



**SINTEF Industrial Management**  
Safety and Reliability

Address: N-7465 Trondheim,  
NORWAY  
Location: S P Andersens veg 5  
Telephone: +47 73 59 27 56  
Fax: +47 73 59 28 96

Enterprise No.: NO 948 007 029 MVA

# SINTEF REPORT

TITLE

**Risk Analyses during Operation (The Indicator Project)  
Executive Summary**

AUTHOR(S)

Knut Øien and Snorre Sklet

CLIENT(S)

The Norwegian Petroleum Directorate

REPORT NO. <b>STF38 A01405</b>	CLASSIFICATION <b>Unrestricted</b>	CLIENTS REF. <b>Liv Nielsen / Odd Tjelta</b>	
CLASS. THIS PAGE <b>Unrestricted</b>	ISBN <b>82-14-01671-1</b>	PROJECT NO. <b>384184</b>	NO. OF PAGES/APPENDICES <b>16</b>
ELECTRONIC FILE CODE <b>Executive summary.doc</b>	PROJECT MANAGER (NAME, SIGN.) <b>Snorre Sklet</b>	CHECKED BY (NAME, SIGN.) <b>Marvin Rausand</b>	
FILE CODE	DATE <b>2001-03-29</b>	APPROVED BY (NAME, POSITION, SIGN.) <b>Lars Bodsberg, Research Director</b>	

## ABSTRACT

This report is an executive summary of the project "Risk Analyses during Operation" (also denoted the Indicator Project). This project has been carried out in the period 1998-2000 by SINTEF Industrial Management, department of Safety and Reliability for the Norwegian Petroleum Directorate. The report is written both in English and Norwegian.

*As operators, do you wish to be capable of informing your employees, labor unions, board, owners, partners, authorities, society, media, the stock exchange, ..., about the risk level at your installations?  
– If so, go on read this summary.*

## SAMMENDRAG

Rapporten inneholder en oppsummering av prosjektet "Risikoplaner i driftsfasen" (også kalt "Indikator-prosjektet"). Prosjektet er gjennomført i perioden 1998-2000 av SINTEF Teknologiledelse, avdeling for Sikkerhet og pålitelighet på oppdrag av Oljedirektoratet. Rapporten er skrevet både på norsk og engelsk.

*Ønsker dere som operatører å være istand til å informere deres ansatte, fagforeninger, styre, eiere, partnere, myndighetene, samfunnet, media, børsen, ..., om risikonivået på deres installasjoner?  
– I såfall kan dere trygt lese videre.*

KEYWORDS	ENGLISH	NORWEGIAN
GROUP 1	Safety	Sikkerhet
GROUP 2	Risk	Risiko
SELECTED BY AUTHOR	Risk Analysis	Risikoanalyse
	Risk Indicator	Risikoindikator
	Organizational Factors	Organisatoriske forhold

## TABLE OF CONTENTS

### Report in Norwegian

<b>1</b>	<b>Innledning</b> .....	<b>3</b>
1.1	Bakgrunn og hensikt .....	3
1.2	Formål og avgrensning.....	3
1.3	Hovedresultater og nytteverdi .....	3
<b>2</b>	<b>Fremgangsmåte</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Resultater</b> .....	<b>5</b>
3.1	Metodikk for etablering av tekniske risikoindikatorer.....	5
3.2	Kvalitativ organisatorisk årsaksmodell (lekkasjemodell) .....	5
3.3	Organisatoriske risikoindikatorer.....	6
3.4	Organisatorisk kvantifiseringsmetodikk .....	7
<b>4</b>	<b>Konklusjoner</b> .....	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Publikasjoner</b> .....	<b>9</b>

### Report in English

<b>6</b>	<b>Introduction</b> .....	<b>10</b>
6.1	Background and objectives .....	10
6.2	Scope and delimitation.....	10
6.3	Principal results and utility value.....	10
<b>7</b>	<b>Approach</b> .....	<b>11</b>
<b>8</b>	<b>Results</b> .....	<b>12</b>
8.1	Methodology for the establishment of technical risk indicators .....	12
8.2	Qualitative organizational model (leak model).....	12
8.3	Organizational risk indicators .....	13
8.4	Organizational quantification methodology.....	14
<b>9</b>	<b>Conclusions</b> .....	<b>15</b>
<b>10</b>	<b>Publications</b> .....	<b>16</b>

## 1 Innledning

### 1.1 Bakgrunn og hensikt

Oljedirektoratet (OD) initierte i 1994 et prosjekt for å se på muligheten for å utvikle et "verktøy" som kunne benyttes for oppfølging av risikonivå på en spesifikk installasjon (Ekofisk 2/4-T). Verktøyet bestod av et sett med risikoindikatorer – derav navnet "Indikator-prosjektet". Arbeidet ble videreført i 1996, med Statfjord A som pilot-installasjon.

Etableringen av risikoindikatorer for både Ekofisk 2/4-T og Statfjord A baserte seg på den plattformspesifikke totalrisikoanalysen (TRA'en) og dekket i hovedsak tekniske og til dels operasjonelle forhold.

Blant annet med bakgrunn i at organisatoriske forhold har medvirket til en rekke store ulykker de siste tiårene (f.eks Challenger, Chernobyl, Piper Alpha), igangsatte OD i 1998 prosjektet "Risikoanalyser i driftsfasen", hvor hovedfokus har vært hvordan endringer i organisatoriske forhold påvirker risikoen.

Hensikten med arbeidet har vært å:

- Utvikle og beskrive en metodikk for etablering av "tekniske" risikoindikatorer
- Vurdere om (og i hvilken grad) det lar seg gjøre å kvantifisere den risikomessige betydningen av endringer i organisatoriske forhold under drift av plattformer/installasjoner

### 1.2 Formål og avgrensning

Formålet med risikoindikatorerne er å måle endringer i risikonivået på en installasjon under normale driftsforhold i perioden mellom oppdateringer av totalrisikoanalysen. Man kan derved få en regelmessig "indikasjon" på hvordan risikonivået utvikler seg.

Risikoindikatorerne dekker de viktigste risikoforholdene og er avgrenset til risiko for storulykker med konsekvenser for personell.

### 1.3 Hovedresultater og nytteverdi

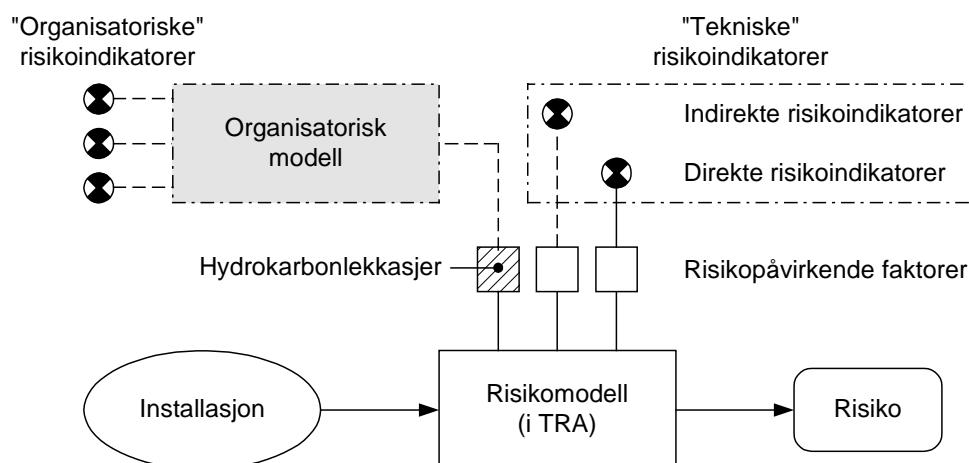
Hovedresultatene er: (1) en metodikk for etablering av tekniske risikoindikatorer, og (2) et rammeverk for etablering av organisatoriske risikoindikatorer. Rammeverket består av: (i) en kvalitativ organisatorisk årsaksmodell for hydrokarbonlekkasjer, (ii) organisatoriske risikoindikatorer, og (iii) en organisatorisk kvantifiseringsmetodikk.

Nytteverdien er regelmessig informasjon om hvordan risikonivået utvikler seg på en gitt installasjon. Dette er en nødvendig forutsetning for å ha risikoen under kontroll, og er foreslått som et krav i ODs nye styringsforskrift.

Organisatoriske risikoindikatorer representerer dessuten et "tidlig-varsel" og utgjør derfor et verdifullt proaktivt redskap i forebyggingen av fremtidige storulykker.

## 2 Fremgangsmåte

Konseptet for etablering av risikoindikatorer er illustrert i Figur 1.



**Figur 1.** Konsept for etablering av risikoindikatorer.

Utgangspunktet er at installasjonen inklusive personell (det "sosiotekniske systemet") er modellert i en risikomodell (i totalrisikoanalysen). Risikomodellen benyttes for å estimere totalrisikoen for installasjonen.

De viktigste risikopåvirkende faktorene som inngår i risikomodellen (f.eks "hydrokarbonlekkasjer" og "varmt arbeid") identifiseres og velges ut. Risikoindikatorer etableres så for å måle tilstanden til de risikopåvirkende faktorene, og effekten av en endring i tilstanden til en faktor kan beregnes ved hjelp av totalrisikoanalysen. "Tekniske" risikoindikatorer er betegnelsen på de indikatorer som etableres basert på risikomodellen, enten direkte (f.eks "antall timer varmt arbeid" som indikator for "varmt arbeid") eller noe mere indirekte (f.eks "antall av *alle* feil på elektrisk utstyr" – ikke kun *kritiske* feil – som indikator for "antennelse pga feil på elektrisk utstyr").

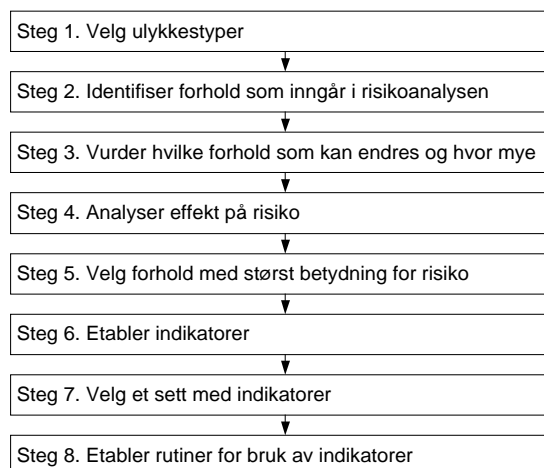
For enkelte risikopåvirkende faktorer (f.eks hydrokarbonlekkasjer) vil direkte risikoindikatorer (f.eks "antall hydrokarbonlekkasjer") være uegnet fordi antall observasjoner (per tidsperiode) er for lite. For disse risikopåvirkende faktorene etableres det årsaksmodeller som viser sammenhengen mellom bakenforliggende organisatoriske årsaksfaktorer og den aktuelle faktoren. I dette prosjektet er det etablert en årsaksmodell for hydrokarbonlekkasjer.

Den organisatoriske modellen (lekkasjemodellen) er utviklet på grunnlag av litteraturstudier, årsaksanalyser av rapporterte lekkasjehendelser samt observasjon/intervju av den aktuelle organisasjonen. Forslag til "organisatoriske" risikoindikatorer er utarbeidet med bakgrunn i litteratur om sikkerhetsindikatorer og diskusjoner med plattformpersonell. Kvantifiseringsmetodikken for estimering av effekten på risikoen, av endringer i tilstanden til de organisatoriske faktorene, er utviklet blant annet på grunnlag av omfattende analyser av eksisterende sammenliknbare metoder.

### 3 Resultater

#### 3.1 Metodikk for etablering av tekniske risikoindikatorer

Metodikken for etablering av tekniske risikoindikatorer består av åtte steg, og er vist i Figur 2.



**Figur 2.** Metodikk for etablering av tekniske risikoindikatorer.

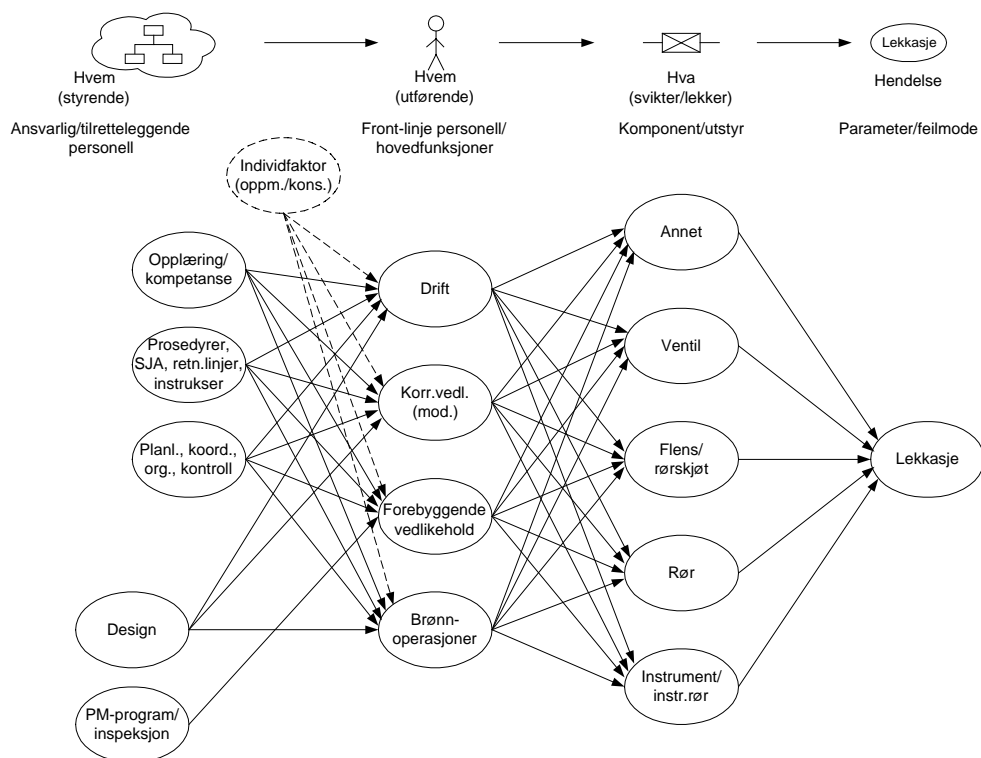
Med utgangspunkt i TRA'en velges de ulykkestyper som representerer storulykkesrisiko og samtidig gir et signifikant bidrag til totalrisikoen (1). For de utvalgte ulykkestypene gjennomgås TRA'en for å identifisere alle forhold (parametre) som inngår i modellene i risikoanalysen (2). Videre bedømmes endringspotensialet til hvert enkelt risikopåvirkende forhold ved å vurdere om man kan forvente endringer og eventuelt hvor stor denne endringen kan være (3). Deretter beregnes effekten på totalrisikoen av disse endringene ved å gjennomføre følsomhetsanalyser i TRA'en (4). De forhold som viser seg å ha størst innvirkning på risikoen velges ut som kandidater for etablering av risikoindikatorer (5). Forslag til risikoindikatorer utarbeides for de viktigste risikopåvirkende forholdene, og effekten på totalrisikoen av endringer i tilstanden til indikatorene beregnes (6). Etter uttesting velges et endelig sett med indikatorer som kan benyttes for overvåking av risikoen på installasjonen (7), og det etableres rutiner for bruk av indikatorene (8).

#### 3.2 Kvalitativ organisatorisk årsaksmodell (lekkasjemodell)

Den kvalitative organisatoriske modellen (lekkasjemodellen) er vist i Figur 3.

I tillegg til selve lekkasjehendelsen består modellen av tre nivå. Første nivå er lekkasjekilden, dvs det utstyr eller de komponenter som kan lekke. Andre nivå er det frontlinjepersonell som kan forårsake, evt forhindre at lekkasjer inntreffer. Tredje nivå består av de organisatoriske forhold som utgjør tilretteleggingen for at frontlinjepersonellet skal kunne utføre arbeidet på en slik måte at lekkasjer ikke inntreffer.

Lekkasjemodellen viser hvilke organisatoriske faktorer som har størst betydning for lekkasjehendelser. Modellen kan benyttes kvalitativt under gransking og rapportering av inntrufne hydrokarbonlekkasjer, og som grunnlag for kvantifiseringen av de organisatoriske faktorenes betydning for risikoen.



**Figur 3.** Lekkasjemodellen.

### 3.3 Organisatoriske risikoindeksorer

Organisatoriske risikoindeksorer etableres for å måle tilstanden til de organisatoriske faktorene regelmessig (f.eks hvert kvartal). Forslag til organisatoriske risikoindeksorer for en spesifikk installasjon (Statfjord A) er angitt i Tabell 1. (NB. Dette er kun forslag.)

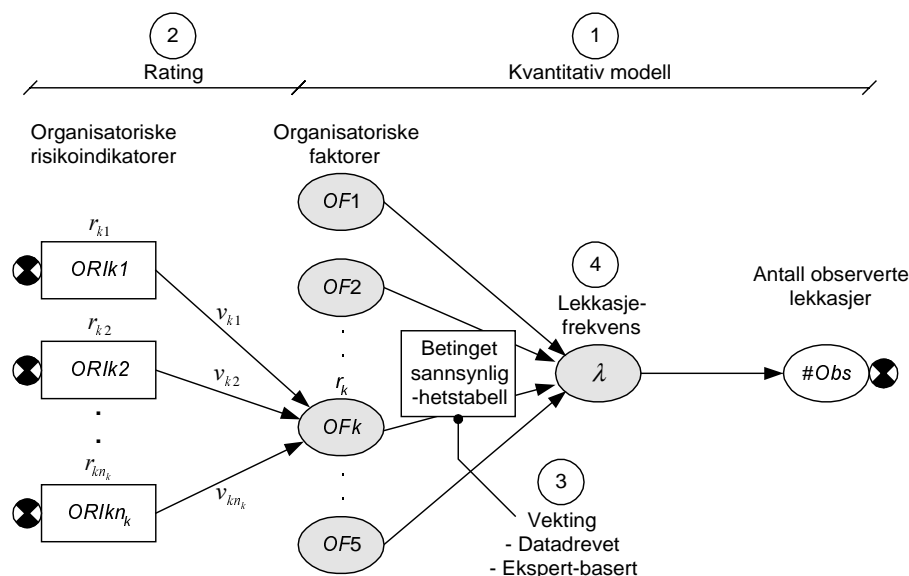
**Tabell 1.** Forslag til organisatoriske risikoindeksorer (Statfjord A).

Organisatoriske faktorer		Organisatoriske risikoindeksorer	
OF1	Opplæring/kompetanse	ORI11	Andel prosesssteknikere med formell systemopplæring
		ORI12	Gjennomsnittlig antall områder prosesssteknikerne har opplæring i
		ORI13	Andel instrumentteknikere med kurs i rørkopling/ventiler
		ORI14	Andel mekanikere med kurs i flenstreking
		ORI15	Andel mekanikere med pakningskurs
		ORI16	Gjennomsnittlig antall år erfaring på denne installasjonen
		ORI17	Gjennomsnittlig antall år erfaring totalt
		ORI18	Andel av relevant personell som har deltatt i faglig utvikling
OF2	Prosedyrer, SJA, retningslinjer, instruksjoner	ORI21	Andel av relevant personell med formell opplæring i SJA
		ORI22	Andel av relevant personell som har gjennomført SJA siste år
		ORI23	Antall SJA gjennomført siste kvartal på installasjonen
		ORI24	Hyppighet av kontroll med utarbeidelse/bruk av SJA
OF3	Planlegging, koordinering, organisering, kontroll	ORI31	Andel kritiske jobber utført med kontroll
		ORI32	Andel inn- og utskrivinger av arbeidsordre i felt (på arbeidsstedet)
OF4	Design	ORI41	Antall designrelaterte lekkasjer og tilløp til lekkasjer
OF5	PM-program/inspeksjon	ORI51	Mengde inspeksjon av lekkasjepunkt-utstyr
		ORI52	Mengde korrigerende vedlikehold av lekkasjepunkt-utstyr

I tillegg er det utarbeidet en liste med generelle forslag til organisatoriske risikoindeksorer.

### 3.4 Organisatorisk kvantifiseringsmetodik

Kvantifiseringsmetodikken er illustrert i Figur 4.



**Figur 4.** Kvantifiseringsmetodikken.

Beregning av effekten på risikoen av endringer i tilstanden til de organisatoriske faktorene skjer ved å: (1) etablere en kvantitativ modell, (2) bedømme tilstanden til faktorene ("rating"), (3) bedømme effekten/påvirkningen av faktorene ("vekting"), samt (4) å beregne den totale effekten på lekkasjefrekvensen. Endring i risiko som følge av endring i lekkasjefrekvensen beregnes via følsomhetsanalyser i TRA'en.

Den kvantitative modellen er forenklet ved at de mellomliggende nivåene i den kvalitative modellen er utelatt.

Tilstanden til de organisatoriske faktorene bedømmes ved hjelp av indikator-målinger ("rating-prosessen"). Hver indikator kan tillegges ulik individuell vekt. (Det er også mulig å bedømme tilstanden til hver faktor subjektivt, f.eks av plattformledelsen.)

Betydningen ("styrken") av tilstanden til de organisatoriske faktorene for lekkasjefrekvensen ( $\lambda$ ) bedømmes ved etablering av en såkalt "betinget sannsynlighetstabel" ("vekting-prosessen"). Denne etableres enten basert på data eller ekspertvurderinger.

Den totale effekten på lekkasjefrekvensen av endringer i tilstanden til de organisatoriske faktorene, samt antall observerte lekkasjer (#Obs), beregnes ved å anvende influens-diagram (Bayesiansk nettverk).

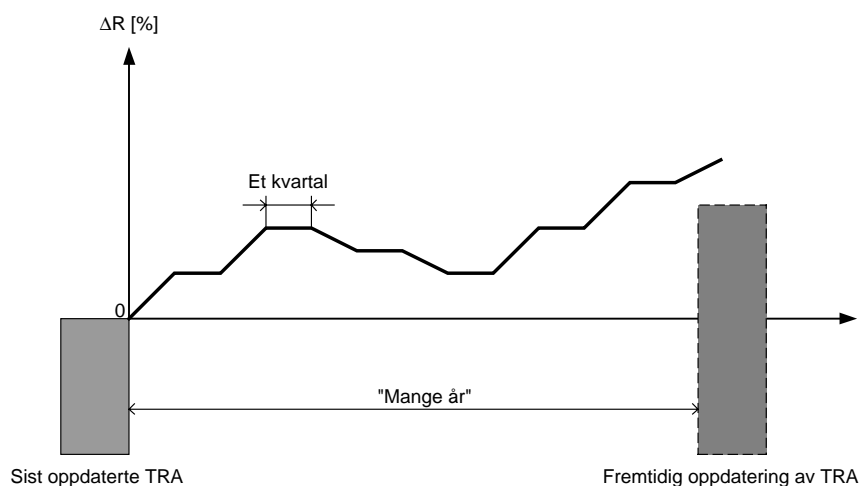
Effekten på risikoen beregnes via forhåndsutførte følsomhetsanalyser (med bruk av TRA'en) eller ved å endre parameterverdien i risikoanalyse-programvaren direkte.

## 4 Konklusjoner

Risikoindikatorer basert på totalrisikoanalysen kan etableres ved å anvende den beskrevne "tekniske" metodikken.

I de tilfeller hvor direkte eller indirekte indikatorer er uegnet, f.eks som følge av få registreringer per periode, kan det etableres en årsaksmodell. En årsaksmodell er etablert for hydrokarbonlekkasjer i dette prosjektet (hvor Statfjord A ble benyttet som case). Organisatoriske risikoindikatorer etableres og benyttes som underlag for å beregne endringer i lekkasjefrekvensen.

De organisatoriske risikoindikatorerne supplerer dermed de TRA-baserte indikatorene. Det totale settet med risikoindikatorer (tekniske og organisatoriske) vil kunne benyttes for å måle en relativt stor andel av den totale endring i risikonivået i perioden mellom oppdatering av totalrisikoanalysen. Dette er illustrert i Figur 5.



**Figur 5.** Oppfølging av utviklingen i risikonivået.

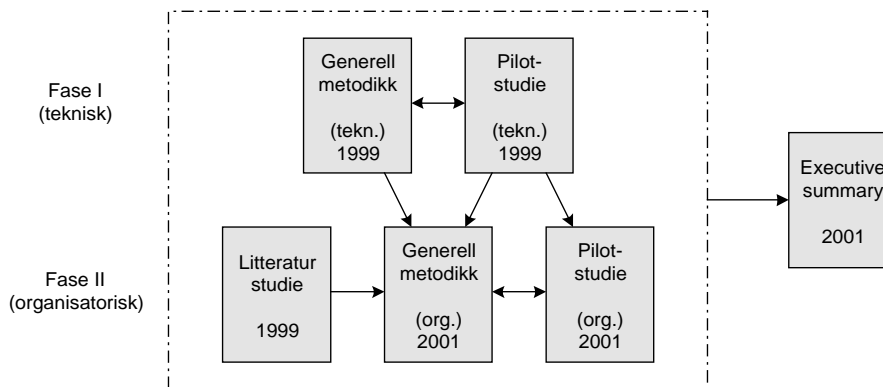
Etablering av tekniske risikoindikatorer kan gjøres for enhver installasjon forutsatt at en totalrisikoanalyse foreligger. Denne bør helst være oppdatert, eventuelt kan etableringen av tekniske risikoindikatorer skje samtidig med en ny oppdatering av risikoanalysen. Etablering av slike indikatorer er et krav i henhold til ODs nye styringsforskrift.

Arbeidet som er gjort for å utarbeide metodikk for etablering av organisatoriske risikoindikatorer må ses på som en "mulighetsstudie". Det har vært mulig å påvise kvantitativt effekten av endringer i organisatoriske faktorer på risikonivået, men dette har så langt vært avgrenset til organisatoriske endringer med effekt på lekkasjefrekvensen. Metodikken er forholdsvis komplisert og bør fortrinnsvis implementeres som et pilotprosjekt på én eller et fåtall installasjoner i første omgang.

Fordelen med de organisatoriske risikoindikatorerne er at de representerer et "tidlig-varsel" og utgjør derfor et verdifullt proaktivt redskap i forebyggelsen av fremtidige storulykker.

## 5 Publikasjoner

Er du interessert i mer informasjon om prosjektet? Figur 6 gir en oversikt over rapporter utgitt som del av prosjektet.



**Figur 6.** Rapportoversikt.

### Rapporter

- SINTEF-rapport STF38 A98434 "Metode for å utarbeide tekniske risikoindikatorer", Januar 1999  
 SINTEF-rapport STF38 F98435 "Risikoindikatorer for overvåking av risikonivået på Statfjord A" (Fortrolig), Februar 1999  
 SINTEF-rapport STF38 A99416 "Bruk av risikoanalyser i driftsfasen, etablering av sikkerhets-indikatorer og modellering av organisatoriske faktorerens effekt på risikonivået - En "State-of-the-art" beskrivelse, Oktober 1999  
 SINTEF-rapport STF38 A00422 "Metodikk for utarbeidelse av organisatoriske risikoindikatorer", Februar 2001  
 SINTEF-rapport STF38 F00421 "Organisatoriske risikoindikatorer - Pilotstudie Statfjord A" (Prosjektintern), Februar 2001  
 SINTEF-rapport STF38 A01405 "Risk Analyses during Operation ("The Indicator Project") – Executive Summary", Mars 2001

De åpne rapportene kan bestilles fra SINTEF Teknologiledelse, Sikkerhet og pålitelighet eller lastes ned som pdf-filer fra <http://www.sintef.no/sipaa/prosjekt/indikator>

### Konferanseartikler

- Øien, K., Sklet, S. & Nielsen, L.: "Risk Level Indicators for Surveillance of Changes in Risk Level", In Proceedings of ESREL'97 (International Conference on Safety and Reliability), pp. 1809-1816, Pergamon, 1997.  
 Øien, K., Sklet, S. & Nielsen, L.: "Development of Risk Level Indicators for a Petroleum Production Platform", In Proceedings of the 9th International Symposium on Loss Prevention in the Process Industries, pp. 382-393, Barcelona, Spain, 1998.  
 Øien, K. & Sklet, S.: "Methodology for Development of Risk Indicators for Offshore Platforms". NKS/SOS-2 Seminar on Risk Informed Principles, Bergendal, Stockholm, April 1999.  
 Øien, K., & Sklet, S.: "Risk Control During Operation of Offshore Petroleum Installations", In Proceedings of ESREL'99, Safety and Reliability, Schüeller & Kafka (eds), Balkema, Vol. 2, pp. 1297-1302, Rotterdam, 1999.  
 Øien, K. & Sklet, S.: "A Structure for the Evaluation and Development of Organizational Factor Frameworks" In Proceedings of the PSAM 5 Conference, Osaka, Japan, 2000.

En teoretisk utdyping er gitt i dr.gradsavhandlingen "Risk Control of Offshore Installations – A Framework for the Establishment of Risk Indicators" av Knut Øien, NTNU 2001:04, Trondheim, Mai 2001.

## **6 Introduction**

### **6.1 Background and objectives**

The Norwegian Petroleum Directorate (NPD) initiated in 1994 a project to explore the possibility of developing a "tool" for the follow-up of risk on a specific installation (Ekofisk 2/4-T). The tool consisted of a set of risk indicators – thus the name "The Indicator Project". The project was continued in 1996, with Statfjord A as the pilot installation.

The establishment of risk indicators, both for Ekofisk 2/4-T and Statfjord A, was based on the platform specific quantitative risk assessment (QRA) and covered mainly technical and to some extent operational aspects.

As a result of organizational factors' increasing contribution to major accidents the latest decades (e.g., Challenger, Chernobyl, Piper Alpha), NPD initiated in 1998 the project "Risk Analyses during Operation" in which the main focus has been on the effect of organizational changes on risk.

The objective of the project has been to:

- Develop a methodology for the establishment of "technical" risk indicators
- Assess whether (and to what extent) it is possible to quantify the effect on risk of changes in organizational factors during operation of offshore installations

### **6.2 Scope and delimitation**

The risk indicators measure changes in the risk level on an installation during normal operation in the time periods between updating of the QRAs, thus obtaining an "indication" of the risk status on a regular basis.

The risk indicators cover the most important risk factors with respect to major accidents having consequences for personnel onboard the installations.

### **6.3 Principal results and utility value**

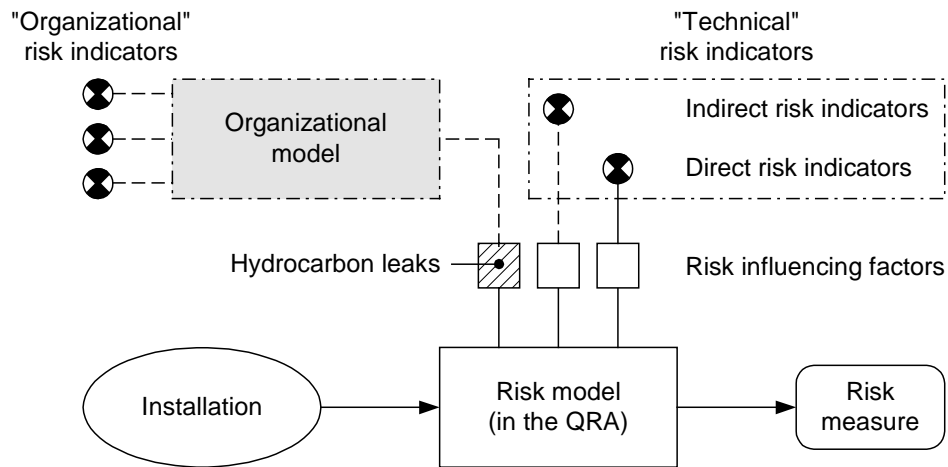
The principal results are: (1) a methodology for the establishment of technical risk indicators and (2) a framework for the establishment of organizational factors. The organizational framework consists of (i) a qualitative organizational model covering the causes of hydrocarbon leaks, (ii) organizational risk indicators, and (iii) an organizational quantification methodology.

The utility value consists of frequent information about the risk development on a specific installation. This is a prerequisite for risk control and is proposed as a requirement in the new offshore regulations.

Organizational risk indicators provide early warnings and constitute a valuable proactive tool in preventing major accidents.

## 7 Approach

The concept used for the establishment of risk indicators is illustrated in Figure 1.



**Figure 1.** Concept for the establishment of risk indicators.

The point of departure is the risk model of a specific installation including the personnel onboard (i.e., the "sociotechnical" system). This risk model is used in the QRA to estimate the total risk of the installation, thus obtaining a risk measure.

The most important risk factors included in the risk model are identified and selected (e.g., "hydrocarbon leaks" and "hot work"). Risk indicators are established in order to measure the state of the organizational factors. The effect of change in factor states may be calculated based on the QRA. "Technical" risk indicators denote the indicators being established based on the QRA. They may either be direct (e.g., "number of hot work hours" as an indicator of "hot work") or indirect (e.g., "number of *all* failures on electrical equipment" – not only *critical* failures – as an indicator of "ignition due to failures in electrical equipment").

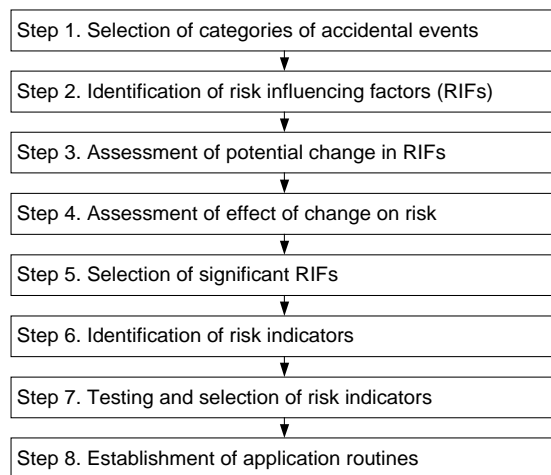
For some of the risk influencing factors (e.g., hydrocarbon leaks) the direct risk indicators (e.g., "number of hydrocarbon leaks") may be inappropriate due to a limited number of observations per time period. In these cases causal models are established capturing the causal relations between organizational factors and the factor in question. In this project a causal model for hydrocarbon leaks has been established.

The organizational model (the leak model) is developed based on literature reviews, causal analyses of reported leak events, and observations/interviews of the specific organization. Proposals for organizational risk indicators are based on the literature on safety performance indicators and discussions with platform personnel. The quantitative methodology is applied for the estimation of effect on risk, of changes in the organizational factor states. This methodology is developed based on, e.g., extensive analyses of existing comparable methods.

## 8 Results

### 8.1 Methodology for the establishment of technical risk indicators

The methodology for the establishment of technical risk indicators consists of eight steps and is shown in Figure 2.



**Figure 2.** Methodology for the establishment of technical risk indicators.

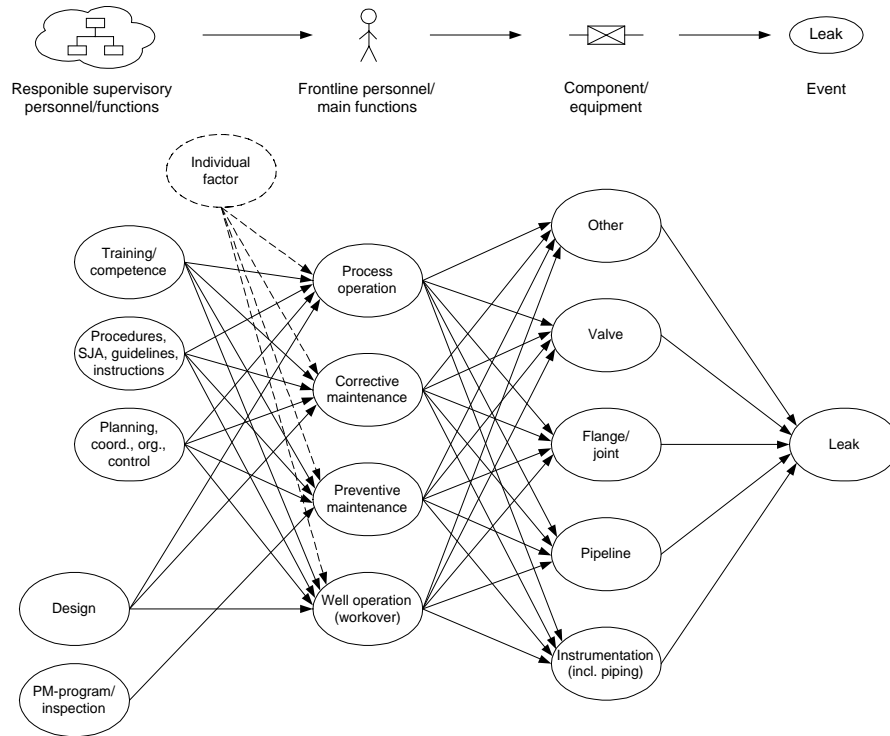
The categories of accidental events having major accident potential and which contributes significantly to the total risk are identified and selected based on the QRA (1). All risk influencing factors (parameters) included in the models of the selected categories of accidental events are identified (2). The potential change of each risk influencing factor are assessed by platform personnel (3), and the effect on risk is assessed based on sensitivity analyses (4). The most important risk influencing factors with respect to potential change in risk are selected as candidates for the establishment of risk indicators (5). An initial set of risk indicators is proposed, and the effect on risk of changes in the risk indicator values is calculated (6). The proposed risk indicators are tested, and based on this test a final set of indicators is selected (7). Finally, application routines are established (8).

### 8.2 Qualitative organizational model (leak model)

The qualitative organizational model (the leak model) is shown in Figure 3.

Besides the leak event itself the model consists of three levels. The first level comprises the leak source, that is, the equipment or components, which may leak. The second level comprises the front-line personnel that may cause a leak or prevent a leak from occurring. The third level consists of the organizational factors, which constitutes the preparations necessary so that the front-line personnel can carry out their jobs without causing any leaks.

The leak model consists of those organizational factors being most important to leak events (and the prevention of such events). The model may be applied during investigation of leak events and as a basis for the quantification of organizational factors' effect on risk.



**Figure 3.** Organizational model.

### 8.3 Organizational risk indicators

Organizational risk indicators are established to measure the state of the organizational factors on a regular basis (e.g., each quarter of the year). Proposals for organizational risk indicators of a specific installation (Statfjord A) are presented in Table 1. (Note that these are proposals only.)

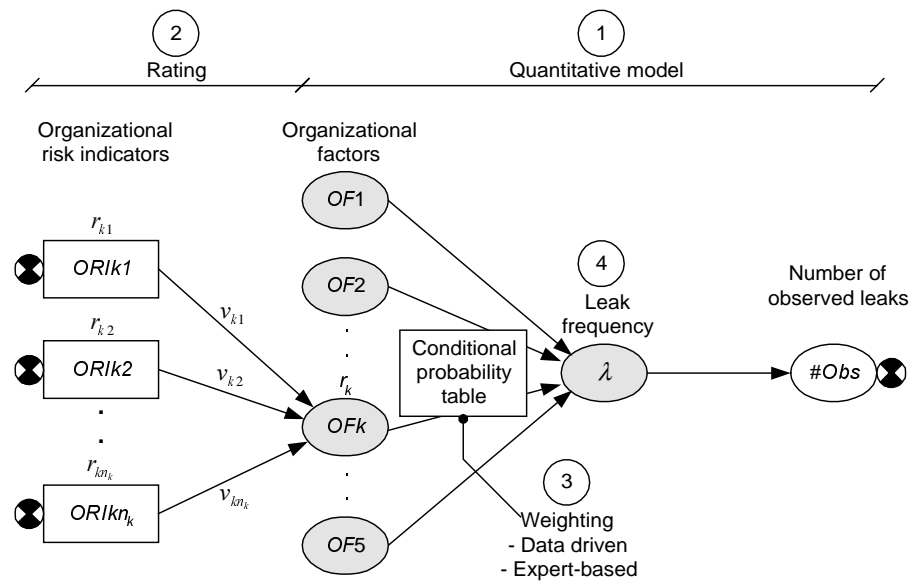
**Table 1.** Organizational risk indicators proposed for the pilot installation

Organizational Factor	Organizational Risk Indicator
OF1 Training/ competence	ORI11 Proportion of process technicians having formal system training
	ORI12 Average no. of areas in which the process technicians are trained
	ORI13 Proportion of instrument technicians attended joint/valves courses
	ORI14 Proportion of mechanics attended courses in flange mounting
	ORI15 Proportion of mechanics attended courses in gaskets and seals
	ORI16 Average no. of years experience on this installation for rel. pers.
	ORI17 Average no. of years of experience in total for relevant personnel
	ORI18 Proportion of relevant personnel pursuing vocational development
OF2 Procedures etc	ORI21 Proportion of relevant personnel having received JSA training
	ORI22 Proportion of relevant personnel having performed JSA last year
	ORI23 No. of JSAs carried out last quarter of the year
	ORI24 No. of controls of JSA preparation and application
OF3 Planning etc	ORI31 Proportion of critical jobs being checked
	ORI32 Proportion of work orders signed at workplace
OF4 Design	ORI41 No. of design related leaks and leak attempts
OF5 PM-program/ inspection	ORI51 No. of hours inspection of leak exposed equipment
	ORI52 No. of corr. maintenance work orders on leak exposed equipment

Also a list of generic organizational risk indicators has been established.

## 8.4 Organizational quantification methodology

The organizational quantification methodology is illustrated in Figure 4.



**Figure 4.** Quantification methodology.

The calculation of the effect on risk of changes in the organizational factor states consists of: (1) establishing a qualitative model, (2) assessment of the organizational factor states ("rating"), (3) assessment of the impact of the organizational factors ("weighting"), and (4) calculation of the total effect on the leak frequency. The change in risk due to change in the leak frequency is calculated using sensitivity analyses based on the QRA.

The quantitative model is simplified through the removal of the intermediate levels in the qualitative model.

The organizational factor states are assessed using indicator measurements (the "rating process"). Each indicator may be assigned a unique importance/weight. (It is also possible to assess the organizational factor states subjectively, for instance by the platform management.)

The strength/impact of the organizational factor states on the leak frequency ( $\lambda$ ) is assessed by establishing a so-called "conditional probability table" (the "weighting process"). This table is established based on either data or expert judgments.

The total effect on the leak frequency of changes in the organizational factor states and the number of observed leaks (#Obs) is calculated using influence diagram (Bayesian network).

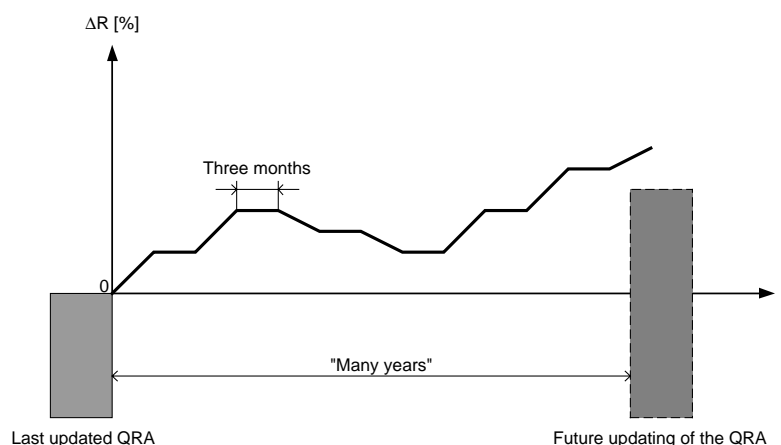
The effect on risk is calculated using pre-performed sensitivity analyses (based on the QRA) or through a direct change of the parameter value in the QRA software.

## 9 Conclusions

Risk indicators based on the QRA may be established utilizing the previously described "technical" methodology.

In those instances where direct or indirect risk indicators are judged inappropriate due to, e.g., few registrations per time period a causal model may be developed. A causal model for hydrocarbon leaks has been developed in this project (using Statfjord A as a case). Organizational risk indicators are established and used as a basis for the calculation of changes in the leak frequency.

The organizational risk indicators thus supplement the QRA-based risk indicators. The total set of risk indicators (technical and organizational) is expected to provide measurements of a relatively large portion of the total change in risk, in the time periods between updating of the QRA. This is illustrated in Figure 5.



**Figure 5.** Follow-up of risk.

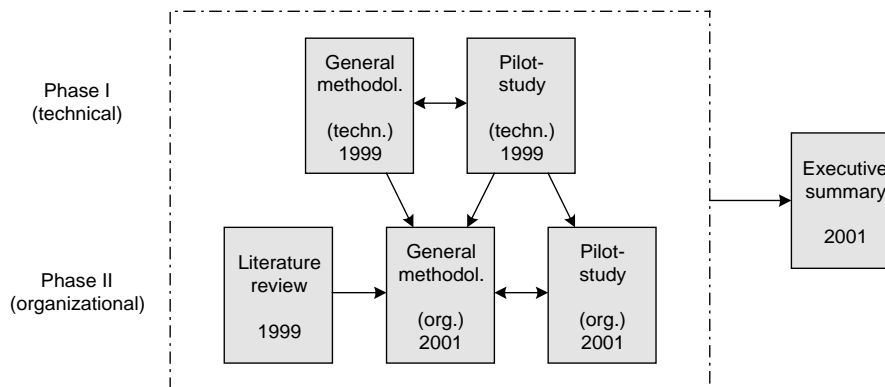
The establishment of technical risk indicators is possible for any installation given that a QRA exists for the specific installation. The QRA should be reasonably up to date, alternatively the establishment of risk indicators can be performed at the same time as the QRA is updated. The establishment of this type of risk indicators is required according to the new NPD regulations.

The development of a methodology for the establishment of organizational risk indicators may at this point be seen as explorative. It has been possible to quantify the effect on risk of changes in organizational factors, however, this has so far been limited to the organizational changes having an effect on the leak frequency. The methodology is rather complicated and should preferably be implemented as a pilot project at one or a few installations to gain experience.

The advantage of the organizational risk indicators is that they provide early warnings and constitute a valuable tool in preventing major accidents.

## 10 Publications

Are you interested in more information about the project? Figure 6 gives an overview of the reports issued during the project.



**Figure 6.** Overview of reports.

### *Reports (all in Norwegian – except for the executive summary)*

- SINTEF-report STF38 A98434 "Methodology for the development of technical risk indicators", January 1999  
 SINTEF-report STF38 F98435 "Risk indicators for the surveillance of the risk level on Statfjord A" (Restricted), February 1999  
 SINTEF-report STF38 A99416 "Use of risk analyses during operation, establishment of safety indicators, and the modeling of organizational factors' effect on risk - A "State-of-the-art" description, October 1999  
 SINTEF-report STF38 F00421 "Organizational risk indicators – Pilot study Statfjord A" (Internal), February 2001  
 SINTEF-report STF38 A00422 "Methodology for the establishment of organizational risk indicators", February 2001  
 SINTEF-report STF38 A01405 "Risk Analyses during Operation ("The Indicator Project") – Executive Summary", March 2001, (in English and Norwegian)

The unrestricted reports may be ordered from SINTEF Industrial Management, Safety and Reliability or downloaded as pdf-files from <http://www.sintef.no/sipaa/prosjekt/indikator>

### *Conference papers*

- Øien, K., Sklet, S. & Nielsen, L.: "Risk Level Indicators for Surveillance of Changes in Risk Level", In Proceedings of ESREL'97 (International Conference on Safety and Reliability), pp. 1809-1816, Pergamon, 1997.  
 Øien, K., Sklet, S. & Nielsen, L.: "Development of Risk Level Indicators for a Petroleum Production Platform", In Proceedings of the 9th International Symposium on Loss Prevention in the Process Industries, pp. 382-393, Barcelona, Spain, 1998.  
 Øien, K. & Sklet, S.: "Methodology for Development of Risk Indicators for Offshore Platforms". NKS/SOS-2 Seminar on Risk Informed Principles, Bergendal, Stockholm, April 1999.  
 Øien, K., & Sklet, S.: "Risk Control During Operation of Offshore Petroleum Installations", In Proceedings of ESREL'99, Safety and Reliability, Schüeller & Kafka (eds), Balkema, Vol. 2, pp. 1297-1302, Rotterdam, 1999.  
 Øien, K. & Sklet, S.: "A Structure for the Evaluation and Development of Organizational Factor Frameworks" In Proceedings of the PSAM 5 Conference, Osaka, Japan, 2000.

A theoretical extension is provided in the doctoral thesis "Risk Control of Offshore Installations – A Framework for the Establishment of Risk Indicators" by Knut Øien, NTNU 2001:04, Trondheim, May 2001.