following equipment was registered; glass fiber boxes for fire equipment storage, steel cabinets, piping to fire hydrant, rails and cable trays. The incident occurred amidships at tank deck. Åsgard A also experienced green water 30 November 1999. This incident led to stop

of production. No damage was reported. Wave-breaking walls have been installed, both on starboard and port side at tank deck in order to reduce risk of damage to equipment.

Petrojarl Varg got wave damage to during a period of harsh weather 5 and 6 February 1999. The wave caused the loss of a life buoy, a fire equipment storage locker torn from its fastening and minor damage to cable trays. All these items were located amidships. Due to the weather forecast, all personnel were removed from lower deck. "Sea spray" was observed in this situation. 30 November 1999 Petrojarl Varg also experienced green water. Damage to gas sensors, fire hose cabinets, and doors were reported. 26 December 1999 Petrojarl Varg again experienced green water. At this event damage to cable trays, fire stations, lifebuoys and deluge cabinets were also reported. So far, the most critical green water event in the Norwegian sector occurred at the Varg field 29 January 2000. A wave caused damage to the forward part, amidships and aft ship of Petrojarl Varg. The incident occurred when the ship was almost fully loaded with a static trim of little less than 1 degree. Most critical was water ingress into the living quarter. Several types of safety equipment were damaged or lost; walkways and cable trays were deformed.

During the spring of 1999 local protection was fitted for critical equipment. The living quarter and helicopter deck support was strengthened. In addition, some operational measures have been taken related to draft, trim and personnel access to green water zones in the future.

Balder FPU experienced water on deck 25 December 1999. Minor damage to insulation on the port side of the main deck was reported. In addition, the vessel experienced water on forecandle deck and water through freeing ports in green water protection screen on main deck 29 January 2000. The water on forecandle deck caused damage to an escape ladder from the forward part of the helicopter deck. The grating on the intermediate platform was torn off and a holding bracket on the light fixtures was broken. Furthermore, a windshield wiper on a control room window was bent.

A classification of the green water incidents with regards to consequence is summarized in table 2. The incidents mentioned earlier in this paper is classed according to NPDs knowledge of the individual incidents.

Tabell 5: Green water incidents with Norwegian FPSOs. The number of incidents in the respective consequence class is indicated.

	High consequences	Moderate consequences	Low Consequences
Balder FPU			2
Jotun A			
Petrojarl Varg	1	2	1
Norne FPSO			1
Åsgard A		2	

An incident on Petrojarl Varg is classified as high consequence, as personnel were directly exposed to the green water, but not injured. Two incidents on Petrojarl Varg and Åsgard A respectively, have lead to production shut down or damage to safety equipment, hence they are classified as moderate consequence. There are also reports of low consequence green

water incidents, but the numbers shown here are regarded as underestimated due to the lack of reporting and registering. With 10.3 operational years (FPSOs only), the frequency of green water events is relatively high. Without taking proper precautions green water will give a contribution to the total risk. The risk of green water incidents is relevant and an important input in risk analysis for FPSOs.

Laste- og ballasttanker

Cracking of welds between cargo- and ballast tanks have been experienced on Norne FPSO, and was first detected in March 1999. 6 of 10 cracks are through thickness and have caused oil seepage from the cargo tanks into ballast tanks (Statoil, 1999). Figure 3 (in the appendix) is an example of where a crack has occurred. The figure shows the transverse frame; see the intersection between the transverse frame and the knuckle line and longitudinal stiffener. The cause of these cracks is not properly settled yet. It is worth mentioning that all the cracks have been repaired continuously.

Pitting corrosion in 8 of 12 inspected cargo tanks; with a maximum depth of 60% of the plate thickness is measured. The pitting was first observed summer 1999. Small quantities of mud and produced water, containing sulphur-ions, have penetrated into crevices or underneath sludge deposits. In this environment sulphur reduction bacteria have the necessary conditions enabling sulphide and H₂S to cause pitting corrosion (Statoil, 1999). To avoid further corrosion the coating in all, but three, cargo tanks were blasted, and detected corrosion was ground and sealed.

With the compartmentation of FPSOs, a limited number of cracks and corrosion will only give a minor contribution to the possibility of a significant accident. The operator has established a condition-monitoring program in order to detect and repair findings at an early stage.

Turret

On Petrojarl Varg and Balder FPU, inspections have detected surface breaking cracks on rails in the turret area. The vessels have a similar rails system. For Petrojarl Varg a condition monitoring program has been initiated and replacement of rail segments considered (DNV, 1999 and Norsk Hydro, 2000). Since the operator was advised of cracking rails on Petrojarl Varg mitigation measures could be initiated e.g. replacing some cracking rails prior to mooring Balder FPU (Esso, 1999a).

As mentioned previously, FPSOs on the NCS are all weather waning. The turret acts as a fixed point, which the vessel rotates around. Incidents, which may obstruct the rotation, are considered as serious due to the risk of encounter unfavorable weather condition if the FPSO should be locked in one direction.

Problemer med retningskontrollen

Alle de produksjonsskipene vi har, har som filosofi og forutsetning for prosjekteringen at de skal ha baugen mot hovedretningen for været. Dersom FPSOene ikke klarer å holde retningen blir det i strid med forutsetningene for konstruksjonsanalysene og for plasseringen av prosessanlegget og flammearnet i forhold til boligkvarteret. Det har vært rapportert noen tilfeller med feil i denne retningskontrollen.

29.11.99 klarte Balder ikke å dreie raskt nok, da vinden snudde raskt 180°. Få dager før hadde de hatt blackout på to generatorer, og ønsket ikke å forsøke å snu skipet i den relativt kraftige vinden. 3 timer senere løyete vinden og Balder ble snudd opp mot vinden igjen.

12.6.00 begynte retningskontrollsystemet å dreie Balder uten at Balder var ute av retning. En fikk stoppet dreiningen da Balder var fem meter fra standbyfartøyet, som drev med ROV operasjon. Grunnen var overbelastning av computer fordi systemet hadde blitt operert i lang tid uten resetting. Nå resettes systemet hver måned.

28.7.00 mistet Balder retningskontroll pga svikt i gyro. Retningskontrollsystemet begynte å dreie Balder utilsiktet. Hendelsen fikk ingen følger. Sviktende gyro skiftet og ytterligere en gyro montert, slik at en nå har tre gyroer.

13.3.01 ved dreining av Balder, roterte operatøren turreten feil vei i forhold til skroget. Turreten nådde maksimal dreievinkel, men dreiningen ble stoppet før det oppsto skader på stigerør. Har etablert prosedyrer for å hindre gjentagelse, og vil gjennomføre ytterligere tiltak.

Employment of maritime personnel has for some FPSOs been regarded as not necessary and has been compensated for by giving control room operators and maritime advisors additional maritime competence in accordance with the requirements in the Norwegian Maritime Directorate's regulations of 1996 concerning certificates of competency and qualification requirements for the manning of mobile offshore units. In our opinion personnel handling ballasting, stability etc. should have maritime competence in accordance to requirements for corresponding personnel onboard mobile offshore units. The draft of the new NPD operational regulation has more precise requirements to such functions.

Fullskalamålinger av FPSOer

Petrojarl 1 (Syvertsen og Hidle, 1987) var utstyrt med en åtte påsveiste strekkklapper for måling av tøyning. Fire av målerne er brukt da de andre er i turretområdet. Det var i tillegg en bølgebøye ved skipet. Lastvirkningen er nær normalfordelt. Det er beregnet en langtidsrespons basert på målingene som er sammenliknet med designverdiene. Det er brukt normalfordelt sjø, lineære transferfunksjoner og Rayleighfordelingen for å beskrive lastvirkningen. Det er brukt et PM-spekter. Det var bølger opp til $H_s=7\text{m}$. Det er analysert fem sjøtilstander fra januar 1987. Det gir ved kortkammert sjø ($\cos^4\theta$) at responsen er 5% høyere enn teoretisk beregnet, og ved langkammert sjø 3% høyere. Avviket mellom målt og beregnet respons var for de fem sjøtilstandene 15%.

Syvertsen (1988) har analysert videre på 47 nye sjøtilstander med H_s opp til 11,6m. Tre av tøyningmålerne virket og er analysert. I middel for 47 sjøtilstander var forholdet mellom målt og beregnet 0,98. Forholdet avtar når H_s øker. Ved den største sjøtilstanden 29. februar 1988 var forholdet 0,76! For sjøtilstander under 1,5m var resultatene ikke konservative.

ERFARINGER MED FORANKRINGSSYSTEMER

Det er rapportert inn en rekke hendelser knyttet til forankring. Nedenfor er listet av en del av hendelsene som er rapportert til oss. Etterpå vil vi drøfte bruddfrekvensen i ankerliner.

Skader og hendelser på og forårsaket av forankringssystemer 1990-2000

11/09/2000 Veslefrikk-A. Dekksarbeider på spesialfartøy Maersk Seeker ble truffet av kjetting som var koplet til haikjeftene på båten. Han døde av skadene.

04/09/2000 West Vanguard. Trakk kjetting for langt ut ved setting av anker, resten av kjettingen rauset ut og dro av festet i kjettingkassen. Kjettingen mellom holdebåten og riggen falt ned på sjøbunnen. Brønn Y-24 ble stengt for sikkerhets skyld. ROV viste nedslag av kjetting et stykke bortenfor rørledningen. Ingen skader på undervannsinstallasjoner.

02/07/2000 Troll-C. I forbindelse med ankerhåndtering for Troll C røk wire på vinsjen på håndteringsfartøy "Nordica". Dette førte til at kranbommen på fartøyet ble bøyd på grunn av kjettingens vekt. Ingen personskader.

Juni 2000 Troll C. Vesentlig degradering av ankerkjetting i ankerkasse på grunn av slitasje.

13/06/2000 Bideford Dolphin. På grunn av 3 ankerlinebrudd driftet/draget innretningen totalt 310 m av lokasjon mot Snorre som lå 3 nm unna. I tillegg til dette var der flere eksportørledninger for olje og gass samt interconnectionlinjer mellom bunnrammer for Vigdis rundt BD. Ankerlinene krysset disse. Brønnen var sikret. BD hadde totalt 77 personer ombord og 56 ble evakuert til nærliggende innretninger.

29/05/2000 Polar Pioner. Under posisjonering av rigg ved brønn 312 E4 WO på Troll feltet eksploderte en elektromotor for ankervinsj.

23/04/1999 Troll-B. Beskyttelseskappe på 16" gass rørledning mellom Troll B og Troll A ble skadet under ankeroperasjon. Rørstålet er ikke berørt. Eksporten ble opprettholdt.

14/03/2000 Bideford Dolphin. Ankerlinebrudd. Ankerlinen krysser rørledning til Statfjord. Ankerlinen er skjøtet med 1000m stålwire for å unngå skade på rørledningen ved linebrudd. Årsak ukjent, men det blåste 45-55 knop. Ny ankerline er installert og strekktestet (200 tonn). Kryssing av rørledning til Statfjord ble inspisert og ingen skade på ledning er observert (ledning er nedgravd). Bruddet skjedde i overgang kjetting/wire.

22/08/1999 Jotun A: Ruste en kjetting ut fra fartøy under ankerhåndtering ved Jotun A. Ingen personer på dekk. Ingen skader.

20/07/1999 Åsgard B 700 meter kjetting rauset ut under utsetting av ankersystem for Åsgård B. Noe hydraulikkolje ble antent.

27/01/1999 Transocean Searcher. Mistet en ankerkjetting. Kjettingen falt ned på bunn inntil flowlines. Det var ikke olje eller trykk i rørene. Ingen personskade. Riggens posisjon ble justert og trustere ble lagt i beredskap.

03/04/1998 Rørledningsfartøyet LB 200 fikk problemer sør for Ekofisk. To anker røk i orkanen med fare for avdrift og dermed mulig skade på rørledning (Norpipe). Fikk hjelp av 2 slepefartøy som stabiliserte. Stingeren brakk av.

05/10/1997 West Alpha. I forbindelse med ankerhåndtering la en av ankerkjetting seg rundt flow-base og brønn D-1 (Balder). ROV undersøkelse viser mindre skader på struktur på flow-base samt ventil.

16.11.1996 Scarabeo 5. På grunn av dårlig vær mistet man ett anker i forbindelse med forflytning av riggen.

22/9 1996. Dødsulykke på Far Minara. Ankerhåndterings fartøy til LB 200 (legging av Zeepipe II B). Ankerwire som røk.

28.8.96 Rørleggingsfartøy LB 200: En wire som holdt en ankerwire med bøye røk og ankerwiren landet på Troll rørledningen. Mindre sår i betong beskyttelseslag på rørledningen.

10.3.1995 - Deepsea Bergen: Brudd på ankerkjetting nr 7. Riggens kom 6-12 m ut av lokasjon. Brønnen ble sikret og borestreng og stigerør ble frakoblet.

Februar 1994 Vildkat Explorer : To personer drept ombord på hjelpefartøyet Mærsk Terrier i forbindelse med trekking av ankerne på Vildkat Explorer - hydraulikksvikt i låsemekanisme.

24.3.1993 Polar Pioner. Ved utkjøring av anker 6 løsnet nedre ledehjul (lower fairlead) og falt i sjøen. Ledehjulet gled nedover ankerkjettingen og ble liggende over ankeret. Riggen ble tatt i land.

I februar 1993 ble det er brudd på rørledningen mellom 2/4-K og W, sannsynligvis pga ankerhåndtering.

13.1.1993 West Alpha Det oppsto brann i babord maskinrom. Foruten dette mistet de tre ankere. Brannen varte ca 7 timer og sannsynlig årsak er lekkasje i dieseltilførsel-ledning som ble antent pga varmt ekshaustmanifol. Unødvendig personell evakuert uten problem til Frigg.

1.4.1993 Et anker ble mistet fra Maersk Pacer som skulle brukes til Scarabeo 5 på Snorrefeltet.

Under produksjonstesting på Troll feltet på 330 meters vanddyb, opplevde Petrojarl 1 brudd i tre ankerliner over kort tid (Norsk Hydro, 1990). Petrojarl 1 hadde åtte liner av type "K4-rig". Produksjonen startet på Troll 10de januar 1990, og linene sviktet 13de og 16de februar samt 6te mars samme år. Bruddene skjedde i sjøtilstander mellom 3m og 8 m. Petrojarl 1 har også hatt flere linebrudd på britisk sokkel etter at den var i Norge.

Brudd i ankerliner – statistikk fra norsk sokkel

Tabell 1 presenterer antall brudd i ankerliner i perioden 1990-2000.

Tabell 6: antall brudd i ankerliner i perioden 1990-2000 på norsk sokkel.

Antall brudd	Leteboring	Produksjon
Tap av en line	5	3
Tap av to eller flere liner	2	-

I perioden 1990-2000 har antall semier for boring og som flotell være i størrelsesorden 20 til enhver tid. De har typisk åtte ankerliner, som til sammen tilsier 1600 ankerlineår. De typiske produksjonsinnretningene har 12 ankerliner, som samler seg opp til omkring 1000 ankerlineår.

For boreinnretninger og floteller har frekvensen av ankerlinebrudd vært omkring $44 \cdot 10^{-4}$ for ett brudd og for to eller flere brudd omkring $13 \cdot 10^{-4}$. Fra våre data er frekvensen av ett brudd i en ankerline i produksjonsinnretninger $30 \cdot 10^{-4}$. Dette tallet er da basert på tre brudd i en FPSO over en kort tidsperiode.

Fram til i dag har en ikke hatt tap av alle ankerne på en innretning på norsk sokkel. Bruddfrekvensen har vært lavere for produksjonsinnretninger enn for faste, men forskjellene er ikke vesentlige. Et konservativt anslag basert på de dataene vi har kan være en bruddsannsynlighet i størrelsesorden $10 \cdot 10^{-4}$.

ERFARINGER MED FLAMMETÅRN OG HELIKOPTERSTØTTER

Det har vært en lang rekke problemer med flammetårn knyttet til virvelinduserte tverrsvingninger. Det har i hovedsak vært svingninger av enkeltstaver, men også av større deler av flammetårnene. Det har vært mange slike problemstillinger gjennom årene. Det synes som om dette er problemstillinger som ikke alle som prosjekterer behersker fullt ut. Vi har også problemer med å forklare alle de observasjoner og målinger som er gjort. Fra et regelverkssynspunkt er dette "løst" ved å vise til DIN 4133 eller til Eurocode.

Statfjord A

Statfjord A ble installert i 1977. I perioden 17.9.1978 til 19.10.1978 observert vibrasjon av en hovedtie på flammetårnet. Vibrasjonene vart fra en til fire timer. Mobil (1980) konkluderte med at egenperioden til individuelle korder i tien lå svært nær virvelavløsningsperioden. Den målt egenperioden samsvarte også med den beregnede. Første egenfrekvensen til tien var omlag 5 Hz, noe avhengig av vibrasjonsaksen. Det var beregnet egenfrekvenser i konstruksjonene fra 1,4 Hz til 355 Hz.

17.9.1978 varte vibrasjonene i en time. Rapportene om utslaget varierte fra ca 25 mm til så mye som 100 mm og var i vertikal planet omtrent midt på tien. Frekvensen var høy og mer enn 5Hz. 3 sekunders gust vind var i området 42-46 knop og 10 sekunders verdiene var på 40 knop. Begge tiene vibrerte samtidig. Det var ikke mulig å se om de vibrerte i fase med hverandre. En observatør bemerket at vibrasjonene startet i to sentrale korder av tien for så å dø ut. Senere begynte hele tien å vibrere. Det var koblet med en lav lyd. To observatører bemerket at tien vibrerte i en annen frekvens enn egensvingfrekvensen.

2.10.1978 med samme hastighet og retning som før i ca en time. Frekvens ca 5 Hz. I tillegg til tien så vibrerte også modulen UM2, flare bommen og flareline. Ingen vibrasjoner fant sted i bommen over tilknyttingspunktet til vindstruttene og hovedtien. Lyd ble laget i nedre del av flarelinen. Det var ikke mulig å observere amplitudene.

19.10.1978 var det vibrasjoner som varte i fire timer. Den stoppet da vinden øket. Den begynte igjen etter 3 timer da vindhastigheten igjen falt. Søndre vindstrut hadde 19 Hz. Nordre vindstrut hadde 20 Hz. Amplituden på midtspennet var pluss/minus 25 mm. Vibrasjonene startet i søndre tie. Bare mindre rør i toppen vibrerte. De nederste rørene sto helt stille. Det ble observert bølgeliknende bevegelser som beveget seg langs tien. Hovedkordene syntes å stå stilt der bracene krysset denne. Ingen vibrasjoner av flareline ble observert. Trappene opp i flammebommen vibrerte. Vibrasjonene ble sagt å være forskjellige fra hendelsen 17.9.1978.

Mobil (1980) konkluderer med at det har vært virvelavløsning i kordene i windtien. Helt til en ser på utslagene stemmer teorien om virvelinduserte svingninger meget bra! Sc-tallet tilsier små utslag. Ser en på utslaget ($y/D = 0,11$) og sammenlikner med Steen og Domben (1989) er utslagen her tilnærmet like store som for forsøkene som har kjølevannseffekter. Eventuelle kjølevannseffekter kommer likevel ved reduserte hastigheter som er like de en har for frittstående sylindere Oppen (28.4.1992) oppgir at bruk av DIN-4133 her gir 5,3 mm utsving. De målte utsvingene er da en faktor fem større enn hva DIN-standarden gir. En utmattingsberegning etter DIN 4133 gir en utmattingslevetid på omlag 500 år.

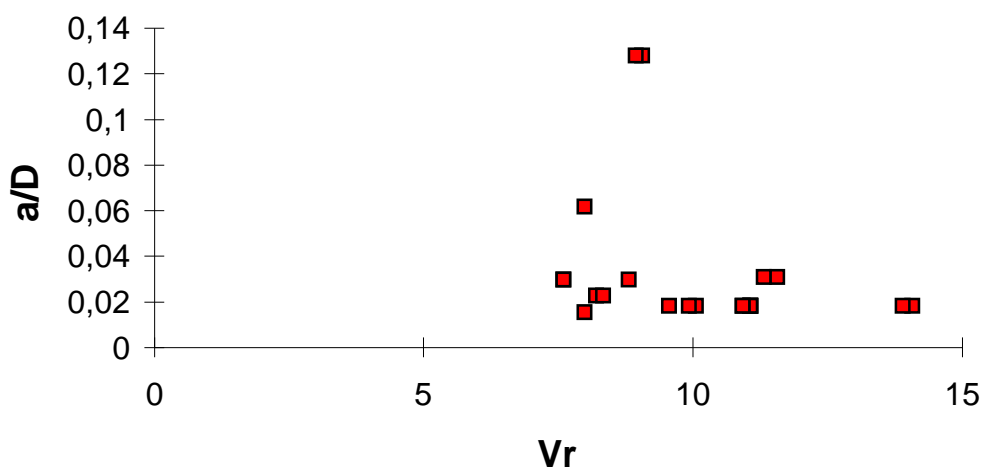
Problemet ble løst ved å ha tau rundt hovedkordene i tien tidlig i november 1981 (Mobil, 1980). Etter det er det ikke observert flere problemer. Tauene ble imidlertid i henhold til Tor Inge Fossan i Statoil, fjernet i 1991. Forut for fjerningen ble det satt inn noen ekstra vertikale bracer.

Heimdal

Dimensjoneringen på Heimdal var basert på at virvel induuerte bevegelser kom når redusert hastighet var større enn 3,5 og stabilitetstallet mindre enn 16. Det ble brukt en demping på individuelle stag på 0,5%. Dynamisk forsterkning ble uteglemt i analysene. Det ga grunnlag for et storskalaforsøk i virvelinduserte tverrsvingninger!

En hadde på Heimdal en lang rekke hendelser hvor det var vibrasjoner av enkeltelementer og av rammer. Enkeltelementene har vibrert i egenfrekvensen til enkeltelementene og rammene i egenfrekvensen til ramma. Det vises her til bl a Brown & Root (1985), Technip (1985), Fines m fl (1985), Moe (1989) og Moe (1992).

Moe (1989) konkluderer med at vibrasjonene er forårsaket av kjølvannseffekter (wake). For å underbygge det viser han til målinger gjort av Steen og Domben (1989). Plotter en enkeltelementer som vibrerte på Heimdal får en figuren nedenfor. Når det er oppgitt at amplitudene har vært små ("small") har vi skjønnsmessig satt dem til 5 mm. De minste rapporterte vibrasjoner hvor tall er oppgitt er 10 mm. Det er brukt $St = 0,17$. Det er videre antatt fast innspenning ved beregning av egenfrekvensen. Omhylningskurva for Heimdal målingene stemmer forbausende bra med resultatene til Steen og Domben (1989)! Elementene med de største utsvingene har L/D -forhold som er på 56. Som er langt større enn det Steen og Domben (1989) har gjort forsøk med. Dersom en velger en mer realistisk innspenning på omlag 0,7, forskyves verdiene til høyere reduserte hastigheter. Årsaken til de største svingningene av enkeltelementene kan da forklares ut fra kjølvanneffekten, som foreslått av Geir Moe.



Figur 17: Utsving av stag på Heimdal. a = utsving (amplitude), D = diameter på staget og V_r er redusert hastighet.

Når det gjelder svingninger av rammene er de verre å forklare. Vi kan ikke se at det er noen som har foreslått noen årsak til disse svingningene. De rammene som svingte er ut fra visuelle observasjoner oppgitt å svinge med egenfrekvenser på 2 - 3 Hz. Vindhastigheten er her i området 18 - 25 m/s. Utsvingene ved svingning av rammene er faktisk enda større enn svingning av enkeltelementene. En er da enda lengre unna vanlig teori enn for enkeltelementene på Heimdal.

Problemet ble her endelig løst ved installering av shrouds.

Statfjord B

Fossan (1991) rapporterte at det i 1988 ble funnet en sprekk. I 1989 ble det funnet tre sprekker. I 1990 ble det funnet 19 sprekker hvorav 18 i vindavstiveren. De fleste var ganske lange. Tre av sprekkeene ble undersøkt metallurgisk og årsaken ble funnet å være utmatting. Alle var oksydert helt til sprekke spissen. Ingen ferske sprekker ble funnet. Askheim m f (1993) viser til 45 "funn" ved inspeksjon på Statfjord B og C.

Askheim et al (1993) viser til at 29 funn er i sveisene mellom diagonal og tverrstag, 15 er sveiser mellom tverrstag ("x") og gurt ("v") og en er i sveis mellom diagonal og gurt.

Vibrasjoner har ikke vært synlige fra plattformen. Det er derfor ukjent ved hvilken frekvens, vindhastighet eller utslag vibrasjonene skjedde. Det er likevel ved små utving siden de ikke har vært synlige og ved mange sykler for å få utmatting. Askheim et al (1993) viser til at en kontroll av enkelt elementer i henhold til DIN 4133 gir betydelig utmattingsskade både i endene og på midten. Askheim med flere (1993) var i stand til å vise årsaken til 44 av 45 sprekker, som en kombinasjon av svinging av enkeltstag og paneler.

Kan det så være at det er hovedstagene som vibrerer som på Statfjord A? Småstagene må i så fall ha vibrert som en følge av at hovedstagene vibrerte og så fått sprekker i innfestingene. Hovedkordene har nær identisk egenskaper med hensyn til virvelinduserte svingninger som Statfjord A. En skulle forvente en nær identisk oppførsel. Det har ikke skjedd. Det er ikke enkelt å se hva som har hindret slike svingninger på Statfjord B og C.

Statfjord C

Flammetårnet på Statfjord C er identisk med tårnet på Statfjord B. Det ble i 1990 og 1992 funnet sprekker i vindavstiverne. Beregninger skulle være tilsvarende Statfjord B.

Gullfaks B

Johansen (1992) viser til at det er avdekket sprekkskader i 9 knutepunkt. Skadene er i hovedsak mellom stag og hovedrør, men i noen tilfeller har sprekke vokst inn i hovedrøret. Årsaken er utmatting.

Flammebommen holdes oppe av to fagverksstag. Disse består av 3 hovedrør med 219 mm ytre diameter og 10 mm veggtykkelse. De er forbundet med tverrstag og skråstag hver 4500 mm. Tverrstagene har en diameter på 51 mm og veggtykkelse på 10 mm. Skråstagene har diameter 101,6 mm og veggtykkelse 10 mm. Lefranc og Markhus (1992) viser også til at

hovedgurten i det øverste planet er følsom for virvelavløsning. Dette har $D = 152,4$ mm og $t = 10$ mm.

Sandahl (1985) har beregnet virvelavløsning på flammebommen. Han angir at stabilitetstallet er minst 56 på elementer i flammebommen. Han konkluderer derfor med at tverrsvingningene er ubetydelig. Heller ikke utmatting kan ventes. Dempningen er oppgitt å være 0,5%. Disse dimensjonene tilsvarer dimensjonene til korden. Med en dempning på 0,15% blir laveste stabilitetstall på 17, som er i området hvor en har cross flow.

Vibrasjonene foregikk ved frekvenser større enn 16 Hz, som er det øyet oppfatter.

Lefranc og Markhus (1992) har analysert horisontale og vertikale diagonaler. De konkluderer med at dette er de kritiske stavene. Den mest sannsynlige årsak er lokale vibrasjoner av hvert enkelt rør. Arbeidet er i stor grad basert på DIN-4133.

Lefranc og Markhus (1992) beregnet 115 egenfrekvenser på ramma. Disse inneholder også lokale svingeformer. De har sett på svingning av en vertikal diagonal i egenfrekvensen til staven (46 Hz). Denne ga lokal eksitasjon av de horisontale diagonalene som ligger i nærheten av den påkjente staven. Det ble forklart med at egenperioden for de vertikale og horisontale diagonalene var i forholdet 1 til 2. Den vertikale diagonalen gir da last til svingningsmoden for den horisontale diagonalen. Dette vil skje i motfase siden belastningsperioden er mindre enn stavens periode.

Det er gjort modellforsøk i Trondheim for å finne ut hvilken utbedring som skulle gjøres. Sprekkene ble reparert og i tillegg satte en inn på noen kompakte plastsylindere (sandwich plast) utenpå en del elementer. De skal ikke kunne suge til seg vatn.

Odin

Der er det registret 8 sprekker i flammetårnet. Sprekkene er fordelt med node 13 (en sprekkindikasjon), node 23 (en sprekk), node 33 (fire sprekker og en sprekkindikasjon) og node 53 (en sprekk) som er innrapportert i perioden 1984-86.

Sprekkstørrelsen er med unntak av de som bare har sprekkindikasjoner, i området 10-20mm. Det er større enn det som normalt ville ha passert i en kontroll under fabrikasjonen. Etter vår vurdering er det ikke urimelig at disse kan ha sin årsak i virvelinduserte svingninger, men uten at vi kan være helt sikre.

Valhall - PCP

Det er i perioden 1983-1989 oppdaget i alt 10 sprekker i flammebommen. Sprekkene som er observert har lengder på 15 mm, 45 mm, 180 mm, 80 mm, 25 mm og 80 mm. Som for Odin, er de større enn det som normalt ville ha passert i en kontroll under fabrikasjonen. Etter vår vurdering er det ikke urimelig at disse også kan ha sin årsak i virvelinduserte svingninger. De er reparert med sliping.

Jotun B - støtter til helikopterdekk

Jotun B ble installert i 1998. I løpet av vinteren 1999/2000 ble det observert betydelige vibrasjoner i helikopterdekk supportene. Svingningene var i størrelsesorden 50 – 100 mm fra

nøytralaksen. De maksimale utsvingningene ble registrert i vindhastigheter på ca 30 m/s, mens svingningene startet ved ca 14 m/s.

Supportene for helikopterdekket til Jotun B er ca 18 m lange HUP400x400x10. Det er et trykk i disse stagene fra egenvekten av helikopterdekk og fra eventuelt vindtrykk på helikopterdekk, som kan påvirke egenfrekvensen av disse stagene. Hvis en ikke tar hensyn til dette trykket og antar fritt opplegg i begge ender, vil en slik support ha en egensvingefrekvens på ca 4 Hz. Dette gir en kritisk vindhastighet på 15 m/s, ved å anta Strouhals-tall på 0.12.

Beregningsmessig får en virvelavløsningsinduserte svingninger som målt. Esso har valgt å forsterke supportstagene slik at en unngår svingninger.

Den effekten av disse svingningene som i første rekke var den mest vesentlige var at det ble svært ubehagelig på å oppholde seg på selve helikopterdekket. Esso har også gått inn med Eddy current NDT på kritiske knutepunkter, uten noen funn.

Åsgard B – skråstag som understøtter helikopterdekket

Det ble medio oktober 2000 visuelt observert svingninger i de 4 skråstagene som understøtter helikopterdekket på Åsgard B. Det ble gjort visuelle observasjoner av utsving, anslagsvis i størrelsesorden inntil 20-30 mm. Stagene har en lengde på 15500mm og er har et firkantprofil med 400mm med veggtykkelse 12,5 mm. Vindhastigheten var under observasjonene mellom 35 og 40 knop. Beregninger er utført og det ble konkludert med at svingningene var på grunn av virvelinduserte tverrsvingninger.

Som strakstiltak ble det surret tau rundt skråstagene for å hindre svingninger og det ble utført 100% MPI testing av sveiser. Ingen funn ble gjort fra MPI. Som permanente tiltak (under utførelse) blir skråstagene stivet av vertikalt opp mot de horisontale stagene under heldekket. I tillegg blir 2 og 2 skråstag forbundet med horisontale stivere.

REFERANSER

- Askheim D Ø, H Carlsen, M Skjolde, E Alling: Studie flammebom, Statfjord B og C, Veritec, Oslo, juni 1993.
- Breivik Reidar G : Penetrering av legg på West Omicron, brev fra PPCoN til OD av 2.1.1995.
- Breivik Reidar G : Møtereferat fra møtet med OD fredag 13.1.1995 om penetrering av legg på West Omicron, brev fra PPCoN til OD av 17.1.1995.
- Brown & Root (UK): Heimdal flare boom investigation, London, 1985.
- Bærheim Morten: Structural effects of foundation fixity on large jack-up, The fourth international conference, the jack-up platform, design, construction & operation, London, 21-22.9.1993.
- Christensen Øyvind: Higher order wave load effects - ringing, brev fra PPCoN til OD av 5.10.1993.
- Dahle Maria Renate og Aren Kvitrud: Begroing av jacketkonstruksjoner i Nordsjøen, OD rapport OD-95-84.
- Det Norske Veritas: Inspection of horizontal rails in turret, report no. 341G09IN, 1999
- Deutsche Norm: Schornsteine aus stahl , DIN 4133, Berlin, 1988.
- DNV: Environmental conditions and environmental bad, Classification notes 30.5, Oslo, mars. 1991.
- Ersdal Gerhard og Arne Kvitrud: Green water on Norwegian production ships, ISOPE-2000, Seattle, 2000
- Ersdal Gerhard: Green water workshop, NPD, OD rapport OD-00-42, Stavanger, 2000
- Esso, Balder FPU turret rails, S-15604, 1999
- Fines S, O Skalmerås, Å Tårnes og I Frazer: Investigations of the vibrations in the Heimdal flareboom, Det norske Veritas, report 85/1048, Oslo, 18.2.1985.
- Fossan Tor Inge: Statfjord, 4-års tilstandsvurderingsrapport over vann (1987-90), Statoil DDS, Stavanger, 1991
- Hale Andrew: Conditions of occurrence of major and minor accidents, 2me séance du séminaire "Le risqué de défaillance et son contrôle par les individus et les organisations, Gif sur Yvette, 6-7. November, 2000.
- Hamre Reidar, Arne Kvitrud og Kåre Tesdal: In service experience of fixed offshore structures in Norway, OMAE, Stavanger, 1991.
- Idland Mari Anne: Erosjon rundt jacketer, OD rapport OD-93-24.
- Johansen J K: Sprekkskader i fakkelpom Gullfaks B, Telefax fra Statoil til OD av 29.6.1992
- Karunakaran D, N Spidsøe: Measure and simulated dynamic response of a jackup and a large jack-up platform in North Sea, OTC 8827, Houston, 1998.
- Koch S P: Field measurement of jacket member structural properties, OTC 6173, Houston, 1989.
- Kvitrud Arne, Gerhard Ersdal, Roger Leif Leonhardsen: On the risk of structural failure, ISOPE-2001, Stavanger, 2001
- Lefanc Marc og M Markhus: Gullfaks B flammebom, studie av skader på Gullfaks B, Flammebommen, Sluttrapport, Oslo, 1992.
- Leland A, C J Mommaas og M Bærheim: Cost effective spud can modifications, IADC/SPE drilling conference, 274443, 1994
- Leonhardsen Roger L, Gerhard Ersdal og Arne Kvitrud: Experience and Risk assessment of FPSOs in use on the Norwegian Continental Shelf Descriptions of Events
- Mobil: Mobil Statfjord 'A' platform flare vibration report, Stavanger, 1980.

- Moe Geir, T Domben og P E Steen: Vibrations of a circular cylinder in the wake of a large cylinder, Proceedings of Eurodyn, Trondheim, 1993.
- Moe Geir: The Staffjord-B flare structure. Observed cracks versus predicted vortex induced vibrations, NTH rapport R-3-92, Trondheim, 1992
- Moe Geir: Verification of the flare and bridge contractors's criteria for structural check vortex shedding effects, NTH rapport R-8-91, Trondheim, 1991.
- Moe Geir: Vibrations of flare booms in natural winds, a review of Statoil design specification N-SD-001, appendix A - bads, NTH rapport R-4-89, Trondheim 1989.
- Norsk Hydro: Anchorline breakages - Petrojarl 1, R-040346, 1990
- Norsk Hydro: Petrojarl Varg – Sprekker i skinner i dreietårnets lagersystem, NH/OD-B-4930/00, 2000
- Sandahl P: Structural design report flareboom, Gullfaks B, C008-A-N-RD-116, Oslo, juni 1985.
- Schneider Jørg: Introduction to safety and reliability analysis, IABSE, Zurich, 1997.
- Sharples B P M, W T Bennett Jr and J C Trickey: Risk analyses of jackup rigs, International conference on the jack-up drilling platform, Singapore, 1989.
- Statoil: Informasjon om skader i lastetanker, 1999.
- Statoil: Skaderapport etter sammenstøt, 2000a.
- Statoil: Granskningsrapport fra berøring, dok. nr.:00A05*0209, 2000b.
- Steen P E og T Domben : Vind-induserte vibrasjoner i flammetårn, modellforsøk, Diplomoppgave ved Institutt for konstruksjonsteknikk, NTH, desember 1989.
- Syvertsen K og H O Hidle: Verifisering av langskips bøyemoment i PTS "Petrojarl" B4-0224, Sintef rapport STF71 F87028, Trondheim, 1987.
- Syvertsen Kåre: Verifisering av langskips bøyemoment i PTS "Petrojarl" – tilleggsanalyse revisjon 1, mai 1988, Sintef rapport STF71 F88003, Trondheim, 1988.
- Teehnip Geoproductions : Expertise - Heimdal flare boom, Paris, januar 1985.
- Temperton I, R W P Stonor og C N Springett: Measured spudcan fixity: analysis of instrumentation data from three North Sea jack-ups and correlation to site assessment procedures, Marine Structures, nr 12, 1999.
- Tilley D W: A comparison of ship-platform collision frequency models: Collide and MANS, AEA Technology consulting, den Hague, AEA/DGSM/18495005/3, Edition 3, 1998