

**Stabilitetssvikt av  
innretninger på norsk sokkel -  
Metodikk for risikoanalyse**

<b>Rapport</b>	
Rapporttittel <b>Stabilitetssvikt av innretninger på norsk sokkel – Metodikk for risikoanalyse.</b>	Rapportnummer Ptil-06-01

<b>Gradering</b>		
<input checked="" type="checkbox"/> Offentlig	<input type="checkbox"/> Begrenset	<input type="checkbox"/> Strengt fortrolig
<input type="checkbox"/> Unntatt offentlighet	<input type="checkbox"/> Fortrolig	

<b>Involverte</b>	
Organisasjonsenhet F-konstruksjonssikkerhet	Forfatter/saksbehandler Jan Erik Vinnem, Arne Kvitrud og Liv Rannveig Nilsen
Godkjent av Helge Ivar Vestre	Dato 21. februar 2006

<b>Rapport og prosjektinformasjon</b>	
Sammendrag	
Norske emneord	
Prosjekttittel Stabilitet, ballastering, vekt	Prosjektnr 99B4
Antall sider 33	Opplag

## INNHALDSFORTEGNELSE

1	Bakgrunn og formål .....	1
1.1	Forkortelser .....	1
2	Ulykkesmekanismer som kan føre til Stabilitetssvikt .....	1
2.1	Ulykkesmekanismer for alle typer innretninger .....	1
2.2	Ulykkesmekanismer som er spesifikke for halvt nedsenkbare innretninger .....	2
2.3	Ulykkesmekanismer som er spesifikke for oppjekkable innretninger .....	2
2.4	Ulykkesmekanismer som er spesifikke for FPSOer .....	2
2.5	Diskusjon .....	2
3	Regelverkskrav .....	2
3.1	Innretningsforskrift .....	2
3.2	Styringsforskrift .....	3
3.3	Forskrift om ballastsystem på flyttbare innretninger .....	4
3.4	Forskrift om stabilitet, vanntett oppdeling og vanntette/værtette lukningsmidler på flyttbare innretninger .....	4
3.5	Forskrift om risikoanalyse for flyttbare innretninger .....	4
4	Erfaringsdata FRA norsk og britisk sokkel, og kjente storulykker .....	5
4.1	Skader/hendelser rapportert i RNNS-prosjektet .....	5
4.2	Skader/hendelser rapportert til HSE for britisk sokkel .....	7
4.3	Kjente storulykker og tilløp .....	7
4.3.1	Ocean Ranger .....	7
4.3.2	Ocean Developer .....	9
4.3.3	P-36 .....	10
4.3.4	P-34 .....	10
4.3.5	Thunder Horse .....	10
4.4	Fordeling av feilårsaker .....	10
5	Håndtering av stabilitetssvikt i risikoanalyser .....	12
5.1	Håndtering av feil på ballastsystemer i dagens risikoanalyser .....	12
5.2	Forslag til risikoanalyse av stabilitetssvikt i RABL prosjektet .....	13
5.2.1	Feil på ballastsystem .....	13
5.2.2	Andre feilhendelser .....	15
5.3	Datakilder .....	15
5.3.1	Datakilder brukt i RABL .....	15
5.3.2	Andre datakilder .....	16
6	Anbefalt metodikk for risikoanalyse av stabilitetssvikt .....	17
6.1	Bruk av analyser i ulike faser .....	17
6.2	Analysesprosess .....	17
6.3	Feil på ballastsystem .....	18
6.4	Andre feilhendelser .....	19
7	Eksempler, feil- og hendelsestrær .....	20
8	Diskusjon .....	27
9	Konklusjoner og anbefalinger .....	29
10	Referanser .....	30

## 1 BAKGRUNN OG FORMÅL

Denne rapporten oppsummerer Petroleumstilsynet (Ptil) sitt arbeid knyttet til kvantitative risikoanalyser av stabilitetssvikt for flyttbare innretninger de siste årene, samtidig som noen aktuelle regelverkskrav blir diskutert. Rapporten er bygd på Nilsen [5], og videreført av Jan Erik Vinnem, Preventor AS.

Hensikten med rapporten er å oppsummere erfaringer med analyser knyttet til stabilitetssvikt på norsk sokkel de siste årene og kommunisere dette til næringen. Samtidig er det fra Ptils side viktig å sikre at partene i næringen forstår regelverket og de krav som regelverket stiller til de ulike aktørene. Forhåpentligvis vil denne rapporten dermed kunne bidra til en slik økt forståelse for regelverket i bransjen.

Styringsforskriften § 15 sier blant annet at: *”Det skal utføres kvantitative risikoanalyser som gir et nyansert og mest mulig helhetlig bilde av risikoen. Risikoanalysene skal*

- a) *identifisere fare- og ulykkessituasjoner, velge initierende hendelser og klarlegge årsakene til hendelsene,*
- b) *modellere ulykkessekvenser og konsekvenser slik at blant annet eventuelle avhengigheter mellom fysiske barrierer kan avdekkes, og slik at det kan beregnes hvilke krav som må stilles til barrierenes ytelse,”*

Svært få av dagens metoder gir en detaljeringsgrad som tilfredsstillende forskriften.

Det er lenge siden det har vært alvorlige hendelser på norsk sokkel som har truet stabiliteten av flyttbare eller flytende produksjonsinnretninger. Hendelser i andre verdensdeler har imidlertid satt betydelig fokus på slike hendelser. Ocean Ranger havariet i 1982 er den alvorligste ulykken som noen gang har skjedd med tap av stabilitet og totalhavari.

### 1.1 Forkortelser

FMECA	Feilmodi, effekt og kritikalitetsanalyse (“Failure mode, effect and criticality analysis”)
HAZID	Fareidentifikasjon (“Hazard identification”)
QRA	Kvantitativ risikoanalyse (“Quantitative Risk Assessment”)
Ptil	Petroleumstilsynet
UiS	Universitet i Stavanger

## 2 ULYKKESMEKANISMER SOM KAN FØRE TIL STABILITETSSVIKT

### 2.1 Ulykkesmekanismer for alle typer innretninger

Stabilitetssvikt kan oppstå på flere måter for flyttbare og flytende innretninger:

- Feil på ballastsystem, inklusiv pumper, ventiler og kontrollsystem
- Feiloperasjoner av ballastsystem
- Fylling av oppdriftsvolumer fra ”innsida”, dvs. med brannvann og lignende
- Fylling av oppdriftsvolumer pga. kollisjon med passerende trafikk
- Fylling av oppdriftsvolumer pga. konstruksjonsfeil
- Fylling av oppdriftsvolumer pga. brann/eksplosjon, inklusiv fylling med brannvann
- Fylling av pumperom
- For stor/liten eller feilplassert vekt i forhold til kapasitet

## 2.2 Ulykkesmekanismer som er spesifikke for halvt nedsenkbare innretninger

I tillegg til de generelle ulykkesmekanismer som er angitt ovenfor, gjelder følgende ulykkesmekanismer spesielt for halvt nedsenkbare innretninger, i forhold til mulig stabilitetssvikt:

- Vektforskyvning av store masser på dekk
- Tap av vekt ved ankerlinebrudd eller utrausing av ankerliner
- Punktering av flere oppdriftsvolumer ved kollisjon

## 2.3 Ulykkesmekanismer som er spesifikke for oppjekkable innretninger

I tillegg til de generelle ulykkesmekanismer som er angitt i delkapittel 2.1 ovenfor, gjelder følgende ulykkesmekanismer spesielt for oppjekkable innretninger, i relasjon til mulig stabilitetssvikt:

- Feil på ballastsystem, inklusiv pumper, ventiler, kontrollsystem, feiloperasjon under forflytning
- Vektforskyvning under forflytning

## 2.4 Ulykkesmekanismer som er spesifikke for FPSOer

I tillegg til de generelle ulykkesmekanismer som er angitt i delkapittel 2.1 ovenfor, gjelder følgende ulykkesmekanismer spesielt for FPSO, i relasjon til mulig stabilitetssvikt:

- Feil på lastesystem som medfører uakseptabel vektfordeling
- Feiloperasjon av lastesystem som medfører uakseptabel vektfordeling

## 2.5 Diskusjon

De ulykkesmekanismer som bør analyseres, er de som har potensial for å kunne gi alvorlige konsekvenser for personell og/eller innretningen selv. Alle ulykkesmekanismer som er nevnt over har i spesielle situasjoner gitt alvorlige konsekvenser. Enkelte av disse har ikke inntruffet på mange år, slik at erfaringene er knyttet til konsepter som ikke er i bruk i dag. Under spesielle forhold kan slike mekanismer likevel være aktuelle.

I et konkret tilfelle, bør det likevel uansett gjøre en innledende fareidentifikasjon, slik at de ulykkesmekanismer som kan gi kritiske skader kan bli identifisert, se figur 5.

## 3 REGELVERKSKRAV

### 3.1 Innretningsforskrift

Innretningsforskriften, § 38 omhandler ballastsystem, men henviser i stor grad til Sjøfartsdirektoratets forskrift om ballastsystemer. Tilsvarende gjør § 63, om stabilitet.

Paragraf § 38 har et funksjonelt krav til utforming av anlegget. Det er ikke noen krav til risikoanalyser av anlegg. § 38 har følgende ordlyd:

§ 38  
Ballastsystem

Flytende innretninger skal være utstyrt med et system som kan ballastere enhver ballasttank under normale operasjonsforhold.

Ved utilsiktet fylling av ethvert rom mot sjø skal det fortsatt være mulig å ballastere.

Ballastsystemer skal være i samsvar med Sjøfartsdirektoratets forskrift 20. desember 1991 nr. 879 om ballastsystemer på flyttbare innretninger, sist endret 11. april 2003, § 2 og § 7 til og med § 22.

§ 63 om stabilitet, har følgende ordlyd:

§ 63  
Stabilitet

Flytende innretninger skal være i samsvar med kravene i Sjøfartsdirektoratet forskrift 20. desember 1991 nr. 878 om stabilitet, vanntett oppdeling og vanntette/værtette lukningsmidler på flyttbare innretninger, sist endret 11. april 2003, § 8 til og med § 51.

Det skal være vektkontrollsystemer på flytende innretninger, som sikrer at vekt, vektfordeling og tyngdepunkt er innenfor prosjekteringsforutsetningene. Utstyr og konstruksjonsdeler skal være sikret mot forskyvninger som kan påvirke stabiliteten.

Kravene til risikoanalyser, er de generelle krav i hht. Innretningsforskriften, § 6, og Styringsforskriften, § 15.

Innretningsforskriften, § 6 har følgende ordlyd:

§ 6  
Hovedsikkerhetsfunksjoner

Hovedsikkerhetsfunksjonene skal defineres på en entydig måte for hver enkelt innretning slik at sikkerheten for personell ivaretas og forurensning begrenses.

For permanent bemannede innretninger skal følgende hovedsikkerhetsfunksjoner opprettholdes ved en ulykkessituasjon:

- a) hindring av eskalering av ulykkessituasjoner slik at personell som er utenfor den umiddelbare nærheten av ulykkesstedet, ikke skades,
- b) opprettholdelse av hovedbæreevnen i bærende konstruksjoner inntil innretningen er evakuert,
- c) beskyttelse av rom som er av betydning for bekjempelse av ulykkehendelser slik at de er operative inntil innretningen er evakuert, jf. § 29 om brannskiller,
- d) beskyttelse av innretningens sikre områder slik at disse er intakt inntil innretningen er evakuert,
- e) opprettholdelse av minst én evakueringsvei fra ethvert område der personell kan oppholde seg inntil evakuering til innretningens sikre områder og redning av personell er gjennomført.

### 3.2 Styringsforskrift

Styringsforskriften § 15 har følgende ordlyd:

§ 15  
Kvantitative risikoanalyser og beredskapsanalyser

Det skal utføres kvantitative risikoanalyser som gir et nyansert og mest mulig helhetlig bilde av risikoen. Risikoanalysene skal

- a) identifisere fare- og ulykkessituasjoner, velge initierende hendelser og klarlegge årsakene til hendelsene,

- b) modellere ulykkessekvenser og konsekvenser slik at blant annet eventuelle avhengigheter mellom fysiske barrierer kan avdekkes, og slik at det kan beregnes hvilke krav som må stilles til barrierenes ytelse,
- c) klassifisere viktige sikkerhetssystemer,
- d) vise at hovedsikkerhetsfunksjonene ivaretas,
- e) identifisere dimensjonerende ulykkeslaster,
- f) gi grunnlag for valg av de definerte fare- og ulykkesituasjonene.

Det skal gjøres nødvendige følsomhetsberegninger og vurderinger av usikkerheter.

Det skal utføres beredskapsanalyser som skal

- a) definere fare- og ulykkesituasjoner,
- b) sette ytelseskrav til beredskapen,
- c) velge og dimensjonere beredskapstiltak.

### **3.3 Forskrift om ballastsystem på flyttbare innretninger**

Sjøfartsdirektoratets forskrift av 20. desember 1991 nr. 879 om ballastsystemer på flyttbare innretninger, sist endret 11. april 2003, inneholder en rekke krav til ballastsystem, inklusiv røropplegg, pumper og kontrollsystem. Det anses ikke aktuelt å gå i detalj på disse krav.

Forskriften har ingen krav til risiko- og/eller pålitelighetsanalyser. Det er krav om å utføre analyse som viser at forskriftens krav er oppfylt, dette kan være en risiko-/pålitelighetsanalyse.

### **3.4 Forskrift om stabilitet, vanntett oppdeling og vanntette/værtette lukningsmidler på flyttbare innretninger**

Forskrift om stabilitet, vanntett oppdeling og vanntette/værtette lukningsmidler på flyttbare innretninger av 20. desember 1991, sist endret 11. april 2003 har bl.a. krav til skadestabilitet som har betydning for konsekvenser av feil på bl.a. ballastsystem. Det anses ikke aktuelt å gå i detalj på disse krav.

Forskriften har ingen krav til risiko- og/eller pålitelighetsanalyser. Det er krav om å utføre analyse som viser at forskriftens krav er oppfylt, dette kan være en risiko-/pålitelighetsanalyse.

### **3.5 Forskrift om risikoanalyse for flyttbare innretninger**

Forskrift om risikoanalyse for flyttbare innretninger av 22. desember 1993 nr. 1239 har krav til bruk av risikoanalyser og risikoakseptkriterier for flyttbare innretninger. Forskriften krever at risikoanalysen behandler feil vektfordeling ved forskyvning av dekkslast eller ballast, eller ved ising, dersom dette er relevant. Videre kreves pålitelighets-/sårbarhetsanalyse av ballastsystem/vanntett oppdeling.

## 4 ERFARINGSDATA FRA NORSK OG BRITISK SOKKEL, OG KJENTE STORULYKKER

### 4.1 Skader/hendelser rapportert i RNNS-prosjektet

Tabell 1 viser de hendelser som er rapportert i prosjektet Utvikling i risikonivå på norsk sokkel (RNNS, [1]), som DFU8, konstruksjonsskade og maritime systemer. Her er vist kun de hendelser som har representert tilløp til tap av stabilitet.

**Tabell 1 Oversikt over stabilitetshendelser rapport til Ptil i RNNS**

Dato	Innretning	Byggeår	Type innretning	Beskrivelse	Operatør
18.12.2000	Transocean Arctic	1986	Flyttbar	Uønsket autostart på ballastpumper	Statoil
03.07.2002	Polar Pioner	1985	Flyttbar	400m <sup>3</sup> vann strømmet mot indikert stengt ventil	Hydro
18.01.2003	Snorre B		Flytende produksjon	Det ble utløst brannalarm i området R43 ved flammetårn. Nødvstengning nivå 2 (NAS 2). Deluge utløst. Alle aktiviteter ble stanset. Brannalarmen ble sjekket ut og klarert. Ingen brann. Personell mønstret i livbåt og personellstatus bekreftet etter 20 min. Indikasjon på vektforskyvning pga. vannmengde fra deluge. Ballastering av ca. 200 tonn vann utført og situasjonen normalisert. Personell ble demobilisert kl. 06:35. Informasjon til alle ble foretatt kl. 07:15.	Statoil
01.05.2004	West Venture	2000	Flyttbar	Et brannvannsrør som går gjennom en ballast tank hadde sprukket, noe som medførte fylling av ballast tank til det var slagside på 2-3 grader. Røret var av kompositt. Røret hadde gått opp i en skjøl, og to brannpumper slo inn med kapasitet på 500m <sup>3</sup> /T - fylte inn 350m <sup>3</sup> på 20 minutter - list 2-3 grader. (Maks list er 4 grader ved full tank - og følgelig ikke ansett som et stabilitetsproblem). Tank er nå tømt. DNV kom om bord - og går igjennom hendelsen. Brannvannsystemet er operativ - men tanken isolert. Strekt slanger som kompensasjon etc. Avviksbehandling på riggen.	Hydro

Tabell 2 viser en oversikt over mindre hendelser rapportert til Ptil, som ikke har vært inkludert i DFU8 i RNNS.



**Tabell 2 Oversikt over mindre stabilitetshendelser rapport til Ptil**

<b>Dato</b>	<b>Innretning</b>	<b>Type innretning</b>	<b>Beskrivelse</b>
12.02.1995	Transocean Arctic	Flyttbar	Hydraulikker oppdaget ved inspeksjon i forre BB pumperom at ballastpumpe no 7 gikk mot stengte ventiler, og var så varm at malingen begynte å bli brunsvidd.
14.06.1995	Transocean Arctic	Flyttbar	Ved start av ballastpumpe nr 1 stoppet pumpen etter ca 60 sek.
01.12.1995	Transocean Arctic	Flyttbar	Nivådata for ballasttanker er etterhvert blitt svært upålitelige. Dette medfører at det kalkuleres 400-600 mt større displacement enn det observeres.
18.04.1996	Transocean Wildcat	Flyttbar	Ved kjøring av ballast med BB pumpe gikk alarm for vann-nivå i fremdriftsrommet. Ved kontroll ble det oppdaget lekkasje i en overgang på sjøvannlina etter hydraulisk sjøventil. Denne ventil var stengt, men fortsatt lekkasje. Ventil til sjøkiste stengt (manuell).
13.08.1998	Transocean Prospect	Flyttbar	Ballasttank No. 6 viste 100 ltr. Fylte ballastvann inn på tanken i noen minutter. Måler i kontrollrom for tanken gikk rett til topps, full tank. Feil på automatisk tankavleser i kontrollrommet. Peileplugg for manuell peiling av ballasttank No. 6 er plassert på level No. 9. Peileplugg var tatt av og lå ved siden av peilerør. Det kom noe vann inn på level No. 9, ingen skade på utstyr.
27.08.1998	Transocean Prospect	Flyttbar	Senterskjermen til Ballast computeren frøs bildet, og forandringer i ballast kom ikke frem på skjermen.
21.01.1999	Polar Pioneer	Flyttbar	Ballast tanker 3 og 16 vart fylt under ballastering, vann korn på dekk igjennom luftehull.
09.08.1999	Transocean Wildcat	Flyttbar	Riggen trimmet akt/BB. Åpnet opp for å renne inn ballast på tank #1 SB. Satte meg ned i 'bua'. En maler inn for å ta over arbeidstillatelse # 53122. Da han hadde signert så var det glemte at ventiler var oppe på ballasten. Pumperom ringte 'rett opp riggen'
18.02.2000	Transocean Arctic	Flyttbar	Ca. klokken 0130, 17.02 oppdaget jeg at ballast pumpe no.3 hadde autostartet etter 5 å ha vært stoppet få minutter tidligere. Ca. 0330 samme natt gjentok dette seg og ble nå oppdaget umiddelbart. Ca 1430 18.02 skjedde dette igjen og ble også denne gangen oppdaget umiddelbart.
16.11.2000	Transocean Wildcat	Flyttbar	Ved ballasting til operasjonsdyppgående ble det fylt ballast på tank 20 stb og bb. Dette resulterte i vanninntrenging i nr. 4tverrstag, da mannlokk tank til tverrstag var åpent.
22.01.2001	Polar Pioneer	Flyttbar	Feil nivåmålinger for tanker (ballast etc) på styrbord side.
23.02.2001	Transocean Wildcat	Flyttbar	Kl. 07.00 ble det rapportert at nivået i PT-1 7 (ballasttank i BB forre søyle) steg med ca 20cu.m på en time mot stengt ventil. På dette tidspunktet var man i ferd med å ballaste riggen fra transit til operasjonsdrift. Tanken tømt og åpnet for inspeksjon. Det var fortsatt mye vann i forre del av tanken, så transportabel lensepumpe ble benyttet for å få tømt hele tanken. Tanken tømt og inspisert. Intet unormalt funnet. Ballastventil kontrollert. Holdt tett. Det ble observert div. rask som sveisepinner, plast mm i tanken. Årsaken til vanninntrengingen kan være at noe har ligget i mellom slik at ventilen ikke stengte skikkelig. Tanken stengt og ballastering fortsatte.
10.05.2001	Polar Pioneer	Flyttbar	Under kjøring av ballast vann fra sjøkiste BB-aktre, og inn på "bilge pums" systemet, for å mate lensepumpe, tok P-11 inn vann via ventil BV-86 som indikerte stengt.
11.11.2001	Transocean Prospect	Flyttbar	Det er 2 lysventiler i messerommet i forkant, det var lysventilen lengst mot styrbord som ble slått inn av en stor sjø. Det er ikke montert stormluker på disse ventilene. Alle vinduer i bb fore ankerwinsj kjørebu slått ut, knust.
29.12.2001	Transocean Arctic	Flyttbar	Som følge av at fjernoperert ballastventil fra PT 13 sprakk under test, fikk ballastlina et kraftig sjokk som medførte at Johnson kopligen gled ut fra lina på den ene enden.
1.12.2002	Bideford Dolphin	Flyttbar	Første sprekk i akte bracing oppdages ved alarm for vanninntrengning i kolonne babord 4. 2.12 oppdages ny sprekk i forre bracing. Alarm for vanninntrengning i kolonne styrbord 1. 5.12 oppdages sprekk nr 2 i akte bracing.

Dato	Innretning	Type innretning	Beskrivelse
			Det ble besluttet kontrollert nedbemanning av riggen, som deretter gikk til land for utbedring.
5.5.2003	West Alpha	Flyttbar	Det viste seg at det kommer vann inn på ballasttank styrbord 24. Det viste seg at det har lekket gjennom ventilen når vi kjører ballast fra andre tanker. Dette ble dobbeltsjekket ved at vi stengte alle tanker og åpnet fra sjø.
29.6.2004	Transocean Leader	Flyttbar	Was using mixpump no.2 on pit no.4,mix pump no.3 was lined up to fill trip tank with sea water from pit 8.Pump was run remotely from rig floor. When drk.man came down from mixing station he observed an increase of 5m <sup>3</sup> in pit 4.This proved to be seawater from pit 8. after investigation
3.8.2004	Bideford Dolphin	Flyttbar	Det ble observert lekkasje inn i ballast tk bb2. Ved sjekk av dette viser det seg at det lekker inn ca 6 m <sup>3</sup> per time. Tank er normalt full under operasjon. Etter undersøkelse med ROV er det ingen indikasjon på lekkase i mannlokk. For igjen å sjekke evt intern lekkasje ble følgende gjort: Først stengte man ventil bb 2 og åpnet ventil til bb5, man kunne da se an økning på bb5 og det minket litt på bb2. Stengte så bb5 og åpnet til bb14 og observerte en økning i tank på ca 10 m <sup>3</sup> i timen. Konklusjon: Det er lekkasje på sjøkisteventil, hovedventil eller crossoverventil og ventil til ballasttank nr2 bb. For å verifisere dette stengte man manuell sjøkisteventil og observert i ca 7 timer, og ingen lekkasje inn på tank. 4.8. Skiftet solenoidventil for kjøring av B.F.ventil til PT # 2. Åpnet og sjekket Butterfly ventil til PT 2, funnet et plastikk tau rundt flyndre. Fjernet tauet. Lekketestet ventil mot statisk dypgående trykk; ingen lekkasje.
14.12.2004	Ocean Vanguard	Flyttbar	Tap av to ankerliner --> ødelagte ankervinjer og knukket borestigerør + skjev BOP → slagside på 10 grader like etter hendelsen.
19.1.2006	Visund	Flytende produksjon	Massivt gassutslipp førte til utløsning av deluge. Innretningen fikk en krenkning på 3 grader.

## 4.2 Skader/hendelser rapportert til HSE for britisk sokkel

HSE har utgitt en rapport med tilhørende database som gir oversikt over ulykker og tilløp på mobile og flytende innretninger, inklusive flytende produksjonsinnretninger [2].

## 4.3 Kjente storulykker og tilløp

Noen kjente ulykker og ulykkestilløp som har involvert ballastsystemer er kort omtalt i det følgende.

### 4.3.1 Ocean Ranger

Følgende tekst er sitat fra "Offshore Risk Assessment" [3]:

The semi-submersible mobile drilling unit Ocean Ranger capsized on 15.2.82 in Canadian waters. The ballast control room in one of the columns had a window broken by wave impact in a severe storm. Short circuits occurred in the ballast valve control systems, when the seawater entered the room, thereby starting spurious operations of the ballast valves. The crew then had to revert to manual control, but were probably not well trained in this, and did actually leave the valves in open position for some time, when it had been assumed that they were in the closed position. Correction of this failure did not occur sufficiently soon to avoid an excessive heel angle. Due to this excessive heel angle, the rig could not be brought back to a safe state, because only one ballast pump room was provided in each pontoon, at one end. The heel angle was such that the suction height soon exceeded the maximum of 10 metres, and water from the lowest tanks could not be removed.

**Tabell 3 Oversikt over stabilitetshendelser rapportert til HSE i perioden 1980-2003**

<i>Year of Event</i>	<i>Type of Unit*</i>	<i>Operation Mode**</i>	<i>Injuries/Fatalities</i>	<i>Event Description</i>
1986	SS	DX	0	A malfunction of the semi's ballast control system caused the rig to list 9 deg. Before control was obtained and the rig uprighted after 90 minutes. Five helicopters flew in in case evacuation of the 57 crew should be required. Wind of strong gale and 5m waves. The rig was about to spud a well at 22/4 at the time of incident. Drilling was resumed 3 days later.
1990	SS	DR	0	Electrical failure of power supply to ballast control system. Ac output power inverter on ups tripped offline, battery backup to systems feeds through the inverter and was not able to come in to keep system running. Three separate operator stations were without power for approx. 8 min. Until ups system was reset. No observable damage was done to UPS system, nor can fault be duplicated. Ballast control system went into failsafe condition preventing loss of trim or stability. System was restored to full operational capability without further incident. No accidents or injuries occurred: weather and vessel motion were not factors in the incident.
1990	JU	TW	0	The rig was under tow when it started to take in water and with a list developing. Next day all water was successfully pumped out.
1990	SS	DR	0	Pump room flooded causing list.
1999	FP	PR	0	At 0129 a low gas alarm was initiated by a seal leak on methanol pump P-82501-A. During wash down operations of the methanol spill a high gas alarm initiated a Yellow shutdown at 0152. Possible software anomalies also caused GT shutdown and starting failures on emergency power generation. During the period of power loss deluge activation occurred in a number of fire zones due to loss of air pressure and a list of 5 degrees to Starboard developed due to the free flow of the ballast through open valves in the system. At no time was the vessel stability at risk and would have stabilized at around 6-8 degrees once levels in the ballast tanks had settled. Actions 1. Methanol leak washed down with water and slight list to starboard was given to aid draining. 2. GA initiated and DCR informed following Yellow shutdown and loss of power generation. 3. Manual intervention by emergency teams to isolate deluge systems. 4. Manual intervention by emergency teams to close ballast valves at local controls. 5. Recovery of emergency power and ballast system. 6. Investigation team sent offshore to investigate causes. Causes (Full investigation still ongoing) 1. Seal failure due to loose packing nut. 2. Gas alarm and initiation of shutdown due to vapour produced washing down methanol. 3. Loss of emergency power generation, due to software anomalies on gas alarm activation. 4. Deluge activation due to loss of instrument air on shut down.
2000	SS	DX	0	Operation at the time of the incident was running 9 5/8 casing. At the same time a team of welders were working in the starboard propulsion room supervised by an experience DDL motorman (replacing cooling water pipework). A supply vessel was alongside pumping fuel and potable water to the rig. At 1735 hrs control of the starboard ballast desk was lost and all the remote operated valves went to the open position. The supply vessel was instructed to stop pumping. Instructed the <...> to commence pumping out stbd 5 & 15 using the submersed ballast pumps, proceeded to ballast control. Phoned stbd prop room and instructed the motorman to close all manual valves on the suction side at sea chest. <...> to sound general alarms. Coastguard informed and arranged prompt response from <...> helicopter, <...> also scrambled from R<...>, but was not used. Manual valve closed, Rig trimmed 6 degrees by head but holding at that. Identified 40 personnel for downmanning to <...> platform. Emergency team identified problem in

				prop. room and rectified same, full control of panel by 1840 hrs, downmanning reduced to 20 persons. Further information as per attached reports.
2000	SS	DR	0	Prior to commencing ops to inspect & change out sections of chain on #3 & #6 mooring lines the programme called for the rig to tension up all mooring lines to 300kips with rig in operating position alongside <...> to ensure mooring chains were in alignment. Prior to commencing recovery of chains for inspection mooring lines were to be slackened <...> CRO were informed & Gangway closed with watchman posted. At 0747 while in process of picking on #7 to cross tension against #3 the #7 chain failed. <...> CRO informed & instructed to inform OIM. Drill floor informed & instructed stop pumping & make safe drilling ops. As #7 is laid to NE of <...> the failure caused rig to move from platform to SW. No danger of rig clashing with platform. Crane Op dispatched to gangway cab to monitor gangway parameters. Barge Engr began adjusting remaining anchors to reposition rig back in operating position & ballasting to counteract 2deg list to Stb caused by chain failure. Rig back in secure operating position. @ 0806..
2000	SS	DD	0	10:00 CRO noticed rig listing to starboard. On checking ballast panel noticed all valves showing open & closed. Called for Marine Mechanics around the same time report came in of burst water line above starboard emergency ballast control panel. Marine Mechanics shut (manually) BA2 + BA58 to stop waterr intake. At this stage rig was listing 3 degrees Max. Starboard ballast system stabilised and rig trimmed using Port ballast system. With systems safe <...> surveying damage due to water ingress of salt water from washdown line entering ballast station, causing a short circuit.
2003	PS	PR	0	The ballast system failure was identified when a false smoke alarm was being investigated. Inspection by the fire team revealed ballast pump had been subject to internal forces causing the motor and pump top cover plate to detach from the pump bowl housing. Structural damage occurred in a close proximity to the pump location. A walkway and an adjacent ladder were sheering mounting bolts and rupturing a service airline. There was no evidence of fire.

\* SS – Drilling Semi-submersible; PS – Production Semi-submersible

\*\* DR – drilling, unknown phase; DX – Exploration drilling; PR – Production

The onshore based SAR helicopters could not assist due to the severe weather conditions involving strong wind and low visibility. The rig therefore capsized and sank before any assistance could be provided.

The personnel (84 men crew) apparently evacuated, probably to two lifeboats, which at least were seaborne, although the exact state is not known, and only one was sighted. One boat collided with the standby vessel during the transfer attempt from the lifeboat onto the deck of the larger vessel. Within a short time the boat started to drift away, and was never seen again. No survivors or bodies were ever found.

#### 4.3.2 Ocean Developer

Ocean Developer var under slep 14.8.1995, av taubåt "Salvanguard" fra Port Gentil i Gabon til Cape Town da den sank på ca 3600 m dyp, ca 160 km fra kysten av Vest-Afrika, nær Cabinda i Nord-Angola. Mannskapet på 24 ble brakt i sikkerhet av mannskapet på taubåten. Granskingsrapporten antyder at et uerfarent besetningsmedlem forårsaket ulykken da han prøvde å operere ballastsystemet [4].

### 4.3.3 P-36

P-36 ulykken 15.03.2001 der en semi-submersible produksjonsinnretning kantret og sank på Roncador feltet utenfor Brasil. Ulykken oppstod på grunn av et brudd på dreneringstank i en søyle. Dette bruddet førte videre til en eksplosjon der 11 personer omkom og deretter overfylling av hullrom, pumperom og thrusterrom som førte til stabilitetsproblemer og tap av innretningen [5].

### 4.3.4 P-34

P-34 var en nesten-ulykke som skjedde utenfor Brasil 13.10.02. P-34 er en FPSO. Nesten-ulykken oppstod på grunn av en elektrisk feil, som videre førte til feil på last- og ballastsystemet. Innretningen var nær kantring før pumpeoperasjoner klarte å rette den opp igjen. Ingen personer omkom [5].

### 4.3.5 Thunder Horse

Følgende tekst er uoffisiell informasjon om årsaker etter at BP's produksjonsinnretning "Thunder Horse" (halvt nedsendkbar innretning) fikk en alvorlig slagside i Mexicogulven, 11.7.2005 etter stormen Dennis. Innretningen var i fase "klargjøring for produksjonsstart", og var blitt evakuert 3 dager tidligere som et normalt "føre-var tiltak" ved varsel om storm. MMS [17] har i desember 2005 gitt følgende melding:

"Following the passage of Hurricane Dennis, personnel returned to the Thunder Horse facility to find it listing at approximately 20 degrees with the top deck in the water on the port side. This incident is currently under investigation and the exact source/cause of the water influx/listing has not been determined at this time; however, information has been discovered that needs to be shared with industry. Preliminary findings from the investigation indicate that water movement among the access spaces occurred through failed multiple cable transits (MCT's). MCT's are the points in the watertight bulkheads where cables that carry electrical power and instrument signals pass through the watertight bulkheads. Essentially, MCT's are molded blocks of plastic that seal around each cable. Failure occurred in the spaces filled with blank blocks. Specifically, the findings indicate that either the MCT's may not have been installed properly, may have been installed using the wrong procedures, or may not have been properly pressure rated for the configurations being used."

Det ble hevdet i media fra BP sin side at reserveoppdrift i dekket hadde reddet innretningen fra totaltap.

## 4.4 Fordeling av feilårsaker

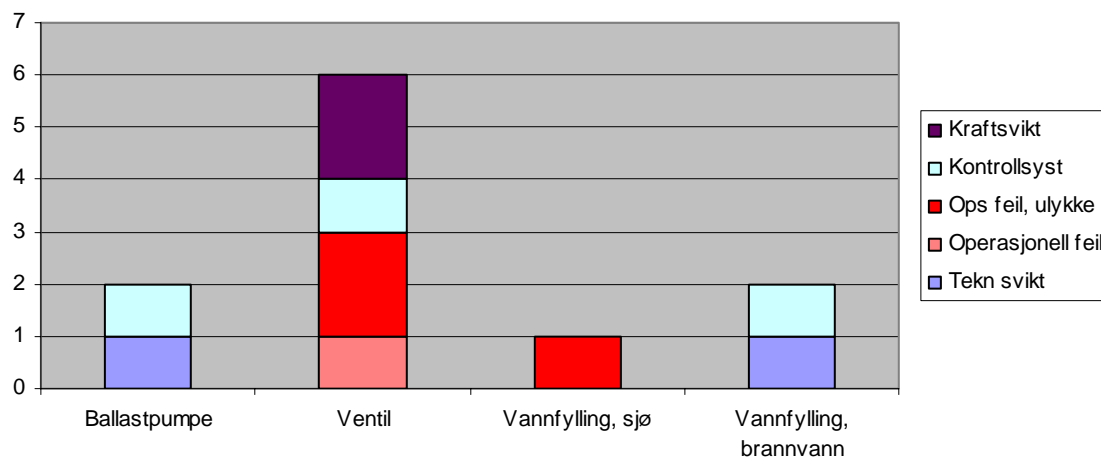
Figur 1 viser en fordeling av årsaker til stabilitetssvikt og -problemer, ut fra de tilløpshendelser (begrenset til Tabell 1 og Tabell 3) og ulykker, som omtalt ovenfor i kapittel 4.

Figur 1 viser tydelig at ventiler er en hovedårsak til stabilitetshendelser. For ulykkestilløp er teknisk svikt dominerende sammen med kontrollsystemfeil. Følgende viktige observasjon kan gjøres fra figuren:

- For ulykker (dvs totaltap) er alle feil (også den ene som skyltes vannfylling fra sjøen) forårsaket av operasjonelle feil.

Operasjonelle feil som har ført til ulykke har egen fargekode i Figur 1.

Om en teller opp alle hendelser som er omtalt i dette kapitlet, viser det seg at 58 % (19 av 33 hendelser) er forbundet med tekniske årsaker.



**Figur 1** Fordeling av årsaker til stabilitetssvikt

## 5 HÅNDTERING AV STABILITETSSVIKT I RISIKOANALYSER

### 5.1 Håndtering av feil på ballastsystemer i dagens risikoanalyser

Nilsen [5] har gjennomgått ca 10 risikoanalyser (flyttbare og flytende produksjonsinnretninger) og vurdert hvordan risikoanalyser er gjennomført for maritime systemer generelt, herunder redusert stabilitet/feil på ballastsystemer.

I forbindelse med arbeidet med inneværende rapport ble det etterlyst risikoanalyser av stabilitet/ballast fra de øvrige flytende produksjonsinnretninger som ikke var dekket i [5], med unntak av FPSOer. Dette ga ikke andre konklusjoner enn det som [5] gir, ingen detaljerte risikoanalyser av stabilitet/ballast inngikk i disse analysene.

Følgende er sitat fra oppsummering i [5] av risikoanalysene av redusert stabilitet:

”Hendelsen ”reduert stabilitet” blir grovt behandlet i de fleste av risikoanalysene som er vurdert. Grunnen til dette er at det som oftest eksisterer lite data for hendelser knyttet til maritime systemer. Vurderingen av hendelsen ”reduert stabilitet” baserer seg ikke på modellering av hendelsesforløp. Metodisk er risikoanalysene og modelleringsverktøy utviklet for hendelser knyttet til hydrokarboner.

En svakhet som går igjen i analysene, er at flere viktige farer som kan føre til stabilitetsproblemer, ikke er identifisert. Det er fareidentifikasjonen som legger grunnlaget for videre vurdering av hendelsen ”reduert stabilitet”, og hvis farer som kan bidra til denne hendelsen ikke er tatt med i vurderingen av risikoen, blir ikke sluttresultatet riktig. Eksempler på farer som kan bidra til redusert stabilitet og som mangler i flertallet av analysene er: brudd på hovedbrannvannsledning, forskyvning av store laster, feil plassering av store laster, menneskelige feilhandlinger og påvirkning utenfra som kollisjoner som påfører skade på skrog, og videre fører til vanninntrengning.

For årsaks- og konsekvensvurdering brukes risikomatrixemetoden i de fleste risikoanalysene som er vurdert. Hvis resultatet ved bruk av denne metoden er at risikoen for at hendelsen ”reduert stabilitet” fører til fare for mennesker, miljø og materielle verdier er høy, utfører noen av analysene en videre kvantitativ vurdering av hendelsen. Den kvantitative vurderingen går ut på å beregne sannsynligheter og konsekvenser ut fra hendelsesdatabaser som WOAD, eller verdiene er hentet fra ulike rapporter. De beregnede sannsynlighetene og konsekvensene har deretter blitt brukt i sammenheng med modellering av hendelsestre for konsekvensvurdering. De modellerte hendelsestrærne er ofte enkle med få greiner. I noen tilfeller er de litt mer kompliserte og detaljerte. I flere av analysene er metodene som er brukt for beregning av sannsynligheter og frekvenser og vurdering av konsekvenser, dårlig og lite oversiktlig dokumentert. Bruk av ulike datakilder gir stor variasjon i risikonivå og gir altså ikke helt entydige svar. Det er heller ikke modellert feiltre i noen av analysene.

*I §13 om krav til analyser i Ptil sitt regelverk sies det at ”Det skal gå klart fram hva som er formålet med den enkelte analysen, og hvilke betingelser, forutsetninger og avgrensninger som er lagt til grunn” ....[og videre]. Forutsetningene som er gjort for hendelsen ”reduert stabilitet”, er i flere tilfeller ikke oversiktlig og godt dokumentert. Risikoanalysen må leses grundig for å få en oversikt over forutsetningene. I noen av analysene er ikke forutsetningene dokumentert i det hele tatt. I risikoanalysene som for eksempel Transocean Arctic, Transocean Leader og Kristin er de grunnleggende forutsetninger samlet og klart presisert.*

Presentasjonen av resultatet fra risikoanalysene er for noen av analysene godt dokumentert, mens i andre analyser som for eksempel analysen for Borgland Dolphin må en lete seg fram til resultatet og trekke egne konklusjoner. Resultatene fra analysene er både presentert kvalitativt, ved beskrivelse av høyt/lavt risikonivå, og kvantitativt, ved bruk av FAR-verdier, PLL verdier, IRPA verdier og frekvenser for tap av sikkert område som for eksempel analysene for Transocean Leader, Transocean Arctic, Byford Dolphin.

Risikoanalysen for Kristin er en kvantitativ vurdering som både tar hensyn til historiske erfaringer og i tillegg har en metode til å vurdere de historiske erfaringene opp mot den faktiske situasjonen på en innretning. Tidligere risikoanalyser av maritime forhold har enten brukt historiske data direkte eller vært basert på svært overordnede vurderinger. I denne analysen er de viktigste farene som kan føre til stabilitetsproblemer, identifisert og behandlet. Metoden som brukes i risikoanalysen for Kristin kan være et godt utgangspunkt for behandling av maritime systemer i risikoanalyser.

Generelt for hendelsen ”reduisert stabilitet” i analysene er:

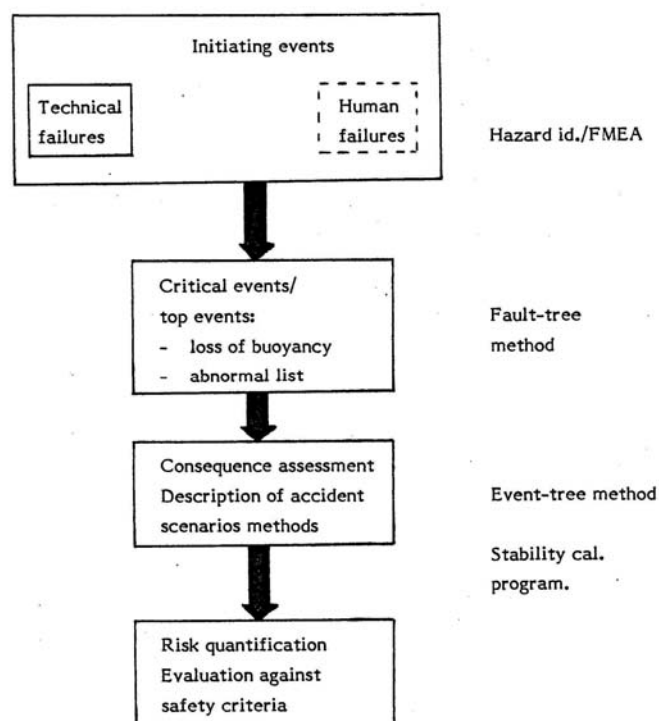
- Tap av stabilitet er i de fleste analysene vurdert å ha lite bidrag til risikoen
- Tap av stabilitet blir ofte veldig grovt/overordnet vurdert uten særlig mye diskusjon om de riggsesifikke forhold
- Det eksisterer lite, gamle og mangelfulle data fra slike hendelser
- Det er liten grad av modellering i forhold til hydrokarbon lekkasjer og usikkerheten knyttet til risikoen for slike hendelser blir derfor stor
- Det er sjelden det anbefales tiltak knyttet til disse overnevnte hendelser”

## 5.2 Forslag til risikoanalyse av stabilitetssvikt i RABL prosjektet

RABL prosjektet [6] har foreslått modeller for risikoanalyse av ballastsystemer og andre vekt-kondisjoner som kan gi stabilitetssvikt.

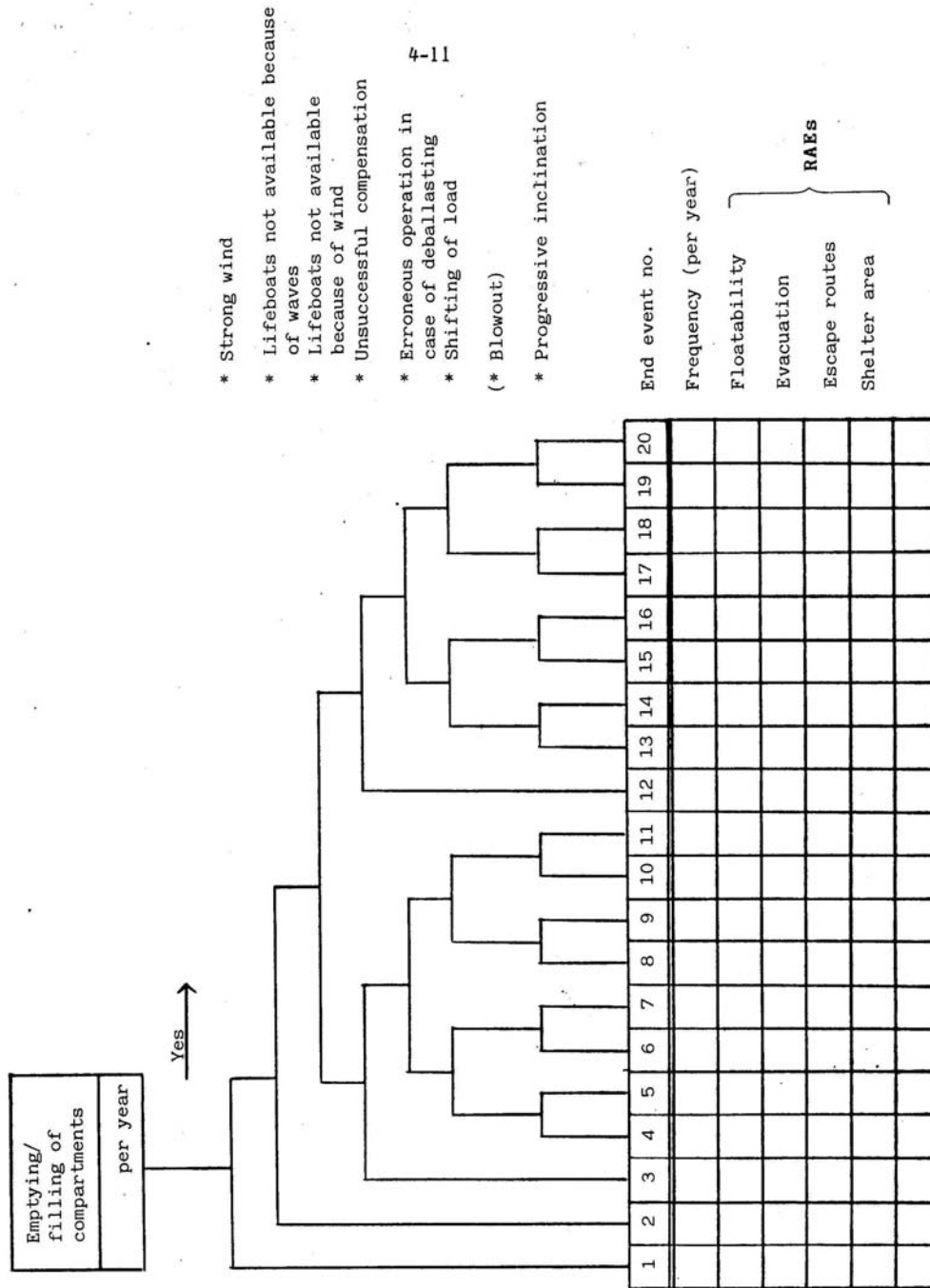
### 5.2.1 Feil på ballastsystem

RABL prosjektet foreslo at ulykkeshendelser knyttet til feil på ballastsystemer skulle analyseres ved hjelp av feiltrær og hendelsestrær. Den overordnede modellen er vist i Figur 2, men overordnet feiltre og hendelsestre er vist i Figur 3 og Figur 4.

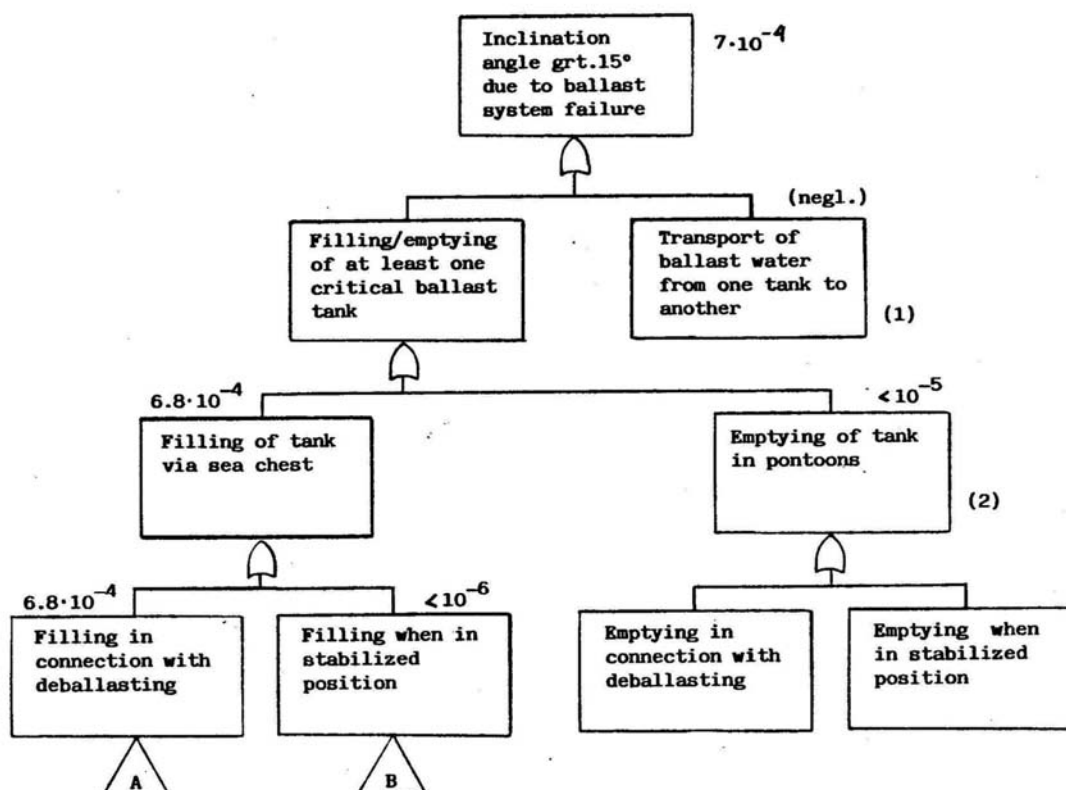


**Figur 2** Overordnet analysemodell for analyse av ballastsystemer (RABL)





**Figur 3 Hendelsestre for analyse av ballastsystemer (RABL)**



Figur 4 Overordnet feiltre for analyse av ballastsystemer (RABL)

RABL-prosjektet definerte 4 hovedsikkerhetsfunksjoner for flytende/flyttbare innretninger:

1. Sjødyktighet ("Floatability")
2. Evakuering
3. Rømningsveier
4. Tilfluktsområde

En detaljert beskrivelse av motodikken er gitt i [6], og er ikke gjentatt her.

### 5.2.2 Andre feilhendelser

Andre feil- og ulykkeshendelser som kan gi stabilitetssvikt inkluderer kollisjon, konstruksjonsfeil, ekstreme naturlaster, brann/eksplosjon og fallende last. For slike hendelser hadde ikke RABL prosjektet lagt opp noen spesiell metodikk, men de er inkludert i eksempelstudiet fra RABL [14].

## 5.3 Datakilder

### 5.3.1 Datakilder brukt i RABL

Tabell 4 viser de data som er benyttet i RABL risikoanalyse av ballastsystem, utført av DNV. Datakilder framgår også av figuren.

### 5.3.2 Andre datakilder

Det er hovedsakelig 2 andre typer datakilder:

- Pålitelighetsdata for teknisk utstyr
- Datakilder for menneskelig pålitelighet

Oreda (som også inngår i Tabell 4) er fortsatt en av de viktigste datakilder for pålitelighetsdata for utstyr i petroleumsvirksomheten. En annen datakilde er følgende fra PDS forum:

- PDS method and data [7]

Enkelte selskaper kan også ha interne datakilder.

**Tabell 4 Pålitelighetsdata benyttet i RABL ballast analyse [6]**

Item	Failure rate (per hour)	Data source
1 Ballast valves Hydr. operated, butterfly		
- Critical failure	$12 \cdot 10^{-6}$	OREDA
- Fall to close (per demand)	$2 \cdot 10^{-3}$	OREDA
- Blocked	$1.7 \cdot 10^{-6}$	OREDA
- Faulty indication	$15 \cdot 10^{-6}$	OREDA
- Internal leakages (sign.)	$3 \cdot 10^{-6}$	OREDA
2. Check valve (hydr.system)		
- All modes	$3 \cdot 10^{-6}$	IEEE
3. Hydr. pipes ( $\phi < 311$ )		
- All modes (pr. km)	$0.5 \cdot 10^{-7}$	Magpie
- Rupture/plugged (per section)	$3 \cdot 10^{-11}$	WASH 1400
4. Hydr. power supply unit		
- Critical	$3 \cdot 10^{-6}$	OREDA
- Erratic control	$7 \cdot 10^{-6}$	OREDA
5. Electronic control unit (PLC, typical)		
- Critical failure	$30 \cdot 10^{-6}$	OREDA
6. Level indicator		
- Critical	$0.7 \cdot 10^{-6}$	OREDA/IEEE
- Erratic output	$0.4 \cdot 10^{-6}$	OREDA/IEEE
7. Pipe (ballast water)		
- Sign. external leak (pr. km)	$2 \cdot 10^{-9}$	ICI
8. Ballast water pump system		
- Fail while running	$3.2 \cdot 10^{-4}$	Study of ballast system oil tanker Veritec report 85-3410
- Fail to start (per demand)	$10^{-2}$	OREDA

Det er få generelle datakilder for menneskelig pålitelighet. De følgende er blant de få som finnes:

- THERP, [8]
- CORE-DATA, [9]

Det kan også finnes noe data i ulike lærebøker innenfor analyse av menneskelig pålitelighet.

## 6 ANBEFALT METODIKK FOR RISIKOANALYSE AV STABILITETSSVIKT

### 6.1 Bruk av analyser i ulike faser

De analyser som det refereres til i det følgende bør primært gjøres under prosjektering, slik at det er muligheter for å implementere risikoreduserende tiltak, også av teknisk natur. Det vil være aktuelt å oppdatere analyser etter bygging, og noen ganger i driftsfasen.

Spesielt viktig vil det være med detaljert analyse når utradisjonelle konsepter og/eller løsninger velges, herunder også konsepter/løsninger som ikke er forutsatt i regelverket. Analysene bør også dekke spesielle tilstander som kan oppstå ved eksempelvis forkyvning av last, brudd på brannvannsrør på dekk, og lignende. Videre i forhold til forventede vedlikeholds/inspeksjonstilstander med åpning av luker/dører eller nedstengning/utkobling av systemer.

I driftsfasen kan det dessuten være påkrevd med større oppdatering av analysen ved større ombygginger, herunder endring av vektfordeling eller endringer knyttet til variable laster. Oppdatering kan også være aktuelt dersom spesielle operasjoner skal gjennomføres. Ved oppdatering i driftsfasen vil det være spesielt viktig å gå gjennom alle rapporter vedrørende uønskede hendelser, feil og tilløp til ulykker, som input til oppdateringene.

### 6.2 Analyseprosess

Figur 5 viser forslag til analyseprosess for analyse av risiko fra marine systemer.

Erfaringsdata mv bør danne utgangspunkt for analysen. Først gjennomføres en fareidentifikasjon (HAZID), for å identifisere de ulykkesscenarier som kan gi kritiske konsekvenser, særlig med fokus på kombinasjoner av feilhendelser og operasjonelle feil.

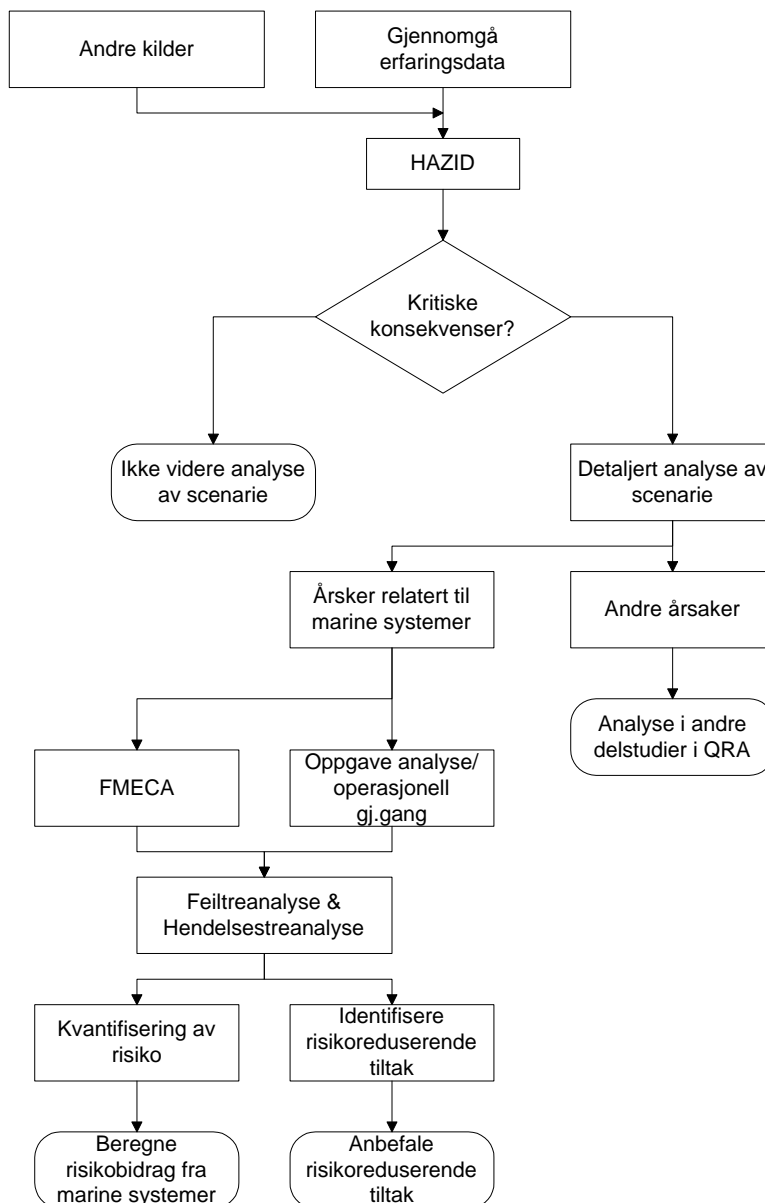
For de kritiske ulykkesscenarier gjennomføres en detaljert analyse, i denne sammenheng begrenset til årsaker knyttet til marine systemer. For disse systemer gjennomføres (eventuelt tas utgangspunkt i foreliggende) FMECA og oppgaveanalyse (operasjonell gjennomgang), som underlag for å konstruere feiltrær og hendelsestrær.

Fra feiltrær og hendelsestrær kan risikobidrag beregnes. Samtidig kan analysene brukes for å identifisere hvordan systemene kan forbedres, og risiko reduseres.

Det er påpekt i delkapittel 5.1 at forutsetninger og antagelser ofte er dårlig dokumentert. Det understrekes at god dokumentasjon av forutsetninger og antagelser er et sentralt element i en detaljert risikoanalyse. Dette gjelder forutsetninger og antagelser relatert til:

- Tekniske forhold
- Forhold knyttet til drift og vedlikehold
- Antagelser knyttet til analysemetodikk og modellering.

Selv om det ikke er spesielt for analyser knyttet til stabilitet, bør det kommenteres at forskriftene har krav om at usikkerhet i analysene skal adresseres. Normalt løses dette best ved at en gjør følsomhetsstudier der en varierer sentrale data og verdier knyttet til forutsetninger og antagelser.



**Figur 5 Foreslått analyseprosess for risiko fra marine systemer**

### 6.3 Feil på ballastsystem

Som anbefalt metodikk for risikoanalyse av feilhendelser knyttet til ballastsystem, anbefales følgende:

- Risikoanalyse basert på feiltrær og hendelsestrær, for de scenarier som i følge figur 5 klassifiseres som kritiske

Dette innebærer at den anbefalte metodikk fra RABL-prosjektet blir videreført. Det er viktig å velge en slik metodikk ut fra:

- En detaljert modell vil gi underlag for detaljert input til å identifisere hvor risikoreduserende tiltak kan settes inn, og effekten av slike tiltak.

Regelverket krever at mulige risikoreduserende tiltak identifiseres i detalj og implementeres dersom ikke kostnader eller andre ulemper er urimelig høye (§ 9 i rammeforskriften, [10]). Det er derfor sentralt at risikoanalyser utføres på en slik måte at de kan gi underlag (sammen med andre studier og gjennomganger) for å identifisere mulige forbedrende tiltak. Dette er et sentralt forhold for å gjennomføre en ALARP-vurdering.

Følgende videreutvikling av metodikken bør gjennomføres ut over det som lå i metodikken beskrevet i RABL-prosjektet:

- Feiltreanalyse kan være aktuelt for noen av nodene (forgreningspunktene) i hendelsestreet i Figur 3, eksempelvis for unsuccessful compensation, erroneous operation in case of deballasting, progressive inclination.
- Menneskelige og organisatoriske feil bør inkluderes i feiltreet der det er relevant. BORA-metodikken, [11], [12], kan benyttes for dette formål.
- Fellesfeil bør vurderes nøye i forhold til redundans i systemet.

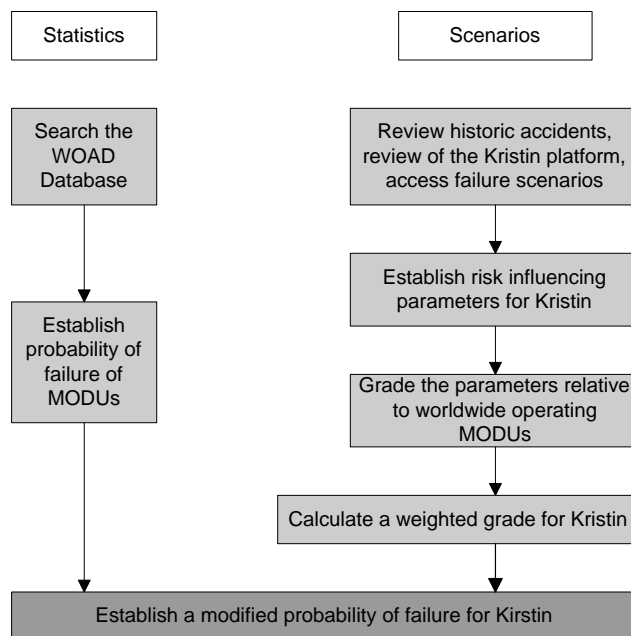
De alternative tilnærminger innebærer bruk av statistikk, se delkapittel 5.1. Ved bruk av slik framgangsmåte får en ikke underlag for å identifisere mulige tiltak.

Det forutsettes videre at det gjennomføres en detaljert analyse av kollisjonsrisiko, ved bruk av en anerkjent modell, slik at mulige hendelser som kan gi stabilitetssvikt blir identifisert. Scenarier knyttet til sprekker i stag eller staginnfesting bør også analyseres. For produksjonsskip bør også mulige scenarier med opphav i svikt av lasteoljesystemet vurderes, for å identifisere mulige initierende hendelser for ballastsystemet.

I kapittel 7 er vist et eksempel på feiltrær og hendelsestrær for ”Deep Sea Bergen”, en annen generasjons Aker H3.2-rigg bygget i 1983.

#### 6.4 Andre feilhendelser

Lotsberg et.al. [13] har presentert en metode for kvantifisering av risiko av maritime systemer og ulykkeshendelser, som er anvendt for risikoanalyse av Kristin produksjonsinnretning. Figur 6 viser en skisse av metodikken.



**Figur 6** Metodikk for å bestemme feilsannsynlighet pga grove feil [13]

Svakheten med en slik tilnærming er at en kun får etablert en frekvens, men uten å få input til hva som er de viktige bidrag eller dominerende feil kombinasjoner. Framgangsmåten gir derfor ikke et underlag for å identifisere mulige risikoreduserende tiltak og effekten av disse. Derfor er ikke denne tilnærmingen anbefalt for identifisering av risikoreduserende tiltak knyttet til ballastsystem.

Heller ikke for kollisjon med passerende trafikk bør denne metodikken benyttes. For ulykkesscenarier som involverer kollisjonshendelser bør en gjennomføre en detaljert kollisjonsrisikoanalyse, og deretter analysere eventuelle følgeskader knyttet til ta av oppdrift/stabilitet.

For andre ulykkeshendelser som kan føre til stabilitetssvikt kan metoden som er skissert i Figur 6 benyttes, for eksempel for vektforskyvning, konstruksjonsfeil, kollisjon med feltrelatert trafikk som kan føre til stabilitetsproblemer.

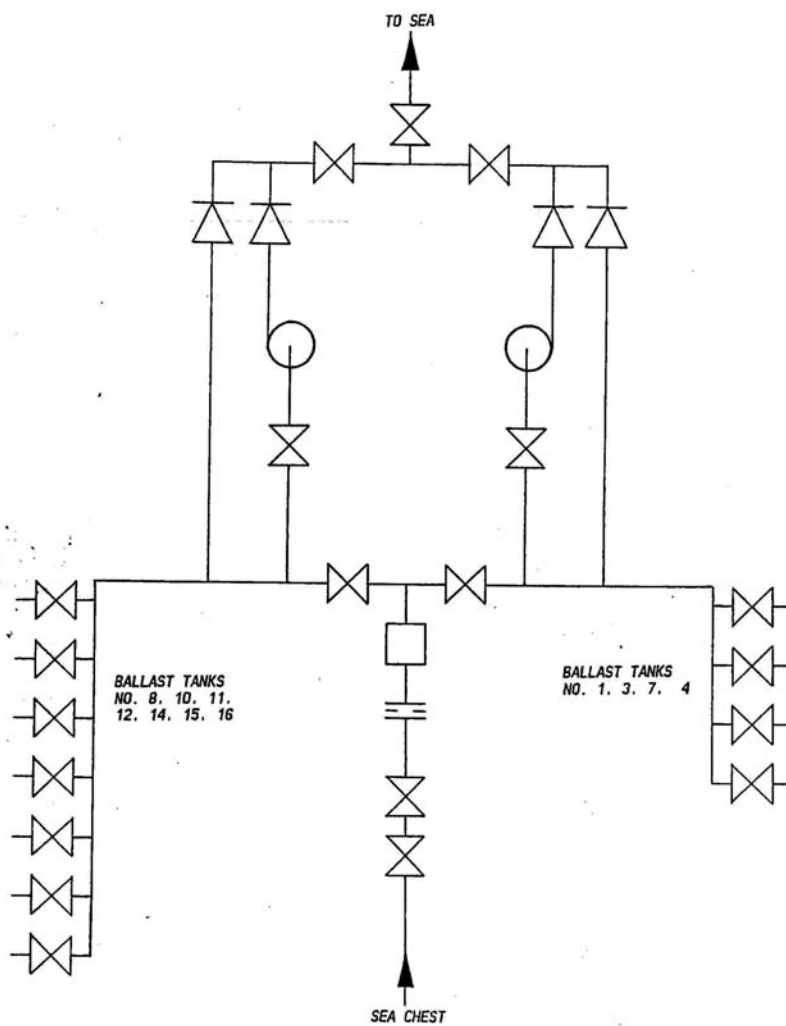
## **7 EKSEMPLER, FEIL- OG HENDELSESTRÆR**

Som tidligere beskrevet er det gjort en gjennomgang av kvantitative risikoanalyser for flyttbare enheter og flytende produksjonsinnretninger (untatt FPSOer), for å finne aktuelle eksempler på detaljerte risikoanalyser av stabilitetssvikt [5].

På de neste sider presenteres feil- og hendelsestrær fra RABL eksempelstudie 1 [14].

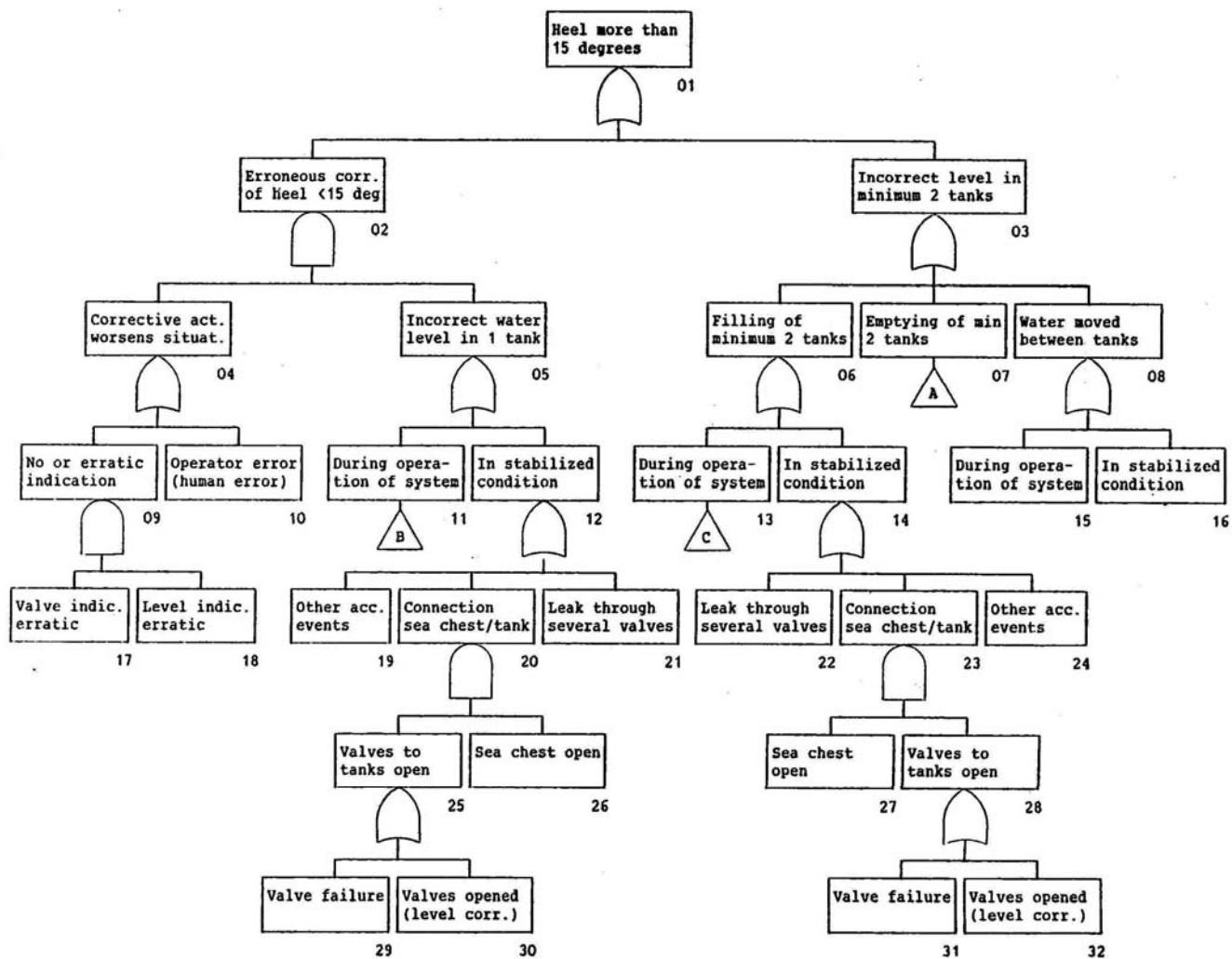
Figur 7 viser konfigurasjonen av tanker, ventiler og pumper.

Figur 8, Figur 9, Figur 10 og Figur 11 viser det totale feiltre for slagside på minst 15°. Figur 12 viser hendelsestreet for slagside mer enn 15°.

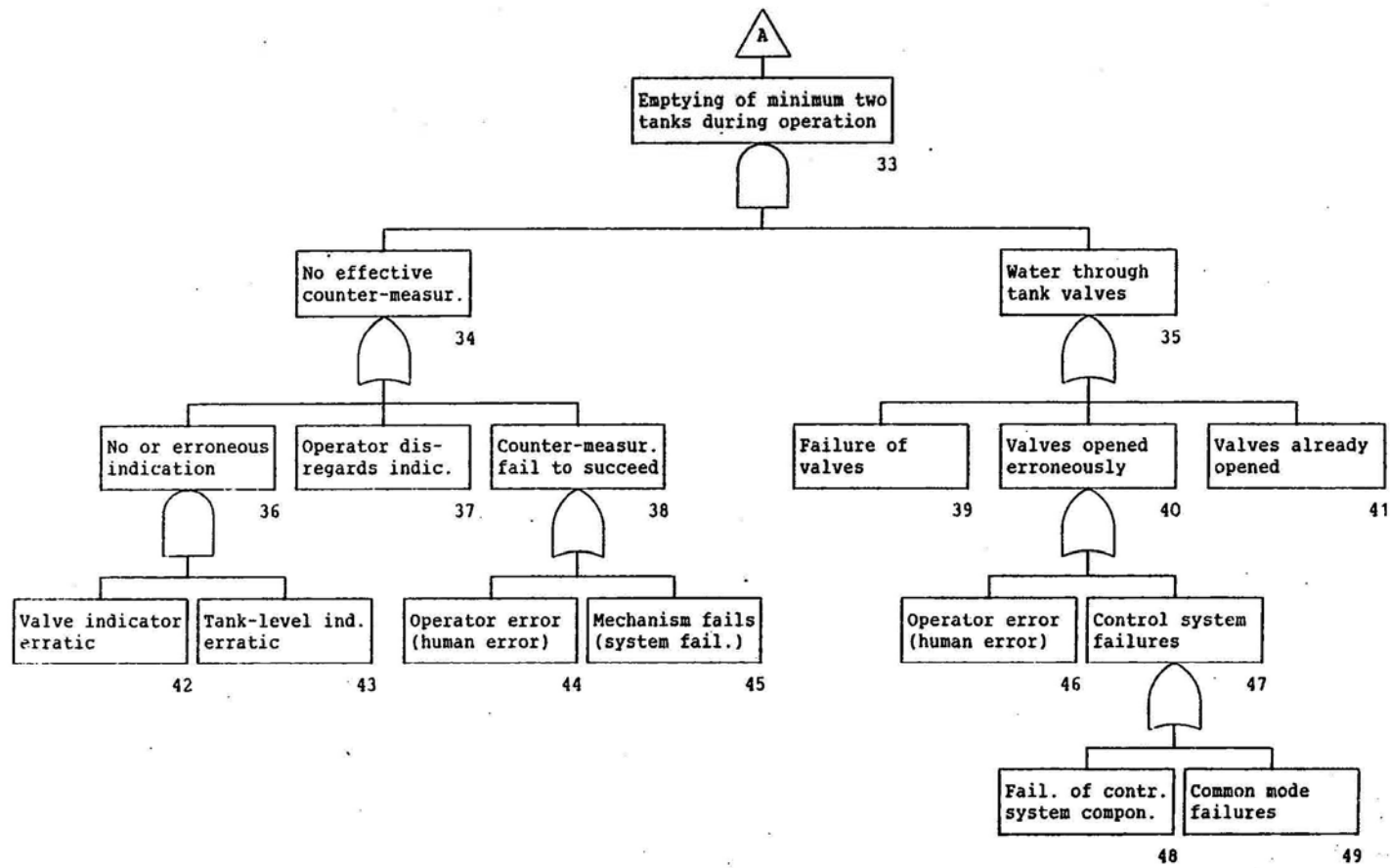


**Figur 7** Konfigurasjon, ballast system som analysert i RABL eksempelstudie 1

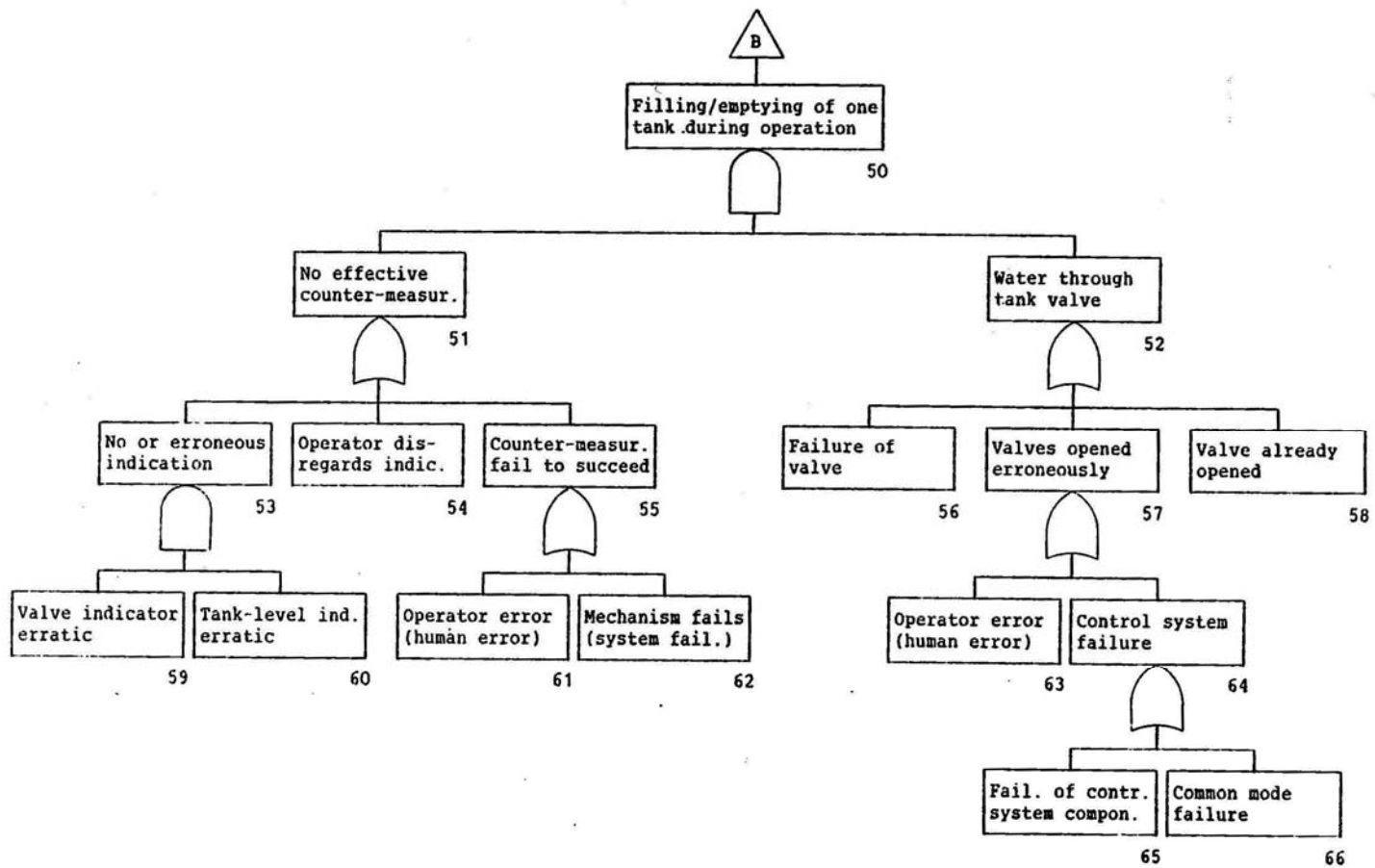




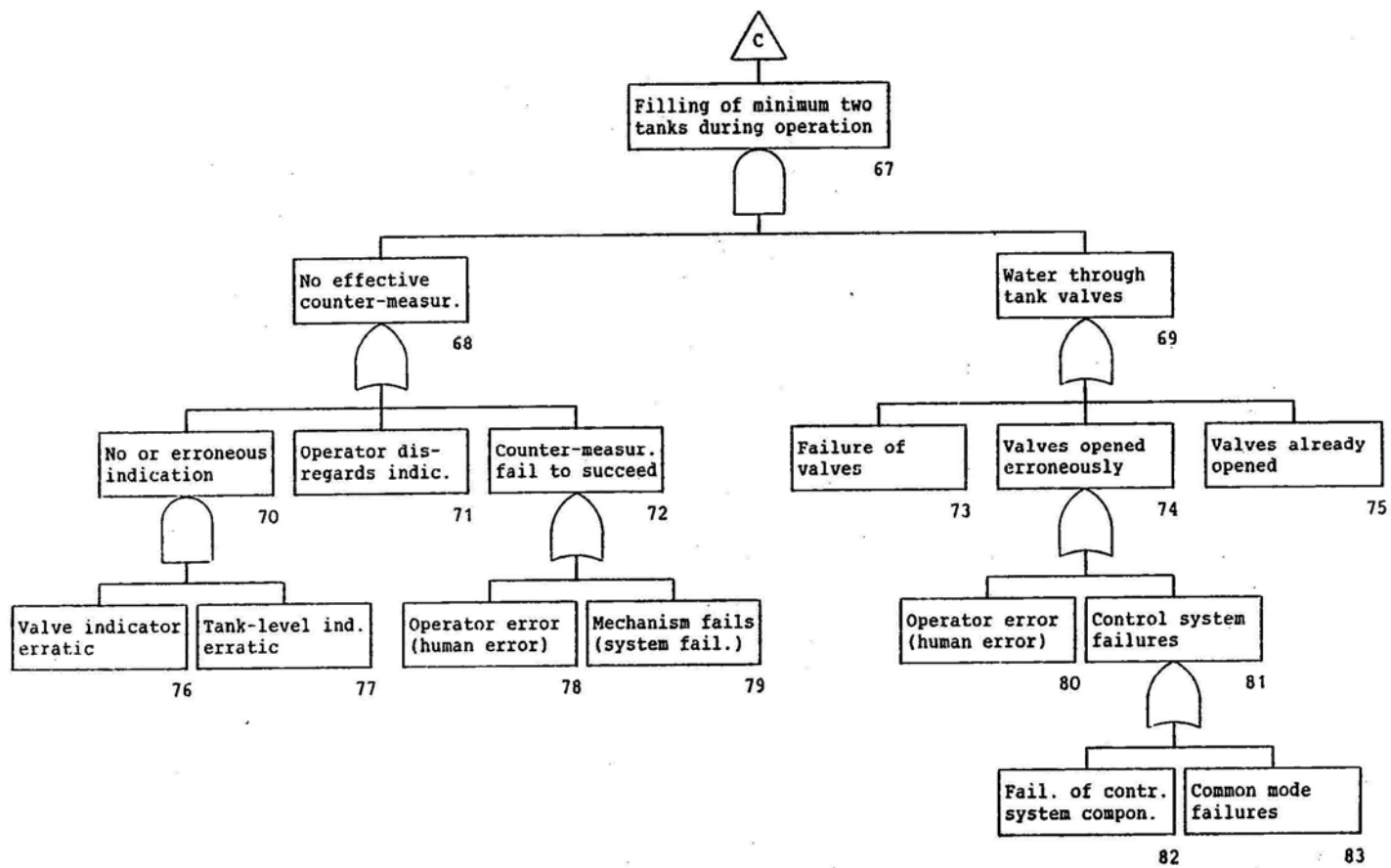
Figur 8 Feiltre, RABL eksempelstudie 1, slagside med mer enn 15 °



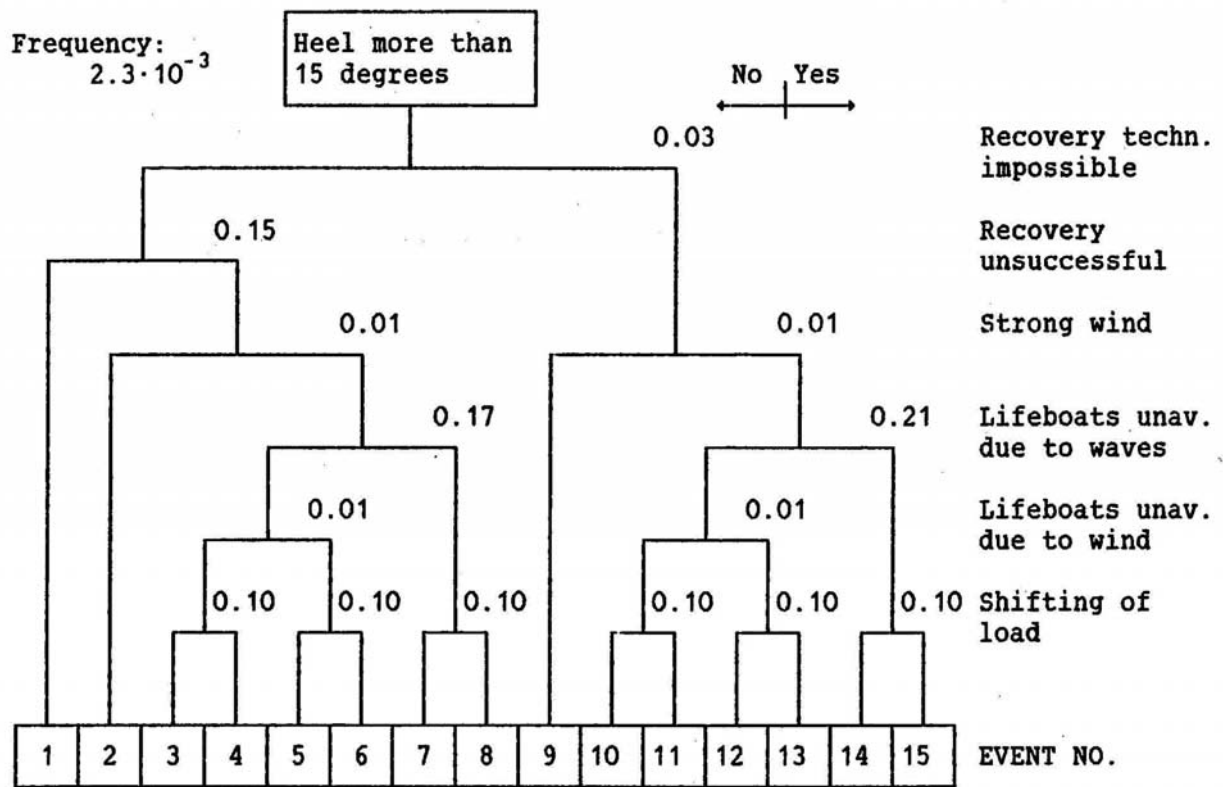
Figur 9 Delfeiltre A, RABL eksempelstudie 1



Figur 10 Delfeiltre B, RABL eksempelstudie 1



Figur 11 Delfeltre C, RABL eksempelstudie 1



Figur 12 Hendelsestre for slagside mer enn 15 °

## 8 DISKUSJON

Det har ikke vært alvorlige ulykker på norsk sokkel forårsaket av stabilitetssvikt eller tap av oppdrift på lang tid. Da West Gamma kantret og sank under slep i 1989 var det den siste alvorlig ulykken, den skjedde ikke på norsk sokkel, men riggen ble tauet vekk fra Ekofisk-feltet.

Det har vært noen tilløp til alvorlige ulykker knyttet til marine systemer også på norsk sokkel [15], men i hovedsak har ikke disse vært relatert til stabilitet eller oppdrift. Ett unntak er kollisjonen mellom West Venture og et forsyningsfortøy i mars 2004 [16]. Hastigheten i kollisjonsøyeblikket var så høy at en under uheldige omstendigheter kunne fått vannfylling av flere oppdriftsvolumer og alvorlig slagside.

Det har vært en oppfatning av at konstruksjonsfeil ikke kan analyseres med vanlige risikoanalytiske metoder. En kan få inntrykk av at denne oppfatningen har blitt overført til analysene av maritime systemer, da disse gjennomføres omtrent på samme måte som analyse av risiko for konstruksjonsfeil.

De tilløp til ulykker som har vært på norsk sokkel, West Gamma kantringen og alvorlige ulykker som har skjedd på andre sokler har vist tydelig at ulykker med maritime systemer ofte er hendelser der flere barrieresvikt skjer samtidig, og at det i mange tilfeller er operasjonelle barrierer som har sviktet. Dette innebærer eksempelvis at analyser som tar for seg feil- og svikthendelser enkeltvis, så som Feilmodi- og feileffektanalyse, ikke er tilstrekkelig, da de ikke adresserer kombinasjoner av feil.

Fraværet av alvorlige ulykker og tilløp til slike på norsk sokkel er kanskje en av faktorene som har ført til at risikoanalysene knyttet til stabilitetssvikt/tap av oppdrift i de fleste tilfeller er forholdsvis overfladiske. Analysene bærer et preg av å kun beskrive at systemene er gode nok, uten å utfordre utforming av systemene og identifisere potensielle forbedringer.

Risikoanalyser av stabilitetssvikt eller tap av oppdrift bør derfor gjøres på en slik måte at de kan være velegnet for å identifisere potensielle forbedringer, på samme måte som for forankringssvikt [15].

For risikoanalyse av ballastsystemer anbefales at det gjennomføres en metodikk basert på feiltre-analyse og hendelsestreanalyse. Det anbefales at analyseprosessen i figur 5 følges, slik at de detaljerte analyser begrenses til de scenarier som kan ha kritiske konsekvenser, med basis i følgende underlag:

- FMECA (eller tilsvarende)
- Oppgaveanalyse eller operasjonell gjennomgang.

Alternativer til en slik framgangsmåte som kunne være aktuelle, er:

- Alternativ 1: Frekvens av ballastsvikt basert på statistikk justert som foreslått av Lotsberg et.al. [13], deretter hendelsestre for å modellere innretningsspesifikk konsekvenser, se Figur 6.
- Alternativ 2: Definere et sett med initierende hendelser (feilhendelser), som det gjennomføres hendelsestreanalyse for å modellere innretningsspesifikke konsekvenser, uten å kvantifisere frekvens av initierende hendelser.

Begge disse alternativer vil være mindre arbeidskrevende å gjennomføre.

Svakheten ved å velge et av disse alternativer vil være at det betydelig dårligere grunnlag til å identifisere mulige risikoreduserende tiltak. Det er krav i rammeforskriften § 9 at det identifiseres ytterligere risikoreduserende tiltak, selv om risikonivået er under akseptgrensen. En risikoanalyse må være gjennomført med vesentlig grad av detaljer, for at den skal være godt egnet for å identifisere mulige konkrete risikoreduserende tiltak. Det er hovedårsaken til at disse 2 alternativer ikke kan anbefales på generell basis.

En annen årsak til at de alternative tilnæringer ikke kan anbefales, er problemer med å finne data. Data på detaljert nivå er vanligvis enklere å etablere for feil- og hendelsestrær.

Den mest arbeidskrevende framgangsmåten er derfor den anbefalte, men det er åpenbart at den omfattende analysen bør begrenses til de ulykkesscenarier som kan få kritiske konsekvenser for personell, miljø eller materielle verdier.

## 9 KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER

Med unntak av analyser av skipskollisjoner er risikoanalyser av bærende konstruksjoner og maritime systemer normalt svært enkle og overflatiske om en sammenlikner med omfanget av analyser knyttet til prosess og boreoperasjoner. Det er ikke grunnlag i erfaringsdata til å si at frekvensen for slike hendelser er lavere eller gir lavere konsekvenser enn andre ulykker.

Risikoanalysen skal danne grunnlag for å måle risikoen mot mål for akseptabel risiko, og for å vurdere risikoreduksjoner. Når analysene blir for grove mister en grunnlaget for å gjøre reelle vurderinger av risikoreduserende tiltak.

Vi har tidligere publisert en rapport som angir hvordan forankringssystemer kan håndteres i risikoanalyser. Lenke til [rapport](#).

Hovedkonklusjonen ved vår gjennomgang er at risikoanalyser knyttet spesifikt til stabilitetstap og tap av oppdrift slik de normalt gjennomføres for norsk sokkel, er at disse heller ikke er egnet til å bestemme risikonivået, eller til å identifisere risikoreduserende tiltak og effekten av disse for risikonivået.

Det har de siste årene kommet noen analyser som har forsøkt å tilnærme seg problemstillingen mer direkte. Petroleumstilsynet har nå oppsummert hva vi mener er beste praksis med analyser av stabilitetstap og tap av oppdrift.

Vår gjennomgang viser at for risikoanalyse av ballastsystemer kan en metodikk basert på feiltre-analyse og hendelsestreanalyse være en farbar vei. Andre tilnærming kan være farbare for å løse deloppgaver.

Om analyseprosessen som vist i figur 5 i denne rapporten følges, kan de detaljerte analysene begrenses til de typer hendelser som kan ha kritiske konsekvenser.

Normal praksis ved gjennomføring av risikoanalyser av stabilitetssvikt og tap av oppdrift bør endres slik at de blir velegnet for å identifisere potensielle forbedringer og effekten av disse.



## 10 REFERANSER

---

- 1 Petroleumstilsynet. Risikonivå på norsk sokkel, Ptil rapport 05-02, 26.4.2005
- 2 HSE. Accident statistics for floating offshore units on the UK continental shelf, 1980-2003, HSE rapport RR353, 2005, <http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr353.xls>.
- 3 J E Vinnem. Offshore Risk Assessment, ISBN 0-7923-5860-0, Kluwer, 1999
- 4 WOAD database, see DNV's web page <http://www.dnv.com/software/all/woad/index.asp>
- 5 L R Nilsen. Marine systemer i risikoanalyser for flyttbare innretninger, Hovedoppgave, UiS, 2005
- 6 E Østby, Berg, M., Festøy, B. Ballast system failures and other faulty weight conditions, RABL report 2, 17.06.87, Safetec
- 7 Reliability Data for Safety Instrumented systems, "PDS Data Handbook", 2004 edition, <http://www.sydvest.com/Products/PDS-Data/default.htm>.
- 8 Swain, A.D. og Guttman, H.E., Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications, Final Report, NUREG/CR-1278, SAND80-0200, US NRC, 1983
- 9 The implementation of CORE-DATA, a computerised human error probability database, University of Birmingham, for HSE, HSE Books 245/1999
- 10 Forskrift om helse, miljø og sikkerhet i petroleumsvirksomheten (rammeforskriften), fastsatt ved kgl. res 31. august 2001, sist endret ved forskrift 1. april 2005
- 11 Sklet, S., Aven, T., Hauge, S. og Vinnem, J.E. Incorporating human and organizational factors in risk analyses for offshore installations, 16th *European Safety and Reliability Conference* (ESREL 2005)
- 12 J. E. Vinnem, T Aven, S Hauge, J Seljelid og G Veire. Integrated Barrier Analysis in Operational Risk Assessment in Offshore Petroleum Operations, presented at PSAM7, Berlin, 14-18 June, 2004
- 13 Inge Lotsberg et.al. Risk assessment of loss of structural integrity of a floating production platform due to gross errors, *Marine Structures* 17 (2004) 551-573
- 14 J E Vinnem et.al. Case Study 1, RABL report 6, 01.09.1987, Safetec
- 15 Tor-Bjørn Idsøe-Næss, Liv Rannveig Nilsen, Arne Kvitrud og Jan Erik Vinnem. Forankring av innretninger på norsk sokkel, Ptil rapport, 2005  
[http://www.ptil.no/Norsk/Helse+miljo+og+sikkerhet/HMS-aktuelt/5\\_forankring\\_rapport\\_storulykke.htm](http://www.ptil.no/Norsk/Helse+miljo+og+sikkerhet/HMS-aktuelt/5_forankring_rapport_storulykke.htm).
- 16 RNNS prosjekt rapport 05-02, 2005 ([www.ptil.no/NR/rdonlyres/87F129DD-9FA0-4F7E-A1BB-341D4585B84D/8903/Fase5rapportutenrestriksjoner.pdf](http://www.ptil.no/NR/rdonlyres/87F129DD-9FA0-4F7E-A1BB-341D4585B84D/8903/Fase5rapportutenrestriksjoner.pdf))
- 17 MMS: Multiple Cable Transit Failures, Safety Alert No. 235, December 15, 2005