

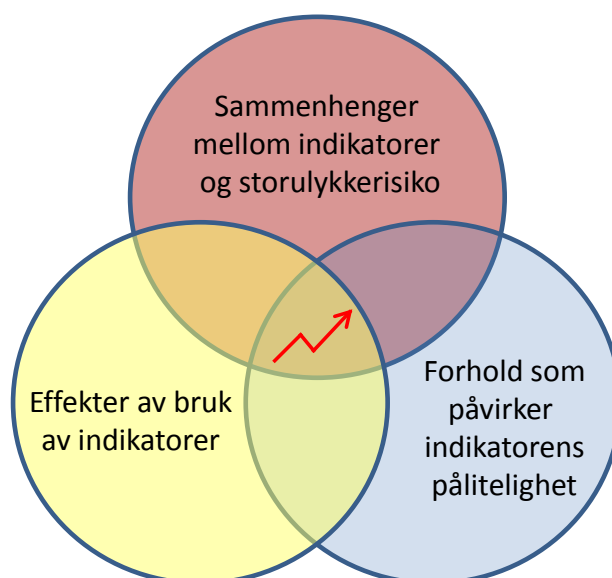
Rapport

Indikatorer på HMS i høyrisikoindustri

Litteraturstudie av nyere litteratur om bruk av indikatorer i høyrisikoindustri

Forfattere

Stine Skaufel Kilskar
Knut Øien



(Blank Side)

Rapport

Indikatorer på HMS i høyrisikoindustri

Litteraturstudie av nyere litteratur om bruk av indikatorer i høyrisikoindustri

EMNEORD:Indikatorer
Storulykke
Høyrisikoindustri
Petroleum**VERSJON**

1.0

DATO

2015-09-14

FORFATTER(E)Stine Skaufel Kilskar
Knut Øien**OPPDRAKSGIVER**

Petroleumstilsynet

OPPDRAKSGIVERS REF.

Rolf Henning Hinderaker

PROSJEKTNR

102010127

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

48 + 3 vedlegg

SAMMENDRAG

Denne rapporten beskriver søkestrategien og resultatene av en litteraturstudie av nyere litteratur om bruk av indikatorer i høyrisikoindustri. Litteraturstudien dekker 174 dokumenter for de siste 6-7 årene (fra og med 2009). Resultatene viser at det er en mangel på dokumenterte sammenhenger mellom indikatorer og storulykkerisiko, påviste effekter ved bruk av indikatorer og påviste forhold som påvirker påliteligheten til indikatorer. Mer empirisk-basert forskning er nødvendig for å kunne dokumentere indikatorers validitet, effekter og pålitelighet. Mulige implikasjoner av dette er diskutert og 15 spesifikke utfordringer for næringen og Ptil er identifisert.

UTARBEIDET AV

Stine Skaufel Kilskar

SIGNATUR**KONTROLLERT AV**

Ranveig Kviseth Tinmannsvik

SIGNATUR**GODKJENT AV**

Stian Antonsen, forskningssjef

SIGNATUR**RAPPORTNR**

SINTEF A27109

ISBN

978-82-14-05970-0

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
0.1	2015-08-20	Utkast
1.0	2015-09-14	Endelig

Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon.....	7
1.1	Formål.....	7
1.2	Bakgrunn.....	7
1.3	Fremgangsmåte.....	7
1.4	Forutsetninger og begrensninger.....	7
1.5	Sentrale begreper og forkortelser.....	8
1.6	Rapportstruktur.....	9
2	Klargjøring av forskningsspørsmålene.....	11
3	Litteratursøk.....	13
3.1	Søkeressurser.....	13
3.1.1	Google Scholar.....	13
3.1.2	Scopus.....	13
3.2	Avgrensninger – språk og tidsperiode.....	14
3.3	Søkeord.....	14
3.4	Søkestrenger.....	15
3.5	Søkeresultater.....	16
4	Litteraturgjennomgang.....	19
4.1	Inklusjons- og eksklusjonskriterier.....	19
4.2	Systematisering av funn fra litteraturen.....	19
4.3	Dokumenter som underbygges av studier eller konkrete eksempler.....	20
5	Resultater og diskusjon.....	23
5.1	Sammenhenger mellom indikatorer og storulykkerisiko – forskningsspørsmål 1.....	24
5.1.1	Sammenheng gjennom korrelasjoner.....	25
5.1.2	Logisk forklarte sammenhenger (versus antakelser).....	27
5.1.3	Sammenheng gjennom retrospektiv analyse av ulykker.....	28
5.2	Effekter av bruk av indikatorer – forskningsspørsmål 2.....	30
5.2.1	Effekt på resultat.....	31
5.2.2	Effekt på aktiviteter og prosesser.....	32
5.2.3	Utsiktede og uønskede effekter.....	34
5.3	Forhold som påvirker indikatorens pålitelighet – forskningsspørsmål 3.....	34
5.3.1	Forekomst av hendelser.....	35
5.3.2	Tilstrekkelig og korrekt rapportering.....	36
5.3.3	Sammenlignbarhet på tvers.....	37

5.4	Mulige implikasjoner; hvilke utfordringer innebærer dette for næringen og Ptil? – forskningsspørsmål 4	38
5.4.1	Implikasjoner vedrørende sammenhenger mellom indikatorer og storulykkerisiko	38
5.4.2	Implikasjoner vedrørende effekter av bruk av indikatorer	39
5.4.3	Implikasjoner vedrørende forhold som påvirker indikatorens pålitelighet	40
6	Konklusjon	43
7	Referanser.....	45
Vedlegg A	Oversikt over søkeresultater	49
Vedlegg B	Internettlenker til dokumentene	63
Vedlegg C	Oversikt over litteraturgjennomgangen.....	79

SAMMENDRAG

Storulykker som eksplosjonen ved BPs raffineri i Texas City i 2005 og Macondo-utblåsningen i 2010 bekrefter behovet for indikatorer som måler hvor godt prosessikkerheten styres på anlegg med storulykkepotensial. I 2014 satte Petroleumstilsynet i gang et prosjekt med mål om kunnskapsutvikling innen HMS-relevante indikatorer i petroleumsvirksomheten. Prosjektet har blitt videreført i 2015, og som en delaktivitet har SINTEF Teknologi og samfunn gjennomført en gjennomgang av nyere litteratur om bruk av indikatorer i høyrisikoindustri. Denne rapporten beskriver søkestrategien og presenterer resultatene fra litteraturstudien.

Litteraturen berører ulike aspekter ved utvikling og bruk av storulykkeindikatorer. Ptil har sett et behov for å få samlet informasjon fra studier og forskning knyttet til tre aspekter/tema: 1) dokumentering av sammenhenger mellom indikatorer og storulykkerisiko (dvs. indikatorens validitet), 2) effekter ved bruk av indikatorer, og 3) forhold i omgivelsene eller konteksten som påvirker indikatorens pålitelighet. Funnene relatert til disse temaene danner grunnlag for en drøfting av mulige implikasjoner både for næringen og for Ptil.

Litteraturgjennomgangen inkluderte søk i Google Scholar og Scopus. Med utgangspunkt i fagtidsskriftet Safety Science sin spesialutgave fra 2009 om indikatorer for prosessikkerhet, ble litteratur fra og med 2009 inkludert i søkene. Kun dokumenter som omhandlet ett eller flere av temaene for forskningsspørsmålene (validitet, effekter eller pålitelighet) ble videre analysert.

Resultatene, som er basert på 174 identifiserte dokumenter, viser at validitet (tema 1) er diskutert som hovedtema i noen få dokumenter, men at dette i liten grad bygger på empiriske studier. Ingen av dokumentene tar for seg effekter ved bruk av indikatorer (tema 2) eller forhold som påvirker indikatorens pålitelighet (tema 3) som hovedtema. Dette er noe overraskende, da det å demonstrere at indikatorer har en effekt, samt å sikre pålitelige indikatorer, er sentrale forutsetninger for å bruke indikatorer. Alle problemstillingene blir imidlertid undersøkt som underordnede tema i noen dokumenter.

Litteraturstudien gir ikke grunnlag for å peke på bestemte indikatorer eller typer av indikatorer med spesielt høy validitet. Generelt er det en utfordring at jo "mer ledende" indikatorene er (lengre bak i årsakskjeden), jo svakere blir koplingen til sikkerhet/risiko, dvs. dårligere validitet. Et for sterkt fokus på validitet kan gå på bekostning av tidlig varsel.

Det er avdekket ulike faglige innfallsvinkler/tradisjoner, og også faglige uenigheter i den gjennomgatte litteraturen. Dette gjelder blant annet hvorvidt det kan være sammenhenger mellom arbeidsulykker og storulykker.

En hovedkonklusjon er at det er mangel på dokumenterte sammenhenger mellom indikatorer og storulykkerisiko, påviste effekter ved bruk av indikatorer og påviste forhold som påvirker påliteligheten til indikatorer. Mer empirisk-basert forskning er nødvendig for å kunne dokumentere indikatorers validitet, effekter og pålitelighet.

Mulige implikasjoner av resultatene er diskutert og 15 spesifikke utfordringer for næringen og Ptil er identifisert.

SUMMARY

Major accidents, such as the Texas City refinery explosion in 2005 and the Macondo well blowout in 2010, confirm the need for indicators measuring management of process safety in major hazard facilities. In 2014 the Petroleum Safety Authority Norway (PSA) initiated a project aimed at improving the knowledge of safety relevant indicators in the petroleum industry. The project has been extended in 2015 and includes a review conducted by SINTEF Technology and Society of recent literature on the use of indicators in high risk industries. This report describes the search strategy and presents the results from the literature review.

The literature addresses various aspects of development and use of major accident indicators. It is of particular importance for PSA to gather information from studies and research related to three aspects/topics: 1) documentation of relationships between indicators and major accident risk (i.e. the validity of the indicator), 2) effects of the use of indicators, and 3) conditions in the surroundings or the context having an impact on the reliability of the indicator. The findings related to these topics form the basis for a discussion on possible implications on both the industry and PSA.

The literature review included searches in Google Scholar and Scopus. Using the scientific journal Safety Science's special issue on process safety indicators as a starting point, new literature from 2009 until today were included. Only documents covering at least one of the research issues (validity, effects or reliability) were included and analyzed.

The results, which are based on 174 identified documents, indicate that none of these have documented effects of use of indicators (topic 2) or reliability of indicators (topic 3) as central themes. This is somewhat surprising since demonstrating that indicators have an effect, and ensuring reliable indicator measurements can be seen as premises for using indicators. Validity (topic 1) is discussed as a main topic in a few documents; however, validity is not substantiated through empirical studies.

The literature review cannot be used as basis for identifying specific indicators or types of indicators showing high validity. In general, it is a challenge that the "more leading" an indicator is (further back in the causal chain), the weaker is the link to safety/risk, i.e. lower validity. Too strong focus on validity may come at the expense of early warnings.

Some differences in approaches/traditions and also professional disagreements have been revealed in the reviewed literature, e.g. with respect to possible relationship between occupational accidents and major accidents.

A main conclusion is that there is lack of demonstrated relationship between indicators and major accident risk, demonstrated effect of indicators and demonstrated reliability of indicators. More empirical based research is needed in order to provide evidence of indicators' validity, effects and reliability.

Potential implications of the results are discussed and 15 specific challenges for the Petroleum industry and PSA are identified.

1 Introduksjon

1.1 Formål

Formålet med studien er å besvare følgende fire forskningsspørsmål:

FS 1: Hva sier litteraturen om dokumenterte sammenhenger mellom indikatorer og storulykkerisiko?

FS 2: Hva sier litteraturen om effekter ved bruk av indikatorer?

FS 3: Hva sier litteraturen om forhold i omgivelsene eller konteksten som påvirker indikatorens pålitelighet?

FS 4: Hva er mulige implikasjoner av resultatene; hvilke utfordringer innebærer dette for næringen og Ptil?

Disse fire forskningsspørsmålene (FS) kan sammenfattes på følgende måte:

Når man skal bruke indikatorer eller føre tilsyn med bruken – jf. FS4, så er det viktig å vite hvorvidt indikatorene måler det de skal måle, dvs. storulykkerisiko – jf. FS1, og at de er pålitelige – jf. FS3. Til slutt er det viktig å vurdere nytteverdien, dvs. hvilken effekt bruk av indikatorer har på storulykkerisiko – jf. FS2.

Hensikten med studien er å bidra til å forberede og tilrettelegge for tilsyn med bruken av HMS-indikatorer, samt bidra til økt kunnskap internt i Petroleumstilsynet og i næringen om indikatorer og bruken av dem.

1.2 Bakgrunn

Storulykker som eksplosjonen ved BPs raffineri i Texas City i 2005 og Macondo-utblåsningen i 2010 bekrefter behovet for indikatorer som måler hvor godt prosessikkerheten innen høyrisikoindustri styres. I etterkant av slike ulykker oppstår det ofte debatter om indikatorer, både i forskningslitteraturen og i de relevante næringene. Likevel foreligger det til dags dato lite bevis for, og enighet om hva som utgjør treffsikre (valide), effektive og pålitelige indikatorer eller hvordan disse bør operasjonaliseres.

Ptil satte i 2014 i gang et prosjekt med mål om kunnskapsutvikling innen HMS-relevante indikatorer i petroleumsvirksomheten. Prosjektet ble videreført i 2015, og som en delaktivitet har SINTEF Teknologi og samfunn gjennomført en gjennomgang av nyere litteratur om bruk av indikatorer i høyrisikoindustri. Denne rapporten beskriver søkestrategien og presenterer resultatene fra litteraturstudien.

1.3 Fremgangsmåte

For å besvare forskningsspørsmålene ble det først gjennomført systematiske søk etter relevant litteratur. Deretter ble søkeresultater gjennomgått og vurdert med hensyn til relevans for de ulike problemstillingene. Gjennomføringen av litteratursøkene og litteraturgjennomgangen er beskrevet i denne rapporten.

Det har gjennom prosjektperioden blitt gjennomført jevnlig møter med Ptil.

1.4 Forutsetninger og begrensninger

Forutsetninger og begrensninger i prosjektet er i hovedsak knyttet til litteratursøket (valg av søkeressurser, søkeord og periode) og til litteraturgjennomgangen (inkludjons- og ekskludjonskriterier). Dette er beskrevet nærmere i henholdsvis kapittel 3 og kapittel 4.

Litteratur fra og med 2009 er inkludert i studien. Det kan ikke utelukkes at kildehenvisningen er annenhånds, dvs. kildene kan gjengi informasjon fra tidligere kilder uten at dette er fanget opp.

Litteraturgjennomgangen beskriver kunnskapsstatus på forskningsfeltet. Det er ikke gitt at de utfordringene som er avdekket basert på nyere litteratur er i overensstemmelse med dagens situasjon i petroleumsnæringen. Det kan tenkes at noen av utfordringene håndteres tilfredsstillende i næringen, selv om dette ikke er dokumentert gjennom forskning.

1.5 Sentrale begreper og forkortelser

Risiko er et uttrykk for en uønsket hendelse (NS-5814:2008, s. 5). Petroleumstilsynet har nylig presisert definisjonen av risikobegrepet, og definerer nå risiko som konsekvensene av virksomheten, med tilhørende usikkerhet (Petroleumstilsynet, 2015).¹

Et *risikopåvirkende forhold* er et forhold (hendelse/tilstand) i et system eller en aktivitet som påvirker risikonivået til dette systemet/aktiviteten (Øien, 2001).

Et *sikkerhetspåvirkende forhold* er et forhold (hendelse/tilstand) i et system eller en aktivitet som antas å ha en positiv korrelasjon med sikkerheten til dette systemet eller aktiviteten (avledet fra Øien, 2001).

En *indikator* er en målbar/operasjonell variabel som kan benyttes for å beskrive tilstanden til et større fenomen eller aspekt av virkeligheten (Øien, 2001).

En *risikoindikator* er en målbar/operasjonell variabel som kan benyttes til å beskrive tilstanden til et risikopåvirkende forhold (som er knyttet til risikoen gjennom en risikomodell) (avledet fra Øien, 2001).

En *organisatorisk risikoindikator* er en målbar/operasjonell variabel som kan benyttes for å beskrive tilstanden til en organisatorisk risikopåvirkende faktor (som er knyttet til risikoen gjennom en risikomodell) (avledet fra Øien, 2001).

En *sikkerhetsindikator* er en målbar/observerbar karakteristikk av et system eller en aktivitet som antas å ha en positiv korrelasjon med sikkerheten til dette systemet eller aktiviteten (avledet fra Øien, 2001).

En *storulykke* defineres i veiledningen til Styringsforskriften (2015) som en akutt hendelse som for eksempel et større utslipp, brann eller en eksplosjon som umiddelbart eller senere medfører flere alvorlige personskader og/eller tap av menneskeliv, alvorlig skade på miljøet og/eller tap av større økonomiske verdier.

Reliabilitet, eller pålitelighet: Går på om gjentatte målinger med samme måleinstrument gir samme resultat. (Ringdal, 2001).

Validitet, eller gyldighet: Går på om en faktisk måler det en vil måle. (Ringdal, 2001).

"Leading" versus "lagging" indikatorer

Begreper som går igjen i litteraturen om indikatorer er "leading" og "lagging". Det er ingen omforent oversettelse av disse begrepene til norsk, men i denne rapporten er det valgt å bruke henholdsvis "proaktive indikator" og "reaktive indikator".

¹ Når vi ser på hva litteraturen sier om sammenhenger mellom indikatorer og *storulykkerisiko* så forholder vi oss til hva den enkelte publikasjon selv legger i begrepet *storulykkerisiko*. Vi overprøver ikke deres fortolkning av begrepet.

Forkortelser

BOP	Blowout Preventer
CSB	U.S. Chemical Safety Board
CSF	Contributing Success Factor
DFU	Definerte fare- og ulykkessituasjoner
DWH	Deepwater Horizon
ESD	Emergency Shut Down
FAR	Fatal Accident Rate
FS	Forskningsspørsmål
FV	Forebyggende vedlikehold
G	Google Scholar
HMS	Helse, Miljø, Sikkerhet
KPI	Key Performance Indicator
KV	Korrektivt vedlikehold
LTIF	Lost-time Incident Frequency
OLF	Oljeindustriens Landsforening (nå Norsk Olje og Gass)
PSA	Petroleum Safety Authority Norway
PSAM	Probabilistic Safety Assessment and Management
Ptil	Petroleumstilsynet
REWI	Resilience based Early Warning Indicators
RIF	Risk Influencing Factor (Risikopåvirkende forhold)
RNNP	Risikonivå i norsk petroleumsvirksomhet
S	Scopus
SPE	Society for Petroleum Engineers
SPI	Safety Performance Indicator
TRIF	Total Recordable Incident Frequency

1.6 Rapportstruktur

Kapittel 2 beskriver formålet med og gjennomføringen av oppstartsmøtet, samt en kort oppsummering av forventningene og rammene for prosjektet slik de ble diskutert i møtet. Søkeressurser, avgrensninger, søkeord og resultater av litteratursøket er presentert i kapittel 3. Kapittel 4 gir en oversikt over litteraturgjennomgangen i form av inkluderingskriterier og systematisering av søkeresultatene. Resultatene fra litteraturgjennomgangen diskuteres i kapittel 5. Her beskrives først de generelle funnene, etterfulgt av delkapitler for hvert av forskningsspørsmålene. Kapittel 6 inneholder konklusjonen fra litteraturstudien.

Vedlegg A inneholder en oversikt over alle de 176² dokumentene som ble inkludert og vurdert mot FS1-3. Vedlegg B gir en oversikt over lenker til hvor de ulike dokumentene kan hentes via internett. Vedlegg C viser en oversikt over dokumentene med utklipp av tekst som er relevant for FS1-3.

² To av dokumentene (#39 og #160) er identiske med to andre (henholdsvis #41 og #13), men kom opp som egne søkeresultater under noe ulike titler. Disse er derfor fjernet, og totalt antall unike dokumenter i oversikten er 174.

(Blank side)

2 Klargjøring av forskningsspørsmålene

Diskusjon rundt operasjonalisering av forskningsspørsmålene:

- FS1 (validitet): Dette henger blant annet sammen med hvordan storulykkerisiko måles. Dersom man benytter risikoindikatorer med kopling til en totalrisikoanalyse (potensielle ulykker), så er sammenhengene mellom indikatorer og storulykkerisiko modellert via logiske sammenhenger. Dersom man skal forholde seg direkte til storulykker (reelle ulykker), så er det så få reelle ulykker at sammenhengene oftest knyttes til mellomliggende størrelser som f.eks. nestenulykker via korrelasjon.
- FS2 (effekt): Dersom effekt skal måles basert på resultat måles det oftest indirekte (f.eks. nestenulykker) pga. lite data. Mengde data avhenger av hvilket "nivå" man måler på (innretnings-, selskaps- eller sokkelnivå). RNNP har fokus på hele sokkelen. Ved tilsyn fokuserer man enten på innretnings- eller selskapsnivå og har dermed mindre datagrunnlag. Effekten påvirkes også av bruken av indikatoren.
- FS3 (pålitelighet): Dette forskningsspørsmålet omhandler hvordan kontekstuelle forhold kan påvirke påliteligheten av indikatoren i seg selv. Det vil med andre ord være fokus på om det finnes kontekstuelle forhold (organisasjon/kultur/kompetanse etc.) som kan påvirke målingen på en slik måte at vi kan/ikke kan stole på en indikator. Kontekstuelle forhold som kan hindre at informasjonen fra en indikator blir omsatt i handling/læring ligger utenfor omfanget av dette prosjektet.

Planer for litteratursøket (søkeressurser, avgrensning, søkeord) og litteraturgjennomgangen (inklusions- og eksklusjonskriterier) ble også diskutert. Dette er beskrevet i henholdsvis kapittel 3 og kapittel 4.

(Blank side)

3 Litteratursøk

Det har blitt gjennomført søk etter nyere litteratur om bruk av indikatorer i høyrisikoindustri. Formålet med søket har vært å identifisere hva litteraturen sier om dokumenterte sammenhenger mellom indikatorer og storulykkerisiko, hva litteraturen sier om effekter av bruk av indikatorer, samt hva litteraturen sier om forhold i omgivelsene eller konteksten som påvirker indikatorens pålitelighet (jf. kapittel 1.1).

3.1 Søkeressurser

Litteratursøkene ble gjennomført i Google Scholar og i Scopus. Førstnevnte ble brukt for å sikre god nok bredde i søkeresultatene (dvs. inkludering av både relevante forskningspublikasjoner og mer praktisk orienterte rapporter). Scopus, som er en resymé- og siteringsdatabase fra Elsevier, ble brukt for å sikre inkludering av eventuelle artikler/dokumenter som ikke fanges opp av søkene i Google Scholar.

Ptil undersøkte søkemotorer for publikasjoner gjennom SPE (Society for Petroleum Engineers), og kom fram til at One Petro kunne være en aktuell ekstra søkemotor. Det ble foretatt noen søk i One Petro, men relevante søkeresultater var allerede fanget opp av søkene i Google Scholar og/eller Scopus.

I tillegg til søkeresultatene fra Google Scholar og Scopus ble et artikkelutkast fremskaffet av Ptil inkludert i studien.

3.1.1 Google Scholar

Google Scholar søker blant et stort utvalg ulike dokumenttyper som bøker, journaler, websider, m.m., og søker over et antall ulike databaser samtidig. Søkeresultatene blir sortert etter relevans, der relevansen bestemmes ut fra antall siteringer. Dette kan imidlertid innebære at en må gjennomgå en stor mengde søkeresultater for å finne det man er ute etter.

Google Scholar inkluderer fulltekst artikler i de tilfeller der disse er tilgjengelig. Google Scholar kan også bli brukt for å finne patenter og sitater, men det ble valgt å utelukke disse funksjonene i dette litteratursøket.

Man kan foreta avanserte søk, noe som gjør det enkelt å inkludere eller utelate enkelte ord eller setninger, samt å begrense søket til en gitt tidsperiode. En svakhet er at Google Scholar kun godtar søkestrenger på opp til 256 tegn, og det garanteres ikke for at søk på entallsformen av et substantiv også dekker flertallsformen, eller omvendt. Dette medførte at planlagte kombinasjoner av søkeord måtte deles opp i flere ulike søk (jf. kapittel 3.4) og at det ble overlapp i søkeresultater mellom flere av disse.

Videre er det en svakhet at man ikke vet hvilke databaser man søker i, og at man ikke har mulighet til å sortere søkeresultatene etter forfatter, tittel, årstall, osv.

3.1.2 Scopus

Scopus er en omfattende database med innhold av stor vitenskapelig bredde. Databasen oppdateres daglig for å sikre tilgang til den nyeste forskningen innen de ulike fagfeltene, og en uavhengig ekspertgruppe utgjør en nemd som kvalitetssikrer kildene Scopus inkluderer. Søkeresultater dekker journaler, bøker, konferanse-papers og -artikler, patenter, m.m., og det oppgis lenker til artikler i fulltekst dersom de er tilgjengelige.

Scopus tillater betydelig lengre søkestrenger enn Google Scholar, noe som gjorde at flere søkeord kunne kombineres i hvert enkelt søk. Dersom man søker på entallsformen av et substantiv vil resultatene i Scopus også inkludere flertallsformen av ordet³.

For å begrense mengden søkeresultater til de mest relevante, ble søkene gjennomført som såkalte TITLE-ABS-KEY-søk, der man avgrenser søket til kun å inkludere dokumenter der søkeordene finnes i tittel, abstract og/eller nøkkelord.

3.2 Avgrensninger – språk og tidsperiode

Litteratursøkene ble gjennomført utelukkende med engelske søkeord. Norsk litteratur ble inkludert dersom denne dukket opp gjennom de engelske søkene, eller i den grad relevant litteratur på norsk henvises til eller er kjent av SINTEF og/eller Ptil.

Oppdragsbeskrivelsen angir at det skal gjennomføres en "litteraturstudie av nyere litteratur om bruk av indikatorer i høyrisikoindustri." På bakgrunn av dette, og med utgangspunkt i fagtidsskriftet Safety Science sin spesialutgave på sikkerhetsindikatorer fra 2009, ble det bestemt å inkludere litteratur som er publisert fra og med 2009.

3.3 Søkeord

Med utgangspunkt i formålet med og bakgrunnen for prosjektet (jf. kapittel 1.1 og 1.2) ble følgende tre nøkkelord vurdert som de mest relevante for litteratursøket: *indikatorer*, *storulykke* og *høyrisikoindustri*. Da indikatorer er et veldig generelt begrep som vil fange opp et for bredt utvalg av dokumenter ble det valgt søkeord som er noe mer spesifikke. Søkeordene for storulykke ble inkludert både i entall og flertall. Høyrisikoindustri kan omfatte mange industrier, men med utgangspunkt i eksemplene fra oppdragsbeskrivelsen valgte vi å inkludere søkeord som dekker petroleum, kjernekraft og luftfart. En oversikt over de ulike søkeordene er gjengitt i Tabell 1.

Tabell 1: Søkeord

Nøkkelord	Søkeord
<i>Indikatorer</i>	early warning indicators, risk indicators, safety indicators, safety performance indicators, leading indicators, proactive indicators, resilience based indicators
<i>Storulykke</i>	major accident(s), major incident(s), major hazard(s), atypical accident(s), atypical incident(s), atypical hazard(s), catastrophic event(s)
<i>Høyrisikoindustri</i>	high-risk industry, high-risk industries, petroleum industry, offshore industry, oil and gas industry, nuclear industry, nuclear power industry, aviation industry

³ Dette ble først erfart etter at litteratursøkene var gjennomført. De faktiske søkene som ble gjort i Scopus inkluderte derfor enkelte ord i både entalls- og flertallsform.

3.4 Søkestrenger

Samtlige søkestrenger inkluderte alle (7) søkeordene for indikatorer i kombinasjon med to eller flere av de andre søkeordene.

Grunnet begrensningen i antall tegn når man søker i Google Scholar (jf. kapittel 3.1.1), ble totalt 11 ulike søk gjennomført her (G1-G11). Syv av disse kombinerte søkeordene for indikatorer med ulike søkeord for storulykke (G1-G7), mens fire var kombinasjoner av søkeordene for indikatorer og ulike søkeord for høyrisikoindustri (G8-G11). Søkestrengene som ble brukt i Google Scholar er gjengitt i Tabell 2.

ID-numrene i blått indikerer kombinasjoner som inkluderer søkeordene for storulykke, mens ID-numrene i rødt indikerer kombinasjoner som inkluderer søkeordene for høyrisikoindustri.

Tabell 2: Søkestrenger i Google Scholar

ID	Søkestring
G1	"early warning indicators" OR "risk indicators" OR "safety indicators" OR "safety performance indicators" OR "leading indicators" OR "proactive indicators" OR "resilience based indicators" AND "major accident" OR "major accidents"
G2	"early warning indicators" OR "risk indicators" OR "safety indicators" OR "safety performance indicators" OR "leading indicators" OR "proactive indicators" OR "resilience based indicators" AND "major incident" OR "major incidents"
G3	"early warning indicators" OR "risk indicators" OR "safety indicators" OR "safety performance indicators" OR "leading indicators" OR "proactive indicators" OR "resilience based indicators" AND "major hazard" OR "major hazards"
G4	"early warning indicators" OR "risk indicators" OR "safety indicators" OR "safety performance indicators" OR "leading indicators" OR "proactive indicators" OR "resilience based indicators" AND "atypical accident" OR "atypical accidents"
G5	"early warning indicators" OR "risk indicators" OR "safety indicators" OR "safety performance indicators" OR "leading indicators" OR "proactive indicators" OR "resilience based indicators" AND "atypical incident" OR "atypical incidents"
G6	"early warning indicators" OR "risk indicators" OR "safety indicators" OR "safety performance indicators" OR "leading indicators" OR "proactive indicators" OR "resilience based indicators" AND "atypical hazard" OR "atypical hazards"
G7	"early warning indicators" OR "risk indicators" OR "safety indicators" OR "safety performance indicators" OR "leading indicators" OR "proactive indicators" OR "resilience based indicators" AND "catastrophic event" OR "catastrophic events"
G8	"early warning indicators" OR "risk indicators" OR "safety indicators" OR "safety performance indicators" OR "leading indicators" OR "proactive indicators" OR "resilience based indicators" AND "high-risk industry" OR "high-risk industries"
G9	"early warning indicators" OR "risk indicators" OR "safety indicators" OR "safety performance indicators" OR "leading indicators" OR "proactive indicators" OR "resilience based indicators"

AND "petroleum industry" OR "offshore industry" OR "oil and gas industry"

G10 "early warning indicators" OR "risk indicators" OR "safety indicators" OR "safety performance indicators" OR "leading indicators" OR "proactive indicators" OR "resilience based indicators" AND "nuclear industry" OR "nuclear power industry"

G11 "early warning indicators" OR "risk indicators" OR "safety indicators" OR "safety performance indicators" OR "leading indicators" OR "proactive indicators" OR "resilience based indicators" AND "aviation industry"

I Scopus ble to ulike søk gjennomført, der søkeordene for indikatorer ble kombinert med søkeordene for henholdsvis storulykke (S1) og høyrisikoindustri (S2). Søkestrengene som ble brukt i Scopus er gjengitt i Tabell 3.

ID-nummeret i blått indikerer kombinasjonen som inkluderer søkeordene for storulykke, mens ID-nummeret i rødt indikerer kombinasjonen som inkluderer søkeordene for høyrisikoindustri.

Tabell 3: Søkestrenger i Scopus

ID	Søkestreng
S1	"early warning indicators" OR "risk indicators" OR "safety indicators" OR "safety performance indicators" OR "leading indicators" OR "proactive indicators" OR "resilience based indicators" AND "major accident" OR "major accidents" OR "major incident" OR "major incidents" OR "major hazard" OR "major hazards" OR "atypical accident" OR "atypical accidents" OR "atypical incident" OR "atypical incidents" OR "atypical hazard" OR "atypical hazards" OR "catastrophic event" OR "catastrophic events"
S2	"early warning indicators" OR "risk indicators" OR "safety indicators" OR "safety performance indicators" OR "leading indicators" OR "proactive indicators" OR "resilience based indicators" AND "high-risk industry" OR "high-risk industries" "petroleum industry" OR "offshore industry" OR "oil and gas industry" OR "nuclear industry" OR "nuclear power industry" OR "aviation industry"

3.5 Søkeresultater

Mange av litteratursøkene endte med et stort antall søkeresultater. Dette gjaldt spesielt søkene i Google Scholar, der det ikke ble foretatt en avgrensning til søk kun i tittel, abstract og nøkkelord. Det ble derfor gjort en grovsortering hvor dokumenter som kun omtaler indikatorer indirekte (i bisetninger, referanselisten eller liknende) ble ekskludert. På samme måte ble alle dokumenter som verken omhandlet høyrisikoindustri eller storulykkerisiko ekskludert.

Tabell 4 viser en oversikt over totalt antall søkeresultater for hvert av søkene, samt hvor mange av disse som ble inkludert i den videre litteraturgjennomgangen.

Tabell 4: Søkeresultater

Antall	Google Scholar											Scopus	
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	S1	S2
Totalt	649	264	400	16	1	0	473	220	289	364	327	51 (64) ⁴	50 (56) ⁴
Inkludert	79	30	53	5	0	0	16	2	38	28	19	44	27

Merknad: Blant disse søkeresultatene er flere overlappende både mellom de ulike søkene i Google Scholar, mellom de ulike søkene i Scopus, og på tvers av søkene i henholdsvis Google Scholar og Scopus.

Antall *unike* søkeresultater er som følger:

- Fra Google Scholar: 146
- Fra Scopus: 60

Overlapp mellom Google Scholar og Scopus: 33

- Totalt: $(146 + 60 - 33) = 173^5$

En total oversikt over dokumentene finnes i Vedlegg A.

Dokumentene utgjør følgende dokumenttyper:

- Journalartikler (tidsskriftsartikler): 69
- Konferansepapers (konferanseartikler): 53
- Andre artikler: 9
- Bøker/bokkapitler: 8
- Rapporter: 6
- Doktoravhandlinger: 6
- Masteroppgaver: 15
- Annet (presentasjoner, offentlig høringer, m.m.): 7

⁴ Tallet i parentes inkluderer de sekundære søkeresultatene. Disse er dokumenter som ikke er tilgjengelige i Scopus-databasen, men som er hentet ut fra referanser som er funnet i Scopus.

⁵ Oversikten i Vedlegg A inneholder i tillegg et artikkelutkast framskaffet av Ptil, samt to dokumenter som er identiske med to andre dokumenter og som ble inkludert i to eksemplarer grunnet ulike titler på søkeresultatene. Antall dokumenter i Vedlegg A er derfor 176.

(Blank side)

4 Litteraturgjennomgang

I tillegg til de 173 dokumentene som ble inkludert etter grovsorteringen av resultatene fra litteratursøket (jf. kapittel 3.5), ble et artikkelutkast fremskaffet av Ptil. Disse 174 dokumentene ble vurdert i den videre litteraturgjennomgangen.

4.1 Inklusjons- og eksklusjonskriterier

Hovedkriteriet for at en gitt publikasjon skulle inkluderes i den videre analysen var at den skulle omtale minst én av de tre første forskningsspørsmålene (FS1-3). Videre var det et krav at den omhandlet høyrisikoindustri og at den er knyttet til storulykkerisiko.

Dersom ingen av FS1-3 var berørt av publikasjonen, ble den ekskludert. Det samme gjaldt dersom publikasjonen ikke ble vurdert å være relevant for høyrisikoindustri og storulykker.

I tillegg ble 26 av dokumentene ekskludert uten videre gjennomgang, da disse ikke var tilgjengelige i fulltekst (kun abstract). Disse er typisk konferansepapers som ikke har blitt trykket i fulltekst. Ett dokument ble også fjernet som følge av at fulltekst kun foreligger på kinesisk (kun abstract på engelsk)⁶.

4.2 Systematisering av funn fra litteraturen

Relevante utdrag fra søkerresultatene er presentert i Vedlegg C, og sortert etter forskningsspørsmålene, henholdsvis FS1, FS2 og FS3. Nummereringen som er benyttet for de ulike dokumentene er kun basert på rekkefølgen av søkerresultatene. Nummereringen følger derfor ikke en kronologisk eller alfabetisk rekkefølge.

Følgende 49 dokumenter omtaler sammenhengen mellom indikatorer og storulykkerisiko, og er derfor relevante for besvarelsen av forskningsspørsmål 1:

1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 18, 21, 22, 25, 28, 29, 33, 35, 38, 41, 43, 47, 49, 50, 54, 55, 57, 72, 75, 79, 94, 104, 116, 133, 137, 138, 141, 145, 158, 163, 166, 170, 173, 174, 175 og 176⁷

Følgende 45 dokumenter omtaler effekter ved bruk av indikatorer, og er derfor relevante for besvarelsen av forskningsspørsmål 2:

1, 2, 4, 5, 10, 13, 14, 16, 17, 21, 25, 26, 29, 31, 32, 33, 35, 38, 40, 45, 46, 49, 50, 51, 55, 63, 72, 85, 88, 91, 92, 95, 99, 102, 103, 119, 127, 128, 131, 133, 135, 137, 163, 174 og 175⁷

Følgende 16 dokumenter omtaler forhold i omgivelsene eller konteksten som påvirker indikatorens pålitelighet, og er derfor relevante for besvarelsen av forskningsspørsmål 3:

4, 5, 10, 17, 22, 25, 28, 29, 35, 41, 72, 119, 121, 131, 141 og 174

Av de 49, 45 og 16 dokumentene som omtaler hhv. FS1, FS2 og FS3 er det flere som berører to eller alle forskningsspørsmålene. Dermed er det totalt 72 dokumenter som berører ett eller flere av forskningsspørsmålene FS1-3 (ikke summen av 49, 45 og 16, som blir 110).

⁶ Hvilke 27 dokumenter som ikke har blitt inkludert i gjennomgangen framgår av oversikten i Vedlegg C.

⁷ Se Vedlegg A for angitte nummereringer.

4.3 Dokumenter som underbygges av studier eller konkrete eksempler

Svært mange av de relevante søkeresultatene presenterer ubegrunnede påstander knyttet til de aktuelle temaene, mens 25 publikasjoner viser til egne eller andres studier og/eller konkrete eksempler som underbygger påstander relevant for forskningsspørsmålene FS1, FS2 og/eller FS3.

Tabell 5 gir en oversikt over disse 25 publikasjonene. Tabellen skiller seg altså fra oversikten i Vedlegg A, som presenterer samtlige dokumenter som berører forskningsspørsmålene i en eller annen grad.

Tabell 5: Dokumenter som underbygges av studier eller konkrete eksempler

Nr.	Tittel	Dokumenttype	FS1	FS2	FS3	Referanse
1	Building safety indicators: Part 1– theoretical foundation	Journalartikkel		×		Øien m.fl. (2011a)
4	Monitoring major accident risk in offshore oil and gas activities by leading indicators	Konferansepaper	×			Thorsen og Njå (2014)
7	Organisational safety indicators: Some conceptual considerations and a supplementary qualitative approach	Journalartikkel	×			Kongsvik m.fl. (2010)
11	Prevention of atypical accident scenarios through the use of resilience based early warning indicators	Konferansepaper	×			Paltrinieri m.fl. (2012a)
13	Proactive indicators of risk in remote operations of oil and gas fields	Konferansepaper	×	×		Johnsen m.fl. (2010)
14	Proactive indicators to control risks in operations of oil and gas fields	Journalartikkel	×	×		Johnsen m.fl. (2012)
17	Risk indicators for major hazards on offshore installations	Journalartikkel	×		×	Vinnem (2010)
29	Use of Risk Indicators for Major Hazard Risk	Bokkapittel			×	Vinnem (2014)
31	Identification of Global Indicators for Regulatory Risk Management in Production Platforms-Case Study of Brazilian Industry	Journalartikkel		×		de Almeida og de Figueiredo (2014)
32	Using leading indicators to measure occupational health and safety performance	Journalartikkel		×		Sinelnikov m.fl. (2015)
35	Proactive safety performance indicators	Doktoravhandling	×	×		Herrera (2012)
49	Proposing safety performance indicators for helicopter offshore on the Norwegian Continental Shelf	Konferansepaper	×	×		Herrera m.fl. (2014)
54	Psychosocial risks and hydrocarbon leaks: an exploration of their relationship in the Norwegian oil and gas industry	Journalartikkel	×			Bergh m.fl. (2014)
57	Safety climate and hydrocarbon leaks: An empirical contribution to the leading-lagging indicator discussion	Journalartikkel	×			Kongsvik m.fl. (2011)
72	Monitorering av storulykkesrisiko i	Masteroppgave	×		×	Thorsen (2013)

Nr.	Tittel	Dokumenttype	FS1	FS2	FS3	Referanse
	drift av offshore installasjoner. En studie av ledende indikatorer.					
79	Analysis of root causes of major hazard precursors (hydrocarbon leaks) in the Norwegian offshore petroleum industry	Journalartikkel	×			Vinnem m.fl. (2010)
94	An intelligent monitoring system to predict potential catastrophic incidents	Doktoravhandling	×			Painting (2014)
104	Exploring the relationship between major hazard, fatal and non-fatal accidents through outcomes and causes	Journalartikkel	×			Bellamy (2015)
128	Guidance for safety performance indicators	Journalartikkel		×		Louvar (2010)
131	Aviation safety and maintenance under major organizational changes, investigating non-existing accidents	Journalartikkel		×		Herrera m.fl. (2009)
141	Framework, Safety Performance Indicators	EU-rapport			×	Roelen m.fl. (2014)
145	Sailing on Friday: Developing the link between safety culture and performance in safety-critical systems	Journalartikkel	×			Grabowski m.fl. (2010)
166	Proactive Resilience Based Indicators: The Case of the Deepwater Horizon Accident	Konferansepaper	×			Øien og Nielsen (2012)
175	Proactive Indicators for Managing Major Accident Risk in Integrated Operations - A Risk and Barrier Based Method Addressing Technical and Operational Factors	Rapport		×		Okstad m.fl. (2013)
176	Process safety indicators, a review	Journalartikkel	×			Swuste m.fl. (2014)

Disse 25 dokumentene er vektlagt i gjennomgangen av funn og resultater i kapittel 5, men også andre av de totalt 72 dokumentene som berører FS1-3 er henvist til.

(Blank side)

5 Resultater og diskusjon

De ulike funnene i litteraturen relatert til forskningsspørsmålene FS1-3 er beskrevet i henholdsvis kapittel 5.1 (validitet), 5.2 (effekt) og 5.3 (pålitelighet).

Disse kapitlene presenterer først en oversikt over:

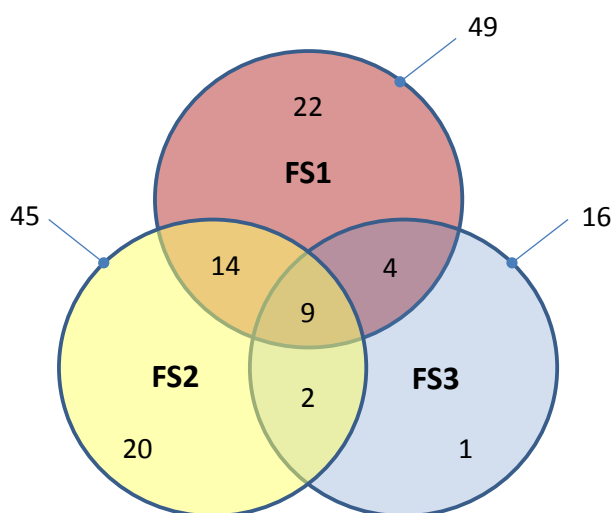
- antall søkeresultater som berører temaet for forskningsspørsmålet
- antall av disse som har undersøkt problemstillingen nærmere gjennom egne studier, viser til studier utført av andre og/eller viser til konkrete eksempler
- antall dokumenter av hver dokumenttype
- antall dokumenter som tar for seg forskningsspørsmålet som hovedtema

Deretter gir kapitlene en tematisk gjennomgang av funnene fra litteraturen som besvarer de respektive forskningsspørsmålene.

Kapittel 5.4 er en besvarelse av forskningsspørsmål FS4 (implikasjoner av resultatene), og er basert på funnene fra de øvrige tre kapitlene.

Figur 1 viser en oversikt over antall dokumenter som ligger til grunn for resultatene i kapittel 5.1, 5.2 og 5.3. Dette er som tidligere nevnt 72 dokumenter (og fremkommer av figuren som: $22+20+1+14+4+2+9$).

Figuren angir også antall dokumenter som berører to eller alle tre forskningsspørsmålene. Dette er henholdsvis 20 ($14+4+2$) og 9 dokumenter.



FS1 – Sammenhenger mellom indikatorer og storulykkerisiko

FS2 – Effekter av bruk av indikatorer

FS3 – Forhold som påvirker indikatorens pålitelighet

Figur 1: Antall inkluderte dokumenter for hvert av forskningsspørsmålene (samt dokumenter som dekker flere av forskningsspørsmålene)

5.1 Sammenhenger mellom indikatorer og storulykkerisiko – forskningsspørsmål 1

Bellamy og Sol (2012) hevder i sin rapport at styrken på sammenhengen mellom indikatorer og sikkerhet ikke er kjent generelt sett. De henviser til en annen rapport fra HSE HSL (Sugden m.fl., 2007) som konkluderer med at det er mangel på litteratur knyttet til suksess eller motsatt av sikkerhetsindikatorer: "De fleste ytelsesindikatorerne ser ut til å ha blitt utviklet under fravær av noe underliggende rasjonale eller helhetlig modell. Det er noen antydninger til at bruk av ytelsesindikatorer fører til forbedring i systemsikkerhet, men ingen konkrete bevis for dette".

Dette reflekterer utfordringen som ligger i forskningsspørsmål 1.

I alt 49 av de 72 dokumentene som ble analysert videre i studien omtaler i større eller mindre grad sammenhengen mellom indikatorer og storulykkerisiko (jf. kapittel 4.2).

Blant de 49 dokumentene har følgende 17 undersøkt problemstillingen nærmere gjennom egne studier, viser til studier utført av andre og/eller viser til konkrete eksempler (jf. kapittel 4.3):

Journalartikler (9):	# 7, 14, 17, 54, 57, 79, 104, 145, 176
Doktoravhandlinger (2):	# 35, 94
Konferansepapers (5):	# 4, 11, 13, 49, 166
Masteroppgaver (1):	# 72

Blant disse kan 11 sies å være godt kvalitetssikrede fagtekster (journalartikler og doktoravhandlinger), mens de øvrige 6 ikke har vært gjennom tilsvarende kvalitetssikring/"review" (konferansepapers og masteroppgaver).

De 17 dokumentene som er listet over tar for seg sammenhengen mellom indikatorer og storulykkerisiko som underordnet tema, men kun følgende tre dokumenter har denne problemstillingen som hovedtema:

#4 *Monitoring major accident risk in offshore oil and gas activities by leading indicators* (Thorsen og Njå, 2014)

Dette er et konferansepaper som beskriver resultatene fra studien som ble gjennomført i Thorsens masteroppgave (#72), og som ble presentert på Probabilistic Safety Assessment and Management (PSAM) konferansen i 2014. Resultatene fra disse to dokumentene (#4 og #72) presenteres samlet.

#72 *Monitorering av storulykkesrisiko i drift av offshore installasjoner. En studie av ledende indikatorer* (Thorsen, 2013)

Dette er en masteroppgave der problemstillingen handler om hvilke ledende indikatorer som har potensial for å predikere storulykkerisiko i drift av offshoreinstallasjoner. En forstudie viser til manglende korrelasjoner mellom Total Recordable Incident Frequency (TRIF) og Fatal Accident Rate (FAR), og konkluderer på bakgrunn av dette med at TRIF og andre tall på arbeidsulykker ikke predikerer storulykkerisiko. Videre er det gjort intervjuer, analyser av granskningsrapporter og gjennomgang av eksisterende litteratur for å identifisere ledende indikatorer som gir et valid bilde av storulykkerisikoen.

#176 *Process safety indicators, a review* (Swuste m.fl., 2015)

Dette er et utkast til en journalartikkel. Som tittelen indikerer, presenterer artikkelen en gjennomgang av eksisterende litteratur om indikatorer for prosessikkerhet. Målet med studien er å finne ut av hvorvidt indikatorer kan si noe om nåværende og fremtidig sikkerhetsnivå til en prosess eller et selskap, og i så fall hvilke indikatorer det gjelder. Konklusjonen er at indikatorer synes å gi en slik

innsikt, men at bekreftelse gjennom empiriske studier er nødvendig.

Resten av dette kapitlet gir en tematisk gjennomgang av hva litteraturen sier om dokumenterte sammenhenger mellom indikatorer og storulykkerisiko – forskningsspørsmål 1 (jf. kapittel 1.1). Temaene er som følger:

1. Sammenheng gjennom korrelasjoner
2. Logisk forklarte sammenhenger (versus kun antakelser)
3. Sammenheng gjennom retrospektiv analyse av ulykker

Kun de mest relevante funnene er tatt med.

5.1.1 Sammenheng gjennom korrelasjoner

Storulykker inntreffer (heldigvis) svært sjelden, noe som innebærer at storulykkerisiko ikke kan måles i antall reelle ulykker. Sammenheng mellom indikator og risiko må dermed påvises gjennom korrelasjon mellom indikatoren og "mellomliggende" størrelser, som for eksempel nestenulykker.

I en journalartikkel av Vinnem (2010) vises det til at flere forsøk har blitt gjort på å analysere ulike datakilder med den hensikt å avdekke sammenhenger som kan forklare mulige rotårsaker til hendelser som skjer forut for en storulykke. Vinnem m.fl. (2010) peker i en annen journalartikkel på at tidligere forsøk ikke har presentert overbevisende resultater. Selv brukte de lineær regresjon til å analysere ulike typer data mot frekvensen av hydrokarbon-lekkasjer. Av analyserte barrierer var det kun antall feil i tester av ESD-ventiler (nødavstengningsventiler) som viste signifikant korrelasjon med antall lekkasjer. Studien kunne ikke konkludere med signifikant korrelasjon for verken alvorlige skader, fallende objekter eller alder på installasjoner. Det ble vist en positiv korrelasjon mellom støynivå og lekkasjefrekvensen, noe forfatterne mente kunne forklares på ulike måter.

Det viktigste funnet fra analysene var imidlertid at det ble påvist signifikante korrelasjoner mellom antall lekkasjer og ulike faktorer som beskriver sikkerhetsklimaet eller sikkerhetskulturen. Disse faktorene er basert på data fra over 28.000 spørreskjemaesvarer samlet inn på fire ulike tidspunkt mellom 2002 og 2008 knyttet til prosjektet Risikonivå i norsk petroleumsvirksomhet (RNNP). Spørreskjemaene dekket en rekke spørsmål knyttet til verdier i organisasjonen, personlige holdninger, organisering, ledelse, planlegging, korrigeringer, bruk av prosedyrer, kompetanse, samt tid som brukes på arbeidsoppgavene. Konklusjonen er at mange av rotårsakene til hydrokarbonlekkasjer, og følgelig til potensielle storulykker, kan finnes gjennom å anvende spørreundersøkelser knyttet til sikkerhetsklimaet. Denne publikasjonen diskuterer ikke indikatorer direkte, men basert på de klare funnene gjennom regresjonsanalysen kan det argumenteres for at indikatorer som dekker faktorene for sikkerhetsklimaet kan si noe om storulykkerisikoen (Vinnem m.fl., 2010).

Også andre publikasjoner har tatt for seg sikkerhetsklima som tema for å kunne forutse storulykker. Én av disse er en journalartikkel av Kongsvik m.fl. (2010), som ser på sikkerhetsklima gjennom et sett av organisatoriske faktorer: arbeidspraksis, kompetanse, prosedyrer og dokumenter, kommunikasjon, arbeidsbelastning og fysiske omgivelser, ledelse og endringsledelse. Det hevdes her at korrelasjoner som er funnet mellom sikkerhetsklima og sikkerhetsnivå/sikkerhetsytelse er moderate, svake eller ikke-eksisterende. Forfatterne argumenterer med at bruken av indikatorer innebærer en forståelse av sikkerhet som en variabel som kan brytes ned i ulike komponenter, noe som gir mening dersom man snakker om konkrete, fysiske objekter. Senere publiserte imidlertid Kongsvik m.fl. (2011) en journalartikkel som presenterte studier som tilsammen viser statistisk signifikante korrelasjoner mellom sikkerhetsklima og sikkerhetsytelse. Indikatoren for sikkerhetsklima som er brukt i studien er del av en intern undersøkelse av arbeidsforholdene i Statoil, kalt Global People Survey. Seks faktorer som ble trukket fram var holdning til lederen, gruppekommunikasjon, sikkerhets- og ansvarsfordeling, kompetanse og helse og arbeidsbelastning.

Forfatterne konkluderer med at korrelasjonene støtter hypotesen om at sikkerhetsklima er en valid ledende indikator.

En studie har blitt gjort av et stort norsk oljeselskap, der man har tatt utgangspunkt i antall hydrokarbonlekkasjer ved offshore installasjoner i perioden 2010 – 2011 (journalartikkel: Bergh m.fl., 2014). Regresjonsanalyser viste at kun den psykososiale risikoindikatoren hadde stor påvirkning på variasjonen i lekkasjer. Indikatoren er basert på data fra en årlig medarbeiderundersøkelse på psykososiale færemomenter og arbeidsmiljø, og inkluderer informasjon om arbeidsmengde, mål, samarbeid, forhold til og støtte fra kolleger, planlegging av arbeid, tilstrekkelig og tilgjengelig støtte fra leder, med mer. Studien undersøkte også tekniske forhold, men sammenhengen mellom disse og hydrokarbonlekkasjene ble bare delvis støttet av korrelasjonsanalysene. Dette underbygger til en viss grad funnene til Vinnem m.fl. (2010) som beskrevet ovenfor.

Tilsvarende brukte Grabowski m.fl. (2010) i sin journalartikkel data fra sikkerhetskulturundersøkelser ved tre ulike industripartnere over en toårsperiode til å identifisere potensielle sikkerhetsfaktorer eller ledende indikatorer. Analyser av de ulike faktorene ble gjennomført, og klare korrelasjoner med sikkerhetsytelsen bidro til å identifisere de viktigste indikatorene. Det ble påvist signifikante korrelasjoner med sikkerhetsytelsen for blant annet følgende faktorer: kommunikasjon, identifikasjon av problemer, tilbakemeldinger fra fartøy, fartøys ansvar, myndighet, anonym rapportering og individuelle tilbakemeldinger.

Andre hevder at det å bruke gitte metoder kan bidra til å identifisere valide indikatorer. I et konferansepaper argumenterer Herrera m.fl. (2011) med at indikatorer som er identifisert gjennom FRAM-metoden (Functional Resonance Analysis Method) er ledende indikatorer som de hevder viser korrelasjoner til suksessfulle operasjoner. Disse indikatorene er identifisert ut fra både tekniske og operasjonelle faktorer, samt faktorer knyttet til vær og andre forhold. Painting (2014) viser i sin doktoravhandling til en annen publikasjon som bruker Six Sigma-metodikk for å kartlegge og identifisere indikatorer og korrelasjonen mellom indikatorene og hendelser.

Når det gjelder korrelasjon mellom arbeidsulykker og storulykker har det lenge vært "opplest og vedtatt" at arbeidsulykker og storulykker er av så ulik natur at arbeidsulykker ikke kan benyttes som indikator for storulykker. Hopkins (2009) hevder i sin journalartikkel at forskjellen ligger i at de utgjør ulike typer farer/farekilder. Han henviser også til at en rekke forskere konkluderer med at det å stole på personskadestatistikk ikke vil redusere storulykkerisikoen. Flere storulykker har validert denne konklusjonen, blant annet BP Texas City-ulykken i 2005, Longford-ulykken i 1998 og Deepwater Horizon-ulykken i 2010. Alle de ansvarlige organisasjonene hadde utmerket sikkerhetsstatistikk med hensyn til personskader før ulykkene (f.eks. CSB, 2007; Hopkins, 2000). I en nylig utgitt journalartikkel bestrider imidlertid Bellamy (2015) dette, og hun mener tvert imot at arbeidsulykker og storulykker kan være knyttet til samme fare/farekilde, og dersom man forholder seg til én og samme fare/farekilde, så vil det være korrelasjon mellom antall mindre alvorlige hendelser (arbeidsulykker) og prosessikkerhetsulykker (storulykker). Dette er blant annet basert på en gjennomgang av mer enn 23.000 alvorlige arbeidsulykker i Nederland over en tiårsperiode (1998-2009).

Uten at de sorterer hendelsene etter farer/farekilder, så konkluderer Textoris og Tanzi (2013) i sitt konferansepaper generelt med at selskapet har forbedret arbeidsulykkesfrekvensen, på grunn av sin nullvisjon, men samtidig har antall dødsulykker faktisk økt. Kontroll med de hyppigste hendelsene er ikke tilstrekkelig til å redusere effekten av ulykker. Dette er i tråd med Hopkins (2009). Det samme gjelder Thorsens (2013) masteroppgave og Thorsen og Njå (2014) sitt konferansepaper som konkluderer med at reaktive indikatorer som TRIF (Total Recordable Incident Frequency) og LTIF (Lost-Time Incident Frequency) ikke predikerer storulykkerisiko. Også journalartikler av Knijff m.fl. (2013), Vinnem (2010) og Harms-Ringdahl (2009) understøtter konklusjonen til Hopkins (2009).

5.1.2 Logisk forklarte sammenhenger (versus antakelser)

Dersom storulykkerisikoen blir modellert via en totalrisikoanalyse av potensielle ulykker, vil man kunne etablere indikatorer hvor det er en logisk sammenheng mellom indikatoren og risikoen for storulykke, uten at man er avhengig av reelle ulykker (journalartikkel: Øien m.fl., 2011a). Det vil da være mulig å fastslå effekten av en endring i et risikopåvirkende forhold (målt via indikatorer) på risikoen for storulykker. Dette berører også forskningsspørsmål 2, jf. kapittel 5.2.1.

Det kan være hensiktsmessig å betegne denne typen av indikatorer for risikoindikatorer eller risikobaserte indikatorer og skille dem fra indikatorer som ikke benytter en risikomodell som underlag for å beskrive sammenhengen mellom indikatorene og risikoen for storulykker. Slike indikatorer kan mer korrekt betegnes sikkerhetsindikatorer og de forholdene de påvirker betegnes sikkerhetspåvirkende forhold (Øien m.fl., 2011a). Disse velges ut fra en antatt effekt på sikkerheten, eller basert på påviste korrelasjoner, jf. kapittel 5.1.1.

Øien m.fl. (2011a) viser til at operasjonelle og organisatoriske sikkerhetsindikatorer i liten grad har blitt koblet til en risikomodell for å kvantifisere effekten av risikonivået (fordi risikoanalysen hovedsakelig inkluderer tekniske forhold), og at forholdet mellom disse indikatorene og risikonivået derfor er uklart. Tekniske risikoindikatorer er derimot utarbeidet gjennom detaljerte studier av gitte problemområder. Disse måler en endring, for eksempel i ventiler, der effekten på risikoen evalueres gjennom installasjonsspesifikke risikoanalyser. Dette betyr at man kan fastslå sammenhengen mellom denne typen indikatorer og sikkerheten eller risikoen.

Eksempler på indikatorer som gjennom en totalrisikoanalyse viser sammenheng mellom indikator og storulykke, og hvor effekten dermed kan fastsettes, er ikke-antente hydrokarbonlekkasjer (journalartikkel: Skogdalen m.fl., 2011a; uttalelse: Nistov, 2012), og brønnsparke/"kick" (arbeidsdokument: Skogdalen m.fl., 2011b).

I et bokkapittel konkluderer Vinnem (2014) generelt med at alle RNNP-indikatorene nær den skarpe enden er naturlig valide indikatorer for storulykkerisiko. Hendelsesindikatorene er nært knyttet til utfallet av en fare og er derfor selvsagt valid, hevder han. Videre hevder han også at barriereindikatorene som er benyttet er nær den skarpe enden ved at de i stor grad påvirker hendelseskjeden. Vektene som er benyttet for hendelses- og barriereindikatorene gjenspeiler deres påvirkning på den totale risikoen.

dos Santos Grecco m.fl. (2014) hevder imidlertid i et konferansepaper at utfordringen med bruk av reaktive sikkerhetsytelsesindikatorer for monitorering av gjeldende sikkerhetsnivå, er den uklare årsakssammenhengen mellom tidligere hendelser og nåværende sikkerhetsnivå.

I en journalartikkel beskriver og sammenligner Øien (2013) styrker og svakheter med ulike fremgangsmåter for å utvikle indikatorer som kan gi tidlig varsel ("early warnings"). Fremgangsmåtene som ble sammenlignet var metoder basert på sikkerhetsytelse, risikobaserte metoder, hendelsesbaserte metoder og resiliensbaserte metoder, og relevans for storulykkerisiko var et av sammenligningsgrunnlagene. Mens det for resiliensbaserte indikatorer og indikatorer som er basert på sikkerhetsytelse kan være vanskelig å fastslå en sammenheng med storulykkerisiko, kan sammenhengen for risikobaserte indikatorer påvises/begrunnes gjennom risikoanalysen. Indikatorer som er basert på hendelser med storulykkepotensiale har en åpenbar sammenheng med storulykkerisiko. Denne sammenligningen er også presentert i et av vedleggene i en rapport av Okstad m.fl. (2013). Validitet er kun et av flere forhold som vurderes for de ulike fremgangsmåtene, og det er kun gjort en grov vurdering av disse forholdene.

Tilsvarende, som Øien (2013), gir en annen rapport en sammenligning av risikobaserte og sikkerhetsytelsesbaserte indikatorer (Tinmannsvik m.fl., 2013). Her forklares det at risikobaserte indikatorer er koblet til en

risikomodel, og at man gjennom å bruke denne modellen kan estimere hvordan en endring i indikatoren vil påvirke risikoen. Sikkerhetsytelsesbaserte indikatorer baseres derimot på antagelser om at de er viktige for sikkerheten. En slik antagelse kan baseres på fornuftige argumenter og relativt åpenbare kausale sammenhenger, men den er ikke basert på en risikomodel, og det er dermed ikke mulig å kvantifisere den antatte effekten på risikoen.

Sutton (2013) viser i sin bok til antall feltbesøk og inspeksjoner som eksempel på en ledende indikator hvor en økning i aktiviteten (antall besøk/inspeksjoner) vil, *antas* det, føre til en forbedring i prosessikkerheten.

Roelen m.fl. (2014) skriver i en EU-rapport, om et rammeverk for sikkerhetsindikatorer, at det ikke er urimelig å *anta* at det er en positiv sammenheng mellom et korrekt fungerende organisasjonssystem og luftfartssikkerhet. Rammeverket tar derfor utgangspunkt i at man kan måle hvor godt organisasjonssystemet fungerer ved hjelp av sikkerhetsindikatorer.

I likhet med Øien m.fl. (2011a), viser et konferansepaper av Roelen og Klompstra (2012) til at vanskeligheten med mange ledende indikatorer er at de er assosiert med organisatoriske og ledelsesmessige forhold som er vanskelig å kvantifisere og hvor relasjonen til ulykkesrisiko er mindre åpenbar.

I et konferansepaper presenterer imidlertid Haugen m.fl. (2011) en modell for utvikling av storulykkeindikatorer som identifiseres ved hjelp av en risikomodel. Det hevdes her at risikomodelen inkluderer relevante forhold som påvirker storulykkerisikoen, inklusive menneskelige og organisatoriske forhold, og at den også beskriver hvordan disse forholdene påvirker hverandre. Forfatterne argumenterer med at storulykkerisikoen kan vurderes gjennom jevnlig oppfølging av disse indikatorene.

Det å påvise en sammenheng mellom indikator og storulykkerisiko, samt "styrken" i denne sammenhengen (effekten), ved å ta utgangspunkt i en risikoanalyse, er ikke det samme som å påstå at en indikator kan predikere en storulykke. På spørsmålet om hvordan vi vet at en bestemt indikator kan predikere en storulykke svarer Robertson (2012) i en uttalelse at dette er en vanlig misforståelse når det gjelder bruken av ledende indikatorer til ulykkesforebygging. "Det finnes ingen måter å identifisere en måleverdi/indikator på, som pålitelig kan predikere et bestemt fremtidig utfall; ikke forsøk engang".

Et eksempel på dette er journalartikkelen til Kadri m.fl. (2014), som beskriver at en av deres store utfordringer er å identifisere meningsfulle ledende indikatorer som kan *predikere* når en storulykke kan være nært forestående for å forhindre at den inntreffer.

Robertson (2012) sier videre at tilstedeværelsen av tilstander som ikke-testede barrierer, dårlig vedlikeholdt utstyr, utdaterte prosedyrer, utilstrekkelig eller ukvalifisert personell, utilstrekkelig kvalitetskontroll, ikke-kontrollerte farer, overstressede arbeidere, og dårlig forberedte arbeidsledere er alle eksempler på anerkjente forvarslere til ulykker. Dette er grunnen til at fokuset for ledende indikator-program bør være på funksjonaliteten til de elementer som skal sørge for sikre driftsbetingelser. Disse elementene er personell, prosesser og utstyr, som alle kan monitoreres og de ulykkesfremmende forholdene/tilstandene (nevnt ovenfor) kan predikeres rimelig pålitelig.

For at indikatorene skal fortsette å være valide må det også tas hensyn til endringer i betingelsene (organisasjon, personell, mål og farer/farekilder). Indikatorene bør derfor justeres/endres over tid.

5.1.3 Sammenheng gjennom retrospektiv analyse av ulykker

En annen fremgangsmåte som har blitt brukt for å påvise/underbygge en sammenheng mellom indikatorer og storulykkerisikoen er å analysere indikatorene ved å benytte eksisterende ulykkes- eller hendelsesrapporter.

Retrospektiv analyse av ulykker som bekrefter en sammenheng

Proactive Resilience Based Indicators: The Case of the Deepwater Horizon Accident er et konferansepaper av Øien og Nielsen (2012) som konkluderer med at metoden for resiliensbaserte "early warning" indikatorer (REWI) har blitt vellykket anvendt på Deepwater Horizon (DWH)-ulykken. REWI-metoden er et sett av selvevaluerings-mål som gir informasjon om grunnleggende egenskaper (attributter) ved den organisatoriske resiliensen. Disse egenskapene/attributtene betegnes "bidragende suksessfaktorer" (CSF – Contributing Success Factors). Disse er: risikoforståelse, forventning, oppmerksomhet, respons, robusthet, ressursstyrke/handlingskraft/-hurtighet, beslutningsstøtte og redundans. For hver CSF definerer metoden et sett av generelle forhold/tema, og det er disse som følges opp av de REWI-baserte indikatorene. En kartlegging av forhåndsdefinerte (kandidat-) forhold mot direkte årsaker til DWH-ulykken viste at man kunne fått tidlige signaler dersom de respektive forholdene hadde blitt fulgt opp gjennom bruk av relevante indikatorer. Dersom disse tidlige signalene videre hadde ført til (riktig) respons, ville man ved bruk av REWI-metoden kunne forhindre denne ulykken.

Det siste poenget om at et indikatorvarsel krever en adekvat respons, er også fremhevet i et arbeidsdokument og en journalartikkel av Leveson (2013; 2015), som sier at utfordringen er å skille mellom viktige signaler og støy, da de fleste ulykker har mange forvarslar.

Også Paltrinieri m.fl. (2012a) har i et konferansepaper anvendt REWI-metoden på en faktisk storulykke, og argumenterer med at Buncefield-ulykken i 2005 med stor sannsynlighet kunne vært unngått dersom man hadde benyttet REWI-metoden riktig, og respondert riktig basert på tidlige signaler som indikatorene ville gitt. Indikatorene som ble identifisert i det gjennomgåtte eksempelet er knyttet til inspeksjon og vedlikehold, ansattes kompetanse, prosedyrer, instrument og alarmer, design av anlegget, kommunikasjon og arbeidstiltalelse.

Basert på en gjennomgang av 28 granskningsrapporter har Johnsen (2009) i sitt konferansepaper konkludert med at det er tre viktige forhold som går igjen i ulykker: dårlig design og validering av utstyr, utilstrekkelige risikoanalyser av sikkerhetskritiske operasjoner, og avvik fra etablerte prosedyrer. Basert på hva gjennomgangen av granskningsrapportene viste, ble det utarbeidet flere ulike proaktive indikatorer, og det argumenteres med at en systematisk utforskning av disse indikatorene kunne bidratt til å forhindre en del av ulykkene.

Andre som viser mer generelt til etterpåklokskap fra storulykker og sier at indikatorer kunne gitt tidlige signaler og kanskje avverget ulykkene inkluderer Øien m.fl. (journalartikkel: 2011a), Herrera (doktoravhandling: 2012), Johnsen m.fl. (konferansepaper: 2010), Johnsen m.fl. (journalartikkel: 2012) og Carvalho m.fl. (konferansepaper: 2009).

Retrospektiv analyse av ulykker som i liten grad bekrefter en sammenheng

Thorsen (2013) konkluderte i sin forstudie til masteroppgaven med at indikatorer som TRIF ikke er gode mål på storulykkerisiko (jf. kapittel 5.1.1). I det videre arbeidet med å finne indikatorer som gir et mer valid bilde av storulykkerisikoen på en offshoreinstallasjon ble ulike datakilder benyttet. I tillegg til intervjuer med 12 personer tilknyttet ni av Statoils installasjoner og en omfattende gjennomgang av tidligere forskning, gjennomførte Thorsen analyser av fem granskningsrapporter tilknyttet seks ulike hydrokarbonlekkasjer. Det ble identifisert hvilke indikatorer som vektlegges i sikkerhetsarbeidet i Statoil, i tillegg til en rekke risikoforhold som anses å påvirke storulykkerisikoen. Analysene av granskningsrapportene avslørte at flere av de bakenforliggende årsakene til gasslekkasjene ikke ville blitt fanget opp av indikatorer som var i bruk i Statoil. Tidligere forskning ble benyttet til å identifisere indikatorer tilknyttet de risikopåvirkende forholdene som ble identifisert gjennom intervjuene og granskningsrapportene. Alle indikatorene ble deretter evaluert opp mot noen utvalgte kriterier. Det var imidlertid få av indikatorene som individuelt scoret høyt i forhold til disse kriteriene, noe som er med å bekrefte utfordringen med å finne gode ledende indikatorer, som kan varsle om endringer i risikonivået på en offshore-innretning.

Avslutningsvis, knyttet til diskusjonen om valide indikatorer, tas det med fra en journalartikkel av Øien m.fl. (2011b) at ved utvikling av sikkerhetsindikatorer så vil det være en avveining mellom å fokusere på direkte indikatorer (reaktive, resultatbaserte indikatorer) hvor det behøves tilstrekkelig med data for at de skal være meningsfulle, og det å fokusere på indirekte indikatorer (proaktive, ledende indikatorer) som har mindre direkte relevans for sikkerheten, men som kan gi tidlig varsel. Et for sterkt fokus på validitet kan gå ut over muligheten for å få tidlig varsel. (Det "beste" må ikke bli det godes fiende.)

Nistov (2012) og Vinnem (2014) understreker at én indikator alene ikke er tilstrekkelig, man må ha et sett med indikatorer. Sann sett er det ikke tilstrekkelig at én eller noen få indikatorer er valide individuelt; det er settet av indikatorer som må være valid og vise en klar sammenheng med storulykkerisiko. Reinman og Pietikäinen (journalartikkel: 2010), Whewell (offentlig høring: 2012), Thorsen (masteroppgave: 2013) og Lofquist m.fl. (journalartikkel: 2011) er inne på det samme. Utfordringen er å ha individuelt valide indikatorer som kollektivt er dekkende (journalartikkel: Skogdalen m.fl., 2011a; doktoravhandling: Skogdalen, 2011; journalartikkel: Øien m.fl., 2011b).

Reiman og Pietikäinen (2012) har et litt særegent syn på bruken av indikatorer, og hevder i en journalartikkel at i praksis blir ofte resultatindikatorer benyttet for å definere sikkerhetsprioriteringer eller konkludere om sikkerhetsnivået. Dette er ifølge dem feil bruk av resultatindikatorer, fordi (hevder de) resultatindikatorer ikke har en direkte kopling til gjeldende sikkerhetsnivå når sikkerhet betraktes som "organisatorisk potensial for å håndtere både forventede og uventede forhold". Resultatindikatorer kan imidlertid benyttes dersom dette avgrenses til feil på sikkerhetsbarrierer.

Når det gjelder synspunktet om at resultatindikatorer (eller andre indikatorer for den saks skyld) ikke kan benyttes til å måle sikkerhetsnivået får de støtte fra Jannings og Hailwoods (2009) konferansepaper, som sier at alle involverte bør huske at sikkerhetsindikatorer ikke måler sikkerhetsnivået, men at de indikerer ytelsen til tiltakene som er nødvendig for å oppnå sikker drift.

Til slutt tas det med at flere synes å hevde at validitet ikke er en generell egenskap, men er kontekstspesifikt. Øien m.fl. (2011a) og Herrera (2012) mener at all utvikling av indikatorer er kontekstspesifikk og at det ikke finnes én universell modell eller metode som gir det "beste" (inklusive mest valide) settet med indikatorer. Muligens vil en kombinert bruk av flere metoder gi det beste resultatet. Ifølge et paper av Leveson⁸ er det tegn som tyder på at generelle industridekkende indikatorer ikke eksisterer eller ikke er særlig effektive i å identifisere økende risiko. Alternativet er å identifisere ledende indikatorer som er spesifikke for det systemet som monitoreres.

5.2 Effekter av bruk av indikatorer – forskningsspørsmål 2

I sin masteroppgave hevder van der Wielen (2012) at det kan argumenteres for at enhver svekket barriere som har blitt utbedret på bakgrunn av ledende indikatorer alltid reduserer risikoen for at en storulykke skal inntreffe på en gitt lokasjon; allikevel, det er ikke mulig å fremskaffe vitenskapelig bevis for at innsamlingen av ledende indikatorer kan gi en risikoreduserende effekt på storulykker.

Dette reflekterer utfordringen som ligger i forskningsspørsmål 2.

I alt 45 av de 72 dokumentene som ble analysert videre i studien omtaler i større eller mindre grad effekter ved bruk av indikatorer (jf. kapittel 4.2).

⁸ Dette er referanse # 12, men den mangler årstall. Seneste referansehenvvisning er 2013, så artikkelen kan tidligst være publisert i 2013.

Blant de 45 dokumentene har følgende 10 undersøkt problemstillingen nærmere gjennom egne studier, viser til studier utført av andre og/eller viser til konkrete eksempler (jf. kapittel 4.3):

Journalartikler (6):	# 1, 14, 31, 32, 128, 131
Doktoravhandlinger (1):	# 35
Konferansepapers (2):	# 13, 49
Rapporter (1):	# 175

Blant disse kan 7 sies å være godt kvalitetssikrede fagtekster (journalartikler og doktoravhandlinger), mens de øvrige 3 ikke har vært gjennom tilsvarende kvalitetssikring/"review" (konferansepapers og rapporter).

De 10 dokumentene som er listet over tar for seg effekter ved bruk av indikatorer som underordnet tema, men ingen av dokumentene tar for seg denne problemstillingen som hovedtema. Dessuten er det få dokumenter som sier noe om erfarte effekter.

Resten av dette kapitlet gir en tematisk gjennomgang av hva litteraturen sier om effekter ved bruk av indikatorer – forskningsspørsmål 2 (jf. kapittel 1.1).

Når man snakker om effekter av bruk av indikatorer vil det være hensiktsmessig å skille mellom effekter på resultat, effekter på aktiviteter og prosesser, og utilsiktede eller uønskede effekter.

Temaene er derfor strukturert som følger:

1. Effekt på resultat
2. Effekt på aktiviteter og prosesser
3. Uønskede og utilsiktede effekter

Kun de mest relevante funnene er tatt med.

5.2.1 Effekt på resultat

van der Wielen (2012) hevder som nevnt at det ikke er mulig å fremskaffe vitenskapelig bevis for at innsamlingen av ledende indikatorer kan gi en risikoreduserende effekt på storulykker, men at det kan argumenteres for at enhver svekket barriere som har blitt utbedret på bakgrunn av ledende indikatorer alltid reduserer risikoen for at en storulykke skal inntreffe.

Øien m.fl. (journalartikkel: 2011a) og Herrera (doktoravhandling: 2012) hevder, som nevnt i kapittel 5.1.2, at effekten på risikoen for storulykker kan sannsynliggjøres med bakgrunn i en risikomodell, gitt at forholdet man måler på (med indikatorer) inngår i risikomodellen. Det må også tas forbehold om begrensningene i risikomodellen.

Dette er gjort og beskrevet i en rapport av Okstad m.fl. (2013) i konkrete case-studier. Her er effekten på risikoen beregnet gjennom følsomhetsanalyser i risikoanalysen. Dette er ikke erfart effekt, men påvist ("sannsynliggjort") potensiell effekt, som benyttes som underlag til en metode for oppfølging av risiko (ved bruk av et risikobarometer).

Det å fremskaffe "vitenskapelige bevis", som van der Wielen (2012) er inne på, er vanskelig både fordi storulykker inntreffer svært sjelden, og fordi sammenhengen mellom ledende indikatorer og storulykkerisiko er uklar (og i liten grad er inkludert i risikomodeller). Fremleggelse av empirisk baserte bevis på effekt på

antall storulykker, enten dette gjelder med bruk av ledende (proaktive) eller reaktive indikatorer, er en mangelvare i litteraturen som har blitt gjennomgått siden 2009. Derimot kan en effekt på storulykkerisikoen sannsynliggjøres, gjennom bruk av risikoindikatorer basert på en risikoanalyse/-modell (Øien m.fl., 2011a). Risikoanalysen forholder seg til potensielle ulykker, og er ikke i samme grad avhengig av erfarte hendelser (unntatt med hensyn til usikkerhet og kredibilitet).

De fleste dokumentene som hevder at det er en effekt med bruk av indikatorer gjør dette ut fra en argumentasjon lik det van der Wielen (2012) nevner, uten at dette er empirisk basert, eller de har en svært generell betraktning rundt effekt på resultat, enten dette gjelder *antall storulykker*, *storulykkerisiko* eller bare *å unngå storulykker*.

Et eksempel på det siste er de Almeida og de Figueiredo (2014) sin journalartikkel som viser til Hopkins (journalartikkel: 1994) som hevder at ledende indikatorer kan måle den pågående risikostyringsprosessen og benyttes til prediksjoner som tilstrekkelig tidlig kan muliggjøre en avbrytelse av et hendelsesforløp. Basert på dette, og analyserte data, kom de frem til at de foreslåtte globale indikatorene muliggjør identifisering av svakheter på individuelt plattformnivå, og dermed bidrar til å unngå farlige situasjoner som kan føre til en storulykke.

Tilsvarende hevder Knijff m.fl. (2013) i sin journalartikkel at ledende indikatorer for prosessikkerhet utgjør en måte å vurdere faktorer som påvirker ulykker. Tidlige varsler/signaler kan ageres på og en utvikling mot null ulykker kan sikres på en meningsfull måte. Proaktiv styring av forbedringstiltak, som bruk av ledende indikatorer muliggjør, har sin verdi hovedsakelig innenfor selskapene. Behovet for å rapportere reaktive indikatorer for å synliggjøre prosessikkerhetsytelsen til det offentlige forblir uendret.

Hendelsesinformasjon utgjør verdifulle data for å avdekke potensielle farer og nesten-ulykker før alvorlige ulykker inntreffer. Reaktive indikatorer har blitt brukt som endelige målinger til hjelp for ledelsen i å forstå systemsvakheter på et tidlig tidspunkt (masteroppgave: Wang, 2012).

Et konferansepaper av Paltrinieri m.fl. (2012a) sier at indikatorene synes å være i stand til å forhindre denne typen ulykker fra å inntreffe, dersom de tas i bruk.

Generelt knyttet til reduksjon av risiko viser Wang m.fl. (2013) i sin journalartikkel til at ledende indikatorer benyttes for å evaluere fullstendigheten av prosessikkerhetsstyringen og forbedre risikoeliminering i organisasjoner. Mackay og Lehmann (2012) hevder imidlertid i sitt konferansepaper at med den type indikatorer de snakker om, og tilhørende verktøy, så kan umiddelbare tiltak iverksettes dersom det forvarslede risikonivået er utilbørlig høyt. Gjennom bedre forståelse av hva som definerer kumulativ risiko har vi nøkkelen til å utvikle verdifulle ledende indikatorer som kan avdekke risikotrender og dermed understøtte bedre beslutningstaking og forbedre prosessikkerhetsstyringen, hevder de.

5.2.2 Effekt på aktiviteter og prosesser

I likhet med effekt på resultat (jf. kapittel 5.2.1) er det svært få som viser til erfart effekt på aktiviteter og prosesser. De aller fleste omtaler *antatte* effekter.

Av eksempler på *antatte* (mulige/påståtte) effekter er:

- Understøttelse av vurderinger og prioriteringer av risiko (arbeidsdokument: Skogdalen m.fl., 2011b)
- Storulykkeindikatorer kan bidra til å opprettholde en høy grad av bevissthet, noe som kan være et viktig element i forhindring av storulykker (journalartikkel: Vinnem, 2010)

- Verdifull informasjon om fungeringen av en organisasjon (journalartikkel: de Rademaeker m.fl., 2014)
- Identifisering av fremvoksende ("emergent") fenomen som kan bidra til ny risiko (doktoravhandling: Herrera, 2012)
- Synliggjøring av grenser for akseptabel drift, som også kan føre til økt systemeffektivitet (journalartikkel: Herrera m.fl., 2009)
- Forbedringer og reduksjon av ulykkesfrekvenser, via insentiv-ordninger/bonuser (rapport: Bellamy og Sol, 2012; journalartikkel: Hale, 2009; journalartikkel: Hopkins, 2009)
- Økt kunnskap om viktige RIFer og derigjennom redusert usikkerhet om fremtidig potensial for storulykker (konferansepaper: Thorsen og Njå, 2014)
- Underlag for inspeksjons- og revisjonsplanlegging til bruk i myndighetskontroll (konferansepaper: Janacovic m.fl., 2011)
- Identifisering av situasjoner hvor myndighetsaksjoner er nødvendig for å ivareta sikkerheten til ansatte og tredjepart (konferansepaper: Araujo m.fl., 2009)
- Proaktive indikatorer som kan benyttes til identifisere og implementere korrektive tiltak mot selvtilfredshet, produksjonsfokus, overdreven selvtilitt, isolasjonisme, overarbeidelse, og annet som påvirker sikkerhetsytelsen (konferansepaper: Carvalho m.fl., 2009)
- Utvikling av en positiv sikkerhetskultur: personell vil forstå og verdsette prosessikkerhet og bli motivert til å understøtte et effektivt sikkerhetsindikatorprogram, og de vil vite at det er deres ansvar å stoppe operasjoner dersom problemer oppstår (journalartikkel: Louvar, 2010)
- Økt forståelse for underliggende teori og årsakskjeder (konferansepaper: Johnsen m.fl., 2010; journalartikkel: Johnsen m.fl., 2012)
- Innvirkning på sosiale normer og kulturelle forhold, og dernest sikkerhet (Lund og Aarø, 2004)
- Informasjon om organisatorisk ytelse, som kan motivere folk til å arbeide med sikkerhet og øke organisatorisk potensial for sikkerhet (journalartikkel: Reiman og Pietikäinen, 2012)
- Økt forståelse for sikker drift av systemer og forhindre systemene fra å bli ustabile (journalartikkel: Lofquist, 2010)
- Forbedret åpenhet og kommunikasjon mellom operatører og inspektører (konferansepaper: Jennings og Hailwood, 2009)
- Mer proaktiv i å ivareta sikkerheten; måle effekt av tiltak; understøtte god sikkerhetskultur; synliggjøring og åpenhet om selskapets praksis; forbedret ytelse og identifisering av forbedringsområder (journalartikkel: Sinelnikov m.fl., 2015)

Flere nevner at indikatorer muliggjør sammenlikning ("benchmarking") med andre, som igjen kan føre til at man lærer fra de som har best sikkerhetsytelse (konferansepaper: Walker m.fl., 2014; masteroppgave: Wang, 2012; offentlig høring: Whewell, 2012). I tillegg har myndigheter benyttet økt forståelse om storulykkes-KPIer til å presse frem forbedring i enkeltelskap (Whewell, 2012).

Det er også flere som nevner sterkere og mer robuste barrierer som en effekt av bruken av indikatorer (journalartikkel: Broadribb m.fl., 2009; konferansepaper: Linzi og Smith, 2013; bokkapittel: Vinnem, 2014). Dette er nært koplet til det å bli god på det man blir målt på (siden man jo måler direkte på barriereytelsen), jf. kapittel 5.2.3.

5.2.3 Utilsiktede og uønskede effekter

I mange tilfeller vil ønskede effekter, enten dette gjelder resultat eller prosess, eller hoved- eller bieffekter, kunne følges av "tilhørende" negative, utilsiktede eller uønskede effekter. Noen velger å fokusere vel så mye på mulige negative effekter, som hvorfor indikatorer etableres og de positive effektene.⁹

Flere er inne på at man blir god på det man blir målt på (rapport: Reinman og Pietikäinen, 2010; journalartikkel: Hopkins, 2009; bokkapittel: Waefler m.fl., 2012; journalartikkel: Delatour m.fl., 2014). Reiman og Pietikäinen (2010) omtaler dette som direkte effekt på måleverdien (som jo er det man ønsker å oppnå), men underforstått kan man bli mindre god på det man ikke blir målt på, og overse viktige forhold bare fordi man ikke måler disse. Alle de nevnte forfatterne omtaler dette også som å styre indikatorene i stedet for å styre sikkerheten.

Waefler m.fl. (2012) viser til at et ønske om å redusere etterslep i utstyrsvedlikehold (vanlig brukt indikator) kan medføre raskere vedlikehold med dårligere kvalitet. Indikatorverdien blir bedre, men sikkerheten er redusert.

Tilsvarende kommer Whewell (2012) med en påstand i en offentlig høring om at det for ofte rapporteres data med mål om å svare til toppledelsens forventninger om at alt er som det skal.

Delatour m.fl. (2014) viser også til utfordringen med å ha oppdaterte/tilpassede indikatorer (endring over tid), samtidig som man ønsker å ivareta en langtidssammenlikning av resultater.

Når det gjelder resultatene av indikatorene og bruken av dem, viser et arbeidsdokument og en journalartikkel av Leveson (2013; 2015) til mulige bortforklaringer basert på ulike former for forventingsskjevhet/bias (partiskhet/subjektivitet). Dette kan føre til at indikasjoner på økt risiko ikke tas seriøst. Pasman m.fl. (2013) er i sin journalartikkel inne på det samme. De sier at historien viser mange eksempler på at ledelsen har mottatt varselsignaler i god tid, men at signalene ikke har blitt fulgt og det har endt med en ulykke. Samtidig understreker de at falske signaler er drepende for kredibiliteten til systemet, at indikatorene må relateres til klare symptomer på svekket sikkerhet, og at disse symptomene skal relateres til økt risiko for ulykker.

5.3 Forhold som påvirker indikatorens pålitelighet – forskningsspørsmål 3

Mendeloff m.fl. (2013) angir i sin journalartikkel at pålitelighet refererer til spørsmålet om hvorvidt ulike personer som foretar målinger er uenige, eller hvorvidt samme person benytter ulike standarder på ulike tidspunkt. Det kan være mangel på pålitelighet på grunn av ulike vurderinger av hvorvidt en bestemt hendelse skal telle med, eller på grunn av forskjellig praksis for å registrere og rapportere hendelser.

I alt 16 av de 72 dokumentene som ble analysert videre i studien omtaler i større eller mindre grad forhold i omgivelsene eller konteksten som påvirker indikatorens pålitelighet (jf. kapittel 4.2).

Blant de 16 dokumentene har følgende 4 undersøkt problemstillingen nærmere gjennom egne studier, viser til studier utført av andre og/eller viser til konkrete eksempler (jf. kapittel 4.3):

Journalartikler (1): # 17
Bokkapitler (1): # 29
Masteroppgaver (1): # 72

⁹ Det er bra å være klar over mulige negative effekter, men som tidligere nevnt så må ikke "det beste bli det godes fiende".

EU-rapport (1): # 141

Blant disse kan 2 sies å være godt kvalitetssikrede fagtekster (journalartikkel og bokkapittel), mens de øvrige 2 ikke har vært gjennom tilsvarende kvalitetssikring/"review" (masteroppgave og EU-rapport).

De fire dokumentene som er listet over tar for seg indikatorens pålitelighet som underordnet tema, men ingen av dokumentene tar for seg denne problemstillingen som hovedtema.

Resten av dette kapitlet gir en tematisk gjennomgang av hva litteraturen sier om forhold i omgivelsene eller konteksten som påvirker indikatorens pålitelighet – forskningsspørsmål 3 (jf. kapittel 1.1).

En forutsetning for å kunne gjennomføre meningsfulle analyser og etablere risikoreducerende tiltak er at man har pålitelige data (konferansepaper: Thorsen og Njå, 2014). Pålitelighet (reliabilitet) er definert som konsistensen av en måling, eller i hvilken grad et instrument måler det samme hver gang det brukes under nøyaktig samme forhold (konferansepaper: Johnsen m.fl., 2010; journalartikkel: Johnsen m.fl., 2012). Litteraturgjennomgangen har vist at påliteligheten til en indikator kan sies å avhenge av faktisk forekomst av hendelser, av hvorvidt rapporteringspliktige hendelser rapporteres, og av hvorvidt det som rapporteres blir rapportert riktig. I tillegg er pålitelighet diskutert som et tema knyttet til sammenlignbarhet på tvers av installasjoner og bedrifter.

Temaene er strukturert som følger:

1. Forekomst av hendelser
2. Tilstrekkelig og korrekt rapportering
3. Sammenlignbarhet på tvers

Kun de mest relevante funnene er tatt med.

5.3.1 Forekomst av hendelser

Det hevdes i flere av de gjennomgåtte dokumentene at forekomsten av hendelser påvirker påliteligheten til en indikator. Dette underbygges imidlertid ikke med konkrete erfaringer.

Vinnem (2010) beskriver i sin journalartikkel at forvarsler til storulykkerelaterte faremomenter typisk inntreffer med en frekvens på én hendelse per installasjon per år, og at dette er utilstrekkelig som basis for hendelsesbaserte indikatorer på installasjonsnivå. Han argumenterer for at man må ha en viss mengde data for å sikre pålitelige prediksjoner og svingninger som kan bidra til å opprettholde nødvendig fokus.

Også andre argumenterer på generell basis for at en stor utfordring ligger i at man ikke har nok data til å understøtte et sett med pålitelige indikatorer (journalartikkel: Skogdalen m.fl., 2011a; arbeidsdokument: Skogdalen m.fl., 2011b; doktoravhandling: Skogdalen, 2011).

Mendeloff m.fl. (2013) påpeker at en hovedutfordring med prosessikkerhetsindikatorer er hvorvidt det registreres tilstrekkelig antall hendelser til å kunne gi et meningsfullt estimat på frekvensen. Med dette mener han mer spesifikt at "hendelsene" som telles må inntreffe ofte nok til å tillate en statistisk sammenligning og trendanalyse, slik at indikatorene kan benyttes til forbedring av prosessikkerheten.

I en EU-rapport, om et rammeverk for sikkerhetsytelsesindikatorer, diskuterer Roelen m.fl. (2014) blant annet hva som skaper variabilitet under samme forhold. En faktor de trekker fram i sin diskusjon om

tekniske indikatorer for sikkerhetsytelse, er hvor sjelden hendelser inntreffer. Det påpekes at dette er spesielt viktig i tilfeller der indikatoren er basert på antall hendelser per tidsperiode. De forklarer at man i en tidsperiode kan ha én hendelse, mens man i den påfølgende har to, uten at de faktiske forholdene nødvendigvis har endret seg. Noen ganger skyldes endringen fra en tidsperiode til en annen kun tilfeldigheter. For å illustrere denne effekten, viser forfatterne til sannsynlighet ved terningkast. Dersom man sammenligner to serier med ti terningkast, kan man i første serie få én sekser og i andre serie få to seksere, uten at sannsynligheten var noe større i den siste serien. Det hevdes i dette rammeverket at man bør foreta beregninger av konfidensintervall for å ta høyde for graden av påvirkning som tilfeldighet har på indikatorverdiene.

5.3.2 Tilstrekkelig og korrekt rapportering

Det kan være vanskelig å utarbeide en metode for datainnsamling som gir pålitelige data i den mengden man ønsker å observere. Eksempelvis er det i praksis vanskelig å måle det reelle antallet hydrokarbonlekkasjer (bokkapittel: Vinnem, 2014). Dersom grensen for hva som skal rapporteres som en hydrokarbonlekkasje settes høyt blir det få (men pålitelige) registreringer, mens dersom grensen settes lavt blir det flere (men mer upålitelige) registreringer.

En utfordring er knyttet til at den faktiske registreringen av hendelser kan være mangelfull eller dårlig, eller at dataene er påvirket av utenforliggende faktorer. Blant annet finnes det et konkret eksempel fra en hendelse i Norge der en hydrokarbonlekkasje og en personskafe oppstod samtidig. Lekkasjen ble lenge oversett, mens personskafe forble i fokus etter hendelsen. Dataene man ønsker å registrere må være lett å observere, slik at man kan unngå uenighet rundt hvorvidt en hendelse oppstod eller ikke, og at det som skal registreres blir registrert (Vinnem, 2010; 2014; uttalelse: Nistov, 2012).

Vinnem (2010; 2014) hevder at påliteligheten ofte kan forbedres ved å sette nedre grenseverdier for hva som skal registreres, dvs. å begrense hendelsesbasert datainnsamling til å omfatte kun hendelser av medium til høy alvorlighetsgrad. Han beskriver videre at indikatorer bør være intuitive i den forstand at det som måles må oppleves av de ansatte som intuitivt viktig for å forhindre storulykker.

Dårlig kultur for involvering og manglende evne til å sikre engasjement vil kunne resultere i data som er ufullstendig, og i verste fall irrelevant for risikostyring (offentlig høring: Whewell, 2012).

I sin masteroppgave beskriver Thorsen (2013) hvordan en rekke indikatorer i casebedriften bygger på data fra et system som blir beskrevet av flere informanter som tungt og lite intuitivt. Ansatte i bedriften har uttalt at det kan være utfordrende å kategorisere hendelsene riktig, noe Thorsen peker på som en stor utfordring knyttet til påliteligheten til indikatorene som bygger på data fra dette systemet.

I den samme studien vises det til karaktersetting på ytelsesstandarder knyttet til styring av teknisk integritet. Disse ytelsesstandardene blir beskrevet av Thorsen som mulige storulykkeindikatorer. Karaktersettingen blir gjort subjektivt, og karakterene kan variere ut fra hvem som har satt dem. Dette er, ifølge en journalartikkel av Hale (2009) noe som kan redusere påliteligheten til indikatoren. En plattformsjef ved den analyserte bedriften uttrykte skepsis til kompetansen til de som setter karakterene (Thorsen, 2013).

Roelen m.fl. (2014) sier at hvorvidt kriteriet for minimal variabilitet møtes for indikatorer som avhenger av manuell rapportering, beror på rapporteringsdisiplinen og hvor konsistente de er i klassifiseringen av hendelsene. Innenfor luftfart vises det til at noen rapporteringspliktige hendelser klassifiseres av den enkelte operatør, mens andre klassifiseringer gjøres av det nasjonale luftfartstilsynet basert på operatørens rapporter. Europeiske nasjoner bruker en gitt taksonomi for klassifisering av hendelser, mens de tjenesteytende aktørene (f.eks. flyselskapene) ofte bruker en annen taksonomi for internt bruk.

Erfaring fra hendelsesrapportering gjennom det siste tiåret viser, også for obligatoriske rapporterings-systemer (pliktig rapportering), at antallet rapporterte hendelser og kvaliteten på dataklassifiseringen i stor grad påvirkes av rapporteringsdisiplinen til de ansatte. Variasjon i rapportering av hendelser kan også skyldes endringer i folks oppfattelse av hva som kvalifiserer som en hendelse (Roelen m.fl., 2014).

En annen påstand knyttet til tilstrekkelig og korrekt rapportering er at indikatorer ikke bør avhenge av komplekse beregninger, da dette kan påvirke rapporteringsgraden i negativ forstand (Skogdalen m.fl., 2011b; Vinnem, 2014).

Bevisst manipulering og feilrapportering (journalartikkel: Hopkins, 2009; bokkapittel: Waefler m.fl., 2012) vil også påvirke påliteligheten til indikatoren som det rapporteres på.

Vinnem (2010; 2014) hevder videre at for lav rapporteringsgrad kan være et resultat av psykologiske og organisatoriske årsaker. Som et eksempel, trekker han frem insentivsystemer der mangel på hendelser belønnes. Slike systemer kan tolkes som å belønne mangel på rapporterte hendelser, og man risikerer derfor at noen hendelser bevisst unnlates å rapporteres. Skogdalen m.fl. (2011b) peker på robusthet mot manipulasjon som en viktig karakteristikk ved gode indikatorer.

De hendelsesbaserte indikatorene fra RNNP anses som robuste mot manipulasjon, da en stor gruppe mennesker ofte er godt kjent med slike hendelser. Det er derimot større handlingsrom når det kommer til indikatorer for barrieretesting. Følgende konkrete eksempel er hentet fra de tidlige fasene av data-innsamlingen i RNNP: Feil som skulle rapporteres omfattet kun feil som kunne forhindre en sikkerhetskritisk funksjon, slik som lukking av isolasjonsventiler. Noen operatører som ønsket et økt vedlikeholdsbudsjett for installasjonen inkluderte likevel feil som ikke var sikkerhetskritiske, i håp om at en økning i indikatorverdien ville føre til økt budsjett (Vinnem, 2014).

5.3.3 Sammenlignbarhet på tvers

Dersom en indikator ikke bare skal brukes til egen trending, men også til å sammenligne på tvers av ulike installasjoner eller selskaper, må indikatorverdien også være pålitelig i den forstand at rapporteringskriteriene er nøyaktig de samme ved hver lokasjon. Dette kan i praksis være vanskelig å få til, spesielt for ledende (proaktive) indikatorer på tvers av selskaper.

Sammenlignbarhet påvirkes av kultur, ulike måter å gjennomføre operasjoner på, forskjeller i rapporteringsrutiner, samt graden av likhet mellom aktivitetene. Dette medfører utfordringer knyttet til sammenlignbarheten av ledende indikatorer. Det påstås at slik sammenligning kun bør gjøres når det gir virkelig mening, og at resultater knyttet til indikatorer ellers bør forbli på et lokalt nivå (journalartikkel: Knijff m.fl., 2013).

Andre som uttaler seg om sammenligning på tvers av selskaper er Herrera m.fl. (2009) i en journalartikkel og Herrera (2012) i sin doktoravhandling, som påstår at det bør være mulig å måle utviklingen i sikkerhetsnivået med spesifiserte indikatorer. Det foreslås her at industrien bør velge ut indikatorer som er mulige å følge opp, samt utvikle en metodikk og retningslinjer for å sikre at resultatene baseres på den samme bakgrunnen i alle involverte selskaper.

5.4 Mulige implikasjoner; hvilke utfordringer innebærer dette for næringen og Ptil? – forskningsspørsmål 4

Med utgangspunkt i FS1-3 er fjerde og siste delmål å diskutere mulige implikasjoner av de øvrige resultatene; hvilke utfordringer innebærer dette for næringen og Ptil (jf. kapittel 1.1)?

I henhold til oppgavebeskrivelsen skal oppgaven bidra til å forberede og tilrettelegge for tilsyn på indikatorer.

Diskusjonen knyttet til forskningsspørsmål 4 er strukturert i henhold til FS1-3:

1. Hva sier litteraturen om dokumenterte sammenhenger mellom indikatorer og storulykkerisiko?
2. Hva sier litteraturen om effekter av bruk av indikatorer?
3. Hva sier litteraturen om forhold i omgivelsene eller konteksten som påvirker indikatorens pålitelighet?

Implikasjoner og utfordringer knyttet til hvert enkelt forskningsspørsmål er identifisert ved systematisk gjennomgang av kapitlene 5.1-5.3.

En oppsummering av hovedpunktene fra dette delkapittelet er gjengitt i konklusjonen i kapittel 6.

5.4.1 Implikasjoner vedrørende sammenhenger mellom indikatorer og storulykkerisiko

Svært få dokumenter (fra de siste 6-7 årene) har sammenhengen mellom indikatorer og storulykkerisiko som hovedtema. Det hevdes at sammenhengen generelt sett ikke er kjent, og at det kreves mer empiriske studier. Generelt sett er det derfor behov for mer empirisk forskning/studier på dette, et behov som må rettes mot næringen og forskningsaktørene, men som også Ptil kan være en pådriver for.

Vi har skilt mellom sammenheng påvist gjennom korrelasjon, logisk forklarte sammenhenger og sammenhenger påvist gjennom retrospektiv analyse av ulykker. Viktige implikasjoner knyttet til disse er diskutert samlet nedenfor.

Det synes å være mangelfull tydelighet i forhold til hvordan indikatorer har blitt etablert (for eksempel hvilken metode/metoder som ligger til grunn), om man kan dokumentere validiteten til den enkelte indikator, samt om man kan begrunne at indikatorene samlet sett er tilstrekkelig dekkende. Dette er både noe det enkelte selskap kan ta ansvar for å tydeliggjøre, samt at Ptil kan etterspørre dette (basis/metode, dokumentert validitet, og samlet dekningsgrad) ved tilsyn.

En tilstøtende utfordring er om man har endret indikatorene over tid, dersom det har vært endringer i betingelsene/forutsetningene. Enten man har endret/oppdatert dem eller ikke; hvordan kan man være sikker på at de fortsatt er valid?

Hvordan benytter man ledende indikatorer som kan gi tidlige signaler om mulige ulykker? Hvordan skiller man mellom viktige signaler og støy? Hvordan sørger man for at viktige signaler blir skilt fra støy og blir behandlet seriøst? Dette er utfordringer både for næringen og Ptil som det er behov for mer kunnskap om.

Det har blitt påvist utfordringer med å finne gode ledende indikatorer som kan varsle om endringer i risikonivået på en offshore-innretning. En mulig implikasjon av dette er å sjekke de ledende indikatorene man benytter, eksempelvis gjennom å "stress-teste" dem mot utvalgte storulykker. Ville de ha vært i stand til å avdekke en negativ utvikling før ulykkene inntraff? Kunne de, gitt adekvat handling, forhindre ulykkene?

En utfordring til dette igjen er at et for stort fokus på (eller ønske om) validitet kan gå ut over muligheten for å få tidlig varsel. Det bør derfor vises varsomhet med et for stort fokus på dokumentert validitet. Det å balansere disse hensynene er en utfordring for næringen spesielt, men også Ptil må ta hensyn til dette i sine tilsyn.

5.4.2 Implikasjoner vedrørende effekter av bruk av indikatorer

Ingen dokumenter (fra de siste 6-7 årene) har effekter av bruk av indikatorer som hovedtema, og få sier noe om erfarne effekter.

Mangelen på dokumentert effekt ved bruk av indikatorer er i seg selv en utfordring for både Ptil og næringen. Manglende evne til å påvise effekter kan føre til at man fokuserer på feil indikatorer/områder. En annen potensiell utfordring knyttet til manglende dokumentert effekt er at det kan stilles spørsmål til hensikten med indikatorene og innrapportering av data til disse. Dette kan medføre dårlig tiltro til systemet/indikatorene blant ansatte, noe som igjen kan påvirke rapporteringskulturen.

Generelt sett er det derfor (i likhet med foregående forskningsspørsmål, jf. kapittel 5.4.1) behov for mer empirisk forskning/studier på effekter av bruk av indikatorer, et behov som må rettes mot næringen, men som også Ptil kan være en pådriver for.

Vi har skilt mellom effekter på resultat, effekter på aktiviteter og prosesser, samt utilsiktede og uønskede effekter. Viktige implikasjoner knyttet til hver av disse er diskutert nedenfor.

Implikasjoner av effekter på resultat

Litteraturen som har blitt gjennomgått siden 2009 mangler empirisk baserte bevis på effekt på antall storulykker, og enkelte hevder at det ikke kan fremskaffes vitenskapelige bevis for at innsamlingen av ledende indikatorer kan gi en slik effekt.

Andre viser derimot til at effekten kan sannsynliggjøres med bakgrunn i en risikomodell, gitt at forholdet man måler på (med indikatorer) inngår i risikomodellen.

Det at man kan sannsynliggjøre effekten gitt en endring i verdien på en indikator betyr imidlertid ikke at det er indikatoren i seg selv som fører til en effekt. Den utgjør kun en (passiv) måling. Det er (aktive) tiltak/ endringer som fører til en effekt, og dette kan komme som en følge av f.eks. dårlige målinger på en eller flere indikatorer. Men, det kan også skyldes helt andre forhold. Derfor er det vanskelig å påvise at en effekt, spesielt effekt på resultat, skyldes innføring og bruk av indikatorer. Ville denne effekten ha kommet uten bruk av indikatorer?¹⁰

Det vil være mer presist/riktig å spørre om det systematiske sikkerhetsarbeidet man utfører (på en innretning, i et selskap, eller i næringen) har hatt en effekt på sikkerheten/risikoen, *målt* ved hjelp av indikatorer. Dette kan inkludere en sannsynliggjøring av effekten basert på en risikomodell, siden storulykker inntreffer sjelden, spesielt på en enkelt innretning.

Det enkelte selskap må svare for utviklingen/effekten på innretnings- og selskapsnivå, mens Ptil har et medansvar for å synliggjøre nytteverdien av de indikatorene næringen rapporterer inn til RNNP.

¹⁰ Dette utgjør også et paradoks. Dersom vi ikke har indikatorer for å måle en effekt, hvordan vet vi da om vi har hatt en effekt?

Implikasjoner av effekter på aktiviteter og prosesser

De aller fleste omtaler kun antatte effekter også når det kommer til effekter på aktiviteter og prosesser. Eksempelvis antas det at bruk av indikatorer gir økt bevissthet om storulykker, økt kunnskap om risikopåvirkende forhold, forbedret åpenhet og kommunikasjon, identifisering av forbedringsområder, samt at indikatorer muliggjør sammenlikning ("benchmarking") med andre.

Uansett om dette er kun antatte effekter, eller mer eller mindre påviste effekter, så er det nærliggende at Ptil benytter indikatorene som underlag for prioritering og utvelgelse av innretninger og selskap i tilsynsammenheng, og også vurderer hvordan næringen benytter indikatorer i sitt forbedringsarbeid. Litteraturen viser også til eksempler hvor myndigheter nettopp har brukt indikatorer som underlag for inspeksjons- og revisjonsplanlegging.

En implikasjon for næringen er muligheten for forbedring gjennom systematisk benchmarking, både mellom egne innretninger og ikke minst mot innretninger og selskap som kan vise til de beste resultatene, slik at man kan lære av beste praksis.

Implikasjoner av utilsiktede og uønskede effekter

Det er mange gode grunner til å bruke indikatorer, men det vil alltid være en viss fare for utilsiktede og uønskede effekter. Kjennskap til disse er viktig og det er selvsagt ønskelig å minimere utilsiktede og uønskede effekter, men en potensiell utfordring er å unngå at "det beste blir det godes fiende". Man løser ikke dette ved å slutte å bruke indikatorer.

Det blir blant annet hevdet at man fokuserer på indikatorene i stedet for å fokusere på sikkerheten, og at man blir god på det man blir målt på; underforstått at man blir mindre god på det man ikke blir målt på. Hvor reelt er dette? Hvor kritisk er det?

Man kan ikke måle "alt", ergo er det gjort en utvelgelse av hva man følger opp med hjelp av indikatorer. Ideelt sett burde dette være de viktigste forholdene med hensyn til sikkerhet/risiko. Dersom man "overser" det man ikke blir målt på, og dette samtidig er viktige forhold for sikkerheten/risikoen, så tyder det på en svikt i metodikken for etablering og utvelgelse av indikatorer.

En måte å forsøke å avdekke dette på er at selskapene/næringen sammenlikner sine indikatorer med andre, eventuelt også mot andre relevante næringer. Ptil kan også ta opp dette med det enkelte selskap i forbindelse med tilsyn, både med hensyn til metodikken for etablering av indikatorer som er benyttet samt vurdering av settet med indikatorer som benyttes.

Videre er det viktig å ha en felles forståelse for risikoen som skal styres. Hva bidrar til risikoen, og hvilke ulykkestyper og forhold er de største bidragsyterne til risikoen? Hvordan dekkes disse av de etablerte indikatorene? Er det åpenbart for alle at de benyttede indikatorene er viktige for risikoen/sikkerheten? Dette er også spørsmål Ptil kan ta opp under tilsyn med bruk av indikatorer på innretninger og i selskap.

5.4.3 Implikasjoner vedrørende forhold som påvirker indikatorens pålitelighet

Ingen dokumenter (fra de siste 6-7 årene) har forhold som påvirker indikatorens pålitelighet som hovedtema. I likhet med de to foregående forskningsspørsmålene (jf. kapittel 5.4.1 og 5.4.2) er det derfor behov for mer empirisk forskning/studier på dette. Også her er dette et behov som må rettes mot næringen og forskningsaktørene, men som også Ptil kan være en pådriver for.

Vi har skilt mellom hvordan pålitelighet avhenger av forekomst av hendelser, samt tilstrekkelig og korrekt rapportering. I tillegg er pålitelighet diskutert som et tema knyttet til sammenlignbarhet på tvers av installasjoner og bedrifter. Viktige implikasjoner knyttet til hver av disse er diskutert nedenfor.

Implikasjoner av forekomst av hendelser

Forekomsten av hendelser påvirker ikke påliteligheten til indikatoren i seg selv. Indikatoren er pålitelig dersom samme resultat/måling oppnås av flere personer, eller av samme person på forskjellig tidspunkt, uavhengig av antallet hendelser/registreringer. En viss mengde data er imidlertid nødvendig for å gi pålitelige prediksjoner, dvs. ta høyde for tilfeldigheter.

Dette kan, som det fremgår av litteraturen, gjøres gjennom beregninger av konfidensintervall. Hvor stor må endringen være for at den er statistisk signifikant? Dette gjøres i RNNP, men hvordan håndteres dette på innretnings- og selskapsnivå? Beregning av konfidensintervall og klargjøring av betydningen av tilfeldigheter er noe det enkelte selskap kan vurdere å gjennomføre, dersom det ikke allerede er gjort, og det kan etterspørres av Ptil ved tilsyn.

Implikasjoner av tilstrekkelig og korrekt rapportering

Klare registreringskriterier, inklusive konsistent klassifisering, og anvendelse av nedre grenseverdier vil bidra til å øke påliteligheten til indikatorene ved at det bidrar til mindre usikkerhet om hva som teller som en registrering og hva som ikke skal telles med.

Nedre grenseverdier, som eksempelvis sorterer vekk ubetydelige hendelser, bidrar til at det som skal registreres oppfattes som viktig for sikkerheten/risikoen. Dette kan igjen bidra til bedre forståelse og lik praksis ved rapportering. Det å fremme en god forståelse for hensikten med bruk av indikatorer og gjennom det utvikle en god rapporteringsdisiplin har vist seg viktig ved at det i stor grad påvirker antall rapporterte hendelser og kvaliteten på klassifiseringen.

Klare kriterier for rapportering og klassifisering bidrar også til at indikatorsystemet blir mindre sårbart for manipulasjon. Lik rapporteringspraksis kan også påvirkes, innenfor det enkelte selskap, gjennom god kvalitetssikring.

Dersom man ser behov for det kan det enkelte selskap gjennomgå registreringskriteriene, klassifiseringen, nedre grenseverdier og kvalitetssikringen internt, og eventuelt sammenlikne eksternt. Rapporteringspraksisen kan også vurderes regelmessig. Tilsvarende gjennomganger kan Ptil utføre ved tilsyn.

Implikasjoner av sammenliknbarhet på tvers

Sammenlikning på tvers av installasjoner og selskaper knytter til seg utfordringer relatert til ulik tolkning av rapporteringskriterier, ulik rapporteringskultur, og andre faktorer som kan påvirke indikatorverdien.

Dette må det enkelte selskap ta hensyn til ved sammenlikning mellom innretninger, men ennå mer utfordrende er dette ved sammenlikning på tvers mellom selskap, fordi det i praksis er svært vanskelig å etablere rapporteringskriterier som er helt identiske. Dette er noe som Ptil må ta høyde for blant annet ved bruk av RNNP-data. Disse utfordringene er spesielt knyttet til bruken av ledende (proaktive) indikatorer.

(Blank side)

6 Konklusjon

Litteraturstudien, som omfatter 174 identifiserte dokumenter, viser at validitet er diskutert som et hovedtema i noen få dokumenter, men at det i liten grad bygger på empiriske studier. Ingen av dokumentene tar for seg effekter ved bruk av indikatorer eller forhold som påvirker indikatorens pålitelighet som hovedtema. Dette er noe overraskende, da det å demonstrere at indikatorer har en effekt, samt å sikre pålitelige indikatorer, kan bli sett på som forutsetninger for å bruke indikatorer. Alle problemstillingene blir imidlertid undersøkt som underordnede tema i noen dokumenter.

Litteraturstudien gir ikke grunnlag for å peke på bestemte indikatorer eller typer av indikatorer med spesielt høy validitet. Generelt er det en utfordring at jo "mer ledende" indikatorene er (lengre bak i årsakskjeden), jo svakere blir koplingen til sikkerhet/risiko, dvs. dårligere validitet. Et for sterkt fokus på validitet kan gå på bekostning av tidlig varsel.

En hovedkonklusjon er at det er mangel på dokumenterte sammenhenger mellom indikatorer og storulykkesrisiko, påviste effekter ved bruk av indikatorer og påviste forhold som påvirker påliteligheten til indikatorer. Mer empirisk-basert forskning er nødvendig for å kunne dokumentere indikatorers validitet, effekter og pålitelighet.

Noen spesifikke utfordringer for næringen og Ptil er:

Validitet (FS1)

1. Mangelfull tydelighet i forhold til hvordan indikatorer har blitt etablert (metode, validitet til den enkelte indikator, dekkende sett med indikatorer)
2. Endring i validitet over tid, ved endringer i betingelser/forutsetninger
3. Kunne skille viktige tidlige signaler fra støy, slik at mulige ulykker kan unngås
4. Identifisere gode (valide) ledende indikatorer som kan varsle om endringer i risikonivået på en offshore-innretning ("stress-testing" av eksisterende indikatorer)
5. Unngå et for stort fokus på validitet, som kan gå ut over muligheten til å få tidlig varsel (selv med noe støy / falske signaler)

Effekter (FS2)

6. Manglende evne til å påvise effekter, som kan føre til fokus på feil indikatorer/områder
7. Kan stilles spørsmål ved hensikten med indikatorene og innrapporteringen av data til disse. Liten tiltro kan svekke rapporteringskulturen
8. Vanskelig å fremskaffe bevis for effekt på resultat, men det er viktig å synliggjøre utvikling/effekt på sikkerheten/risikoen av systematisk sikkerhetsarbeid, målt ved hjelp av indikatorer
9. Utnytte muligheten som indikatorer gir til sammenlikning ("benchmarking") ved prioritering av tiltak og ved tilsynsplanlegging
10. Fokuserer på det man blir målt på. Dette vil være spesielt kritisk dersom indikatorene ikke dekker de viktigste forholdene for sikkerhet/risiko. Viktige forhold kan da bli oversett
11. Tilstrekkelig bevissthet rundt hva som er hensikten og forventet/ønsket effekt av indikatorene
12. Tilstrekkelig risikoforståelse og forståelse av hvilke risikoforhold som dekkes av indikatorene

Pålitelighet (FS3)

13. Mangelfull kunnskap om hvorvidt endringer i indikatorverdi skyldes tilfeldigheter eller er statistisk signifikant (etablering av konfidensintervall)
14. Klare kriterier for rapportering og klassifisering som bidrar til lik rapporteringspraksis internt
15. Ulik tolkning av rapporteringskriterier og ulik rapporteringskultur mellom innretninger og selskap

(Blank side)

7 Referanser

- Araujo, J.B., e Melo, P.F.F.F. & Schirru, R., 2009. Safety indicators as a tool for operational safety evaluation of nuclear power plants. *International Nuclear Atlantic Conference, INAC*. September-October 2009, Rio de Janeiro, Brazil.
- Bellamy, L. & Sol, V., 2012. A literature review on safety performance indicators supporting the control of major hazards. *RIVM rapport 620089001*. Ministry of Health, Welfare and Sport: National Institution for Public Health and the Environment.
- Bellamy, L.J., 2015. Exploring the relationship between major hazard, fatal and non-fatal accidents through outcomes and causes. *Safety Science*, 71, Part B, 93-103.
- Bergh, L.I.V., Ringstad, A.J., Leka, S. & Zwetsloot, G.I., 2014. Psychosocial risks and hydrocarbon leaks: an exploration of their relationship in the Norwegian oil and gas industry. *Journal of Cleaner Production*, 84, 824-830.
- Broadribb, M.P., Boyle, B. & Tanzi, S.J., 2009. Cheddar or Swiss? How strong are your barriers? *Process Safety Progress*, 28, 367-372.
- Carvalho, J.A.B., e Melo, P.F.F. & Saldanha, P.L., 2009. A proposal of safety indicators aggregation to assess the safety management effectiveness of nuclear power plants. *International Nuclear Atlantic Conference, INAC*. September-October 2009, Rio de Janeiro, Brazil.
- CSB, 2007. Investigation Report, Refinery Explosion and Fire.
- de Almeida, A.G. & de Figueiredo, M.A.G., 2014. Identification of Global Indicators for Regulatory Risk Management in Production Platforms-Case Study of Brazilian Industry. *Journal of Risk Analysis and Crisis Response*, 4, 141-150.
- de Rademaeker, E., Suter, G., Pasman, H.J. & Fabiano, B., 2014. A review of the past, present and future of the European loss prevention and safety promotion in the process industries. *Process Safety and Environmental Protection*, 92, 280-291.
- Delatour, G., Laclémence, P., Calcei, D. & Mazri, C., 2014. Safety Performance Indicators: a Questioning Diversity. *Chemical Engineering Transactions*, 36, 55-60.
- dos Santos Grecco, C.H., Vidal, M.C.R., Cosenza, C.A.N., dos Santos, I.J.A.L. & de Carvalho, P.V.R., 2014. Safety culture assessment: A fuzzy model for improving safety performance in a radioactive installation. *Progress in Nuclear Energy*, 70, 71-83.
- Grabowski, M., You, Z., Song, H., Wang, H. & Merrick, J.R., 2010. Sailing on Friday: Developing the link between safety culture and performance in safety-critical systems. *Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions*, 40, 263-284.
- Hale, A., 2009. Why safety performance indicators? *Safety Science*, 47, 479-480.
- Harms-Ringdahl, L., 2009. Dimensions in safety indicators. *Safety Science*, 47, 481-482.
- Haugen, S., Seljelid, J., Mo, K. & Nyheim, O.M., 2011. Major accident indicators for monitoring and predicting risk levels. *SPE European Health, Safety and Environmental Conference in Oil and Gas Exploration and Production*. February 2011, Vienna, Austria: Society of Petroleum Engineers.
- Herrera, I.A., 2012. *Proactive safety performance indicators*. Doktoravhandling, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Herrera, I.A., Hollnagel, E. & Håbrekke, S., 2011. Proposing safety performance indicators for helicopter offshore on the Norwegian Continental Shelf. *PSAM 10 - Tenth Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management*. June 2010, Seattle, Wa, United States.
- Herrera, I.A., Nordskog, A.O., Myhre, G. & Halvorsen, K., 2009. Aviation safety and maintenance under major organizational changes, investigating non-existing accidents. *Accident Analysis & Prevention*, 41, 1155-1163.
- Hopkins, A., 1994. The Limits of Lost Injury Frequency Rates – Positive Performance Indicators for OHS, Part 1. Proceedings. Canberra: Worksafe Australia, 1994.
- Hopkins, A., 2000. *Lessons from Longford: the Esso gas plant explosion*, CCH Australia limited Sydney.

- Hopkins, A., 2009. Thinking About Process Safety Indicators. *Safety Science*, 47, 460-465.
- Janacovic, G., Savic, S. & Stankovic, M., 2011. Multi-criteria decision analysis in occupational safety management systems. *International Conference Safety of Technical Systems in Living and Working Environment*. October 2011, Niš, Serbia.
- Jennings, K. & Hailwood, M., 2009. OECD Guidance on Safety Performance Indicators. *21st Institution of Chemical Engineers Symposium on Hazards 2009 - Hazards XXI: Process Safety and Environmental Protection*. November 2009, Manchester, United Kingdom.
- Johnsen, S.O., 2009. Suggested proactive indicators to be used in oil and gas industry based on a survey of accidents in the industry. *European Safety and Reliability (ESREL)*. September 2009, Prague, Czech Republic.
- Johnsen, S.O., Okstad, E., Aas, A.L. & Skramstad, T., 2010. Proactive Indicators of Risk in Remote Operations of Oil and Gas Fields. *SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production*. April 2010, Rio de Janeiro, Brazil: Society of Petroleum Engineers.
- Johnsen, S.O., Okstad, E., Aas, A.L. & Skramstad, T., 2012. Proactive Indicators to Control Risks in Operations of Oil and Gas Fields. *SPE Economics & Management*, April 2012, 90-105.
- Kadri, S., Peters, G., van Ommeren, J., Fegley, K., Dennehy, M. & Mateo, A., 2014. So we all have been implementing process safety metrics - what next? *Process Safety Progress*, 33, 172-178.
- Klein, J.A. & Dharmavaram, S., 2012. Improving the performance of established PSM programs. *Process Safety Progress*, 31, 261-265.
- Knijff, P., Allford, L. & Schmelzer, P., 2013. Process safety leading indicators - a perspective from Europe. *Process Safety Progress*, 32, 332-336.
- Kongsvik, T., Almklov, P. & Fenstad, J., 2010. Organisational safety indicators: Some conceptual considerations and a supplementary qualitative approach. *Safety Science*, 48, 1402-1411.
- Kongsvik, T., Kjøs Johnsen, S.Å. & Sklet, S., 2011. Safety climate and hydrocarbon leaks: An empirical contribution to the leading-lagging indicator discussion. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 24, 405-411.
- Leveson, N.G., (mangler årstall). Using STAMP to Develop Leading Indicators. MIT, Aeronautics and Astronautics Dept.
- Leveson, N.G., 2013. A Systems Thinking Approach to Leading Indicators in Petrochemical Industry. *ESD Working Paper Series*. Massachusetts Institute of Technology, Engineering Systems Division, ESD-WP-2013-01, 1-16.
- Leveson, N.G., 2015. A Systems Approach to Risk Management Through Leading Safety Indicators. *Reliability Engineering & System Safety*, 136, 17-34
- Linzi, P. & Smith, D., 2013. Using Incident Data as Leading Indicators in the Assessment of Major Incident Risk within JV Operations. *European HSE Conference and Exhibition*. April 2013, London, UK: Society of Petroleum Engineers.
- Lofquist, E.A., 2010. The art of measuring nothing: The paradox of measuring safety in a changing civil aviation industry using traditional safety metrics. *Safety science*, 48, 1520-1529.
- Lofquist, E.A., Greve, A. & Olsson, U.H., 2011. Modeling attitudes and perceptions as predictors for changing safety margins during organizational change. *Safety science*, 49, 531-541.
- Louvar, J., 2010. Guidance for safety performance indicators. *Process Safety Progress*, 29, 387-388.
- Lund, J. & Aarø, L.E., 2004. Accident prevention. Presentation of a model placing emphasis on human, structural and cultural factors. *Safety Science*, 42, 271-324.
- Mackay, I. & Lehmann, S., 2012. Addressing Work Execution through Integrated Technology Provides New Leading Indicators to Improve Operational Risk Management. *SPE Middle East Health, Safety, Security, and Environment Conference and Exhibition*. April 2012, Abu Dhabi, UAE: Society of Petroleum Engineers.

- Mendeloff, J., Han, B., Fleishman-Mayer, L.A. & Vesely, J.V., 2013. Evaluation of process safety indicators collected in conformance with ANSI/API Recommended Practice 754. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26, 1008-1014.
- Nistov, A., 2012. Statement from the Norwegian Oil Industry Association (OLF): Process Safety Performance Indicators for Major Accident Prevention.
- NS-5814:2008, Krav til risikovurderinger. Standard Norge.
- Okstad, E., Hauge, S. & Tinmannsvik, R.K., 2013. Proactive indicators for managing major accident risk in integrated operations. A risk- and barrier based method addressing technical and operational factors. Rapport: SINTEF Technology and Society.
- Painting, A., 2014. *An intelligent monitoring system to predict potential catastrophic incidents*. Doktoravhandling, University of Portsmouth.
- Paltrinieri, N., Cozzani, V., Øien, K. & Grøtan, T., 2012a. Prevention of atypical accident scenarios through the use of resilience based early warning indicators. *Advances in Safety, Reliability and Risk Management: ESREL 2011*. September 2011, Troyes, France.
- Paltrinieri, N., Øien, K. & Cozzani, V., 2012b. Assessment and comparison of two early warning indicator methods in the perspective of prevention of atypical accident scenarios. *Reliability Engineering & System Safety*, 108, 21-31.
- Pasman, H., Kneqtering, B. & Rogers, W., 2013. A holistic approach to control process safety risks: Possible ways forward. *Reliability Engineering & System Safety*, 117, 21-29.
- Pasman, H. & Rogers, W., 2014. How can we use the information provided by process safety performance indicators? Possibilities and limitations. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 30, 197-206.
- Petroleumstilsynet. 2015. *Risiko og usikkerhet* [Online]. Available: <http://www.ptil.no/video/risiko-og-usikkerhet-article11383-1197.html> [Accessed June 22 2015].
- Reiman, T. & Pietikäinen, E., 2010. Indicators of safety culture - selection and utilization of leading safety performance indicators. Rapport: Swedish Radiation Safety Authority.
- Reiman, T. & Pietikäinen, E., 2012. Leading indicators of system safety - Monitoring and driving the organizational safety potential. *Safety Science*, 50, 1993-2000.
- Ringdal, K., 2001. *Enhet og mangfold. Samfunnsvitenskapelig forskning og kvantitativ metode*. Fagbokforlaget.
- Robertson, J.H., 2012. Using Leading Indicators to Avoid Major Accidents. The U.S. Chemical Safety Board's public hearing on Deepwater Horizon.
- Roelen, A.L.C. & Klompstra, M.B., 2012. The challenges in defining aviation safety performance indicators. *Probabilistic Safety Assessment and Management Conference, PSAM 11 & the Annual European Safety and Reliability Conference, ESREL 12*. June 2012, Helsinki, Finland.
- Roelen, A.L.C., Verstraeten, J., Save, L. & Aghdassi, N., 2014. Framework Safety Performance Indicators. Seventh Framework Programme.
- Sinelnikov, S., Inouye, J. & Kerper, S., 2015. Using leading indicators to measure occupational health and safety performance. *Safety Science*, 72, 240-248.
- Skogdalen, J.E., 2011. *Risk Management in the Oil and Gas Industry: Integration of Human, Organisational, and Technical Factors*. Doktoravhandling, Universitetet i Stavanger.
- Skogdalen, J.E., Utne, I.B. & Vinnem, J.E., 2011a. Developing safety indicators for preventing offshore oil and gas deepwater drilling blowouts. *Safety Science*, 49, 1187-1199.
- Skogdalen, J.E., Utne, I.B. & Vinnem, J.E., 2011b. Looking back and forward: could safety indicators have given early warnings about the deepwater horizon accident? Deepwater Horizon Study Group.
- Styringsforskriften, 2011. Forskrift om styring og opplysningsplikt i petroleumsvirksomheten og på enkelte landanlegg. Petroleumstilsynet.
- Sugden, C., Birkbeck, D. & Gadd, S., 2007. Major Hazards Industry Performance Indicators Scoping Study. Rapport: HSL/2007/31. Health and Safety Laboratory, Harpur Hill, Buxton, Derbyshire.

- Sutton, I., 2013. *Offshore safety management: implementing a SEMS program*, Oxford, UK, William Andrew, Elsevier.
- Swuste, P., Theunissen, J., Reniers, G. & Blokland, P., 2015. Process safety indicators, a review. *Journal of Applied Occupational Sciences*, 28.
- Textoris, R. & Tanzi, T.J., 2013. Reflection on a model of accident reporting to help to implement efficient prevention strategies. *IEEE 8th International Conference on System of Systems Engineering (SoSE)*. June 2013, Hawaii, USA: IEEE.
- Thorsen, H.K., 2013. *Monitorering av storulykkesrisiko i drift av offshore installasjoner. En studie av ledende indikatorer*. Masteroppgave, Universitetet i Stavanger.
- Thorsen, H.K. & Njå, O., 2014. Monitoring major accident risk in offshore oil and gas activities by leading indicators. *PSAM 12 - Twelfth Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management*. June 2014, Honolulu, Hawaii.
- Tinmannsvik, R.K., Hokstad, P. & Paltrinieri, N., 2013. Methodology for monitoring safety level development in and around Seveso establishments. Rapport: SINTEF Technology and Society.
- van der Wielen, M., 2012. *Approach to collect leading indicators in major accident areas*. Masteroppgave TU Delft, Delft University of Technology.
- van Kampen, J., van der Beek, D. & Groeneweg, J., 2014. The Value of Safety Indicators. *SPE Economics & Management*, July 2014, 131-140.
- Vinnem, J.E., 2010. Risk indicators for major hazards on offshore installations. *Safety Science*, 48, 770-787.
- Vinnem, J.E., 2014. Use of Risk Indicators for Major Hazard Risk. *Offshore Risk Assessment vol. 2*: Springer London.
- Vinnem, J.E., Hestad, J.A., Kvaløy, J.T. & Skogdalen, J.E., 2010. Analysis of root causes of major hazard precursors (hydrocarbon leaks) in the Norwegian offshore petroleum industry. *Reliability Engineering & System Safety*, 95, 1142-1153.
- Waefler, T., Binz, S., Gaertner, K. & Fischer, K., 2012. Decision Support in Safety Management. In: Ahram, T.Z. & Karwowski, W. (eds.) *Advances in Physical Ergonomics and Safety*. FL, USA: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Walker, K., Toutain, P. & Poore, W., 2014. Upstream Oil and Gas Industry Process Safety Event Data: A First Step. *SPE International Conference on Health, Safety, and Environment*. March 2014, California, USA: Society of Petroleum Engineers.
- Wang, M., 2012. *Normalization of Process Safety Metrics*. Masteroppgave, Texas A&M University.
- Wang, M., Mentzer, R.A., Gao, X., Richardson, J. & Mannan, M.S., 2013. Normalization of process safety lagging metrics. *Process Safety Progress*, 32, 337-345.
- Whewell, I., 2012. Performance Indicators in major hazard industries - An Offshore Regulator's perspective. *CSB public hearing*. Houston, Texas.
- Øien, K., 2001. Risk indicators as a tool for risk control. *Reliability Engineering & System Safety*, 74, 129-145.
- Øien, K., 2013. Remote operation in environmentally sensitive areas: development of early warning indicators. *Journal of Risk Research*, 16, 323-336.
- Øien, K. & Nielsen, L., 2012. Proactive Resilience Based Indicators: The Case of the Deepwater Horizon Accident. *SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production*. September 2012, Perth, Australia: Society of Petroleum Engineers.
- Øien, K., Utne, I.B. & Herrera, I.A., 2011a. Building Safety indicators: Part 1 – Theoretical foundation. *Safety Science*, 49, 148-161.
- Øien, K., Utne, I.B., Tinmannsvik, R.K. & Massaiu, S., 2011b. Building Safety indicators: Part 2 – Application, practices and results. *Safety Science*, 49, 162-171.

Vedlegg A Oversikt over søkeresultater

Tabell A 1 gir en oversikt over de 175 dokumentene som ble inkludert etter grovsortering av resultatene fra litteratursøket, pluss artikkelutkastet som ble fremskaffet av Ptil.

To av dokumentene (#39 og #160) er identiske med to andre (henholdsvis #41 og #13), men kom opp som egne søkeresultater under noe ulike titler. Det totale antallet unike dokumenter i oversikten er derfor 174.

I tillegg til tittel, forfatter(e), dokumenttype og årstall, viser oversikten hvilke søkestrenger som ble brukt for å finne det enkelte dokumentet (G1-G11 og S1-S2). En forklaring av disse ID-numrene er gitt i kapittel 3.4. Noen av ID-numrene for søkene i Scopus er merket med en stjerne, som betyr at søkeresultatet er et sekundærresultat. Med dette menes det at dokumentet ikke er tilgjengelig i Scopus-databasen, men at det er hentet ut fra referanselister som er funnet i Scopus.

Oversikten viser også hvorvidt ordet "indicator" eller "indicators" finnes i henholdsvis tittel, nøkkelord og abstract. Dette er markert med en "x". Blankt felt betyr at "indicator" eller "indicators" ikke er funnet, mens "-" betyr at dokumentet ikke har nøkkelord og/eller abstract.

Tabell A 1: Inkluderte søkeresultater

Nr.	Tittel	Forfatter	Dokumenttype	År	Søke-ID		"Indicator(s)" i...		
					Google Scholar	Scopus	tittel?	nøkkelord?	abstract?
1	Building safety indicators: Part 1—theoretical foundation	Øien m.fl.	Journalartikkel	2011	G1, G3, G9, G10	S1	×	×	×
2	A literature review on safety performance indicators supporting the control of major hazards	Bellamy og Sol	Rapport	2012	G1, G3	S1*	×	×	×
3	Building safety indicators: Part 2—application, practices and results	Øien m.fl.	Journalartikkel	2011	G1, G2, G3, G9, G10, G11	S1, S2	×	×	×
4	Monitoring major accident risk in offshore oil and gas activities by leading indicators	Thorsen og Njå	Konferansepaper	2014	G1, G3	S1	×	×	×
5	Thinking about process safety indicators	Hopkins	Journalartikkel	2009	G1, G3		×	-	×
6	Development of advanced tools and methods for the assessment and management of risk due to atypical major accident scenarios	Paltrinieri	Doktoravhandling	2012	G1, G4			-	×
7	Organisational safety indicators: Some conceptual considerations and a supplementary qualitative approach	Kongsvik m.fl.	Journalartikkel	2010	G1, G9		×	×	×
8	Safety Indicators Used by Authorities in the Petroleum Industry of the United Kingdom, the United States and Norway	Blakstad	Kapittel i bok	2014	G1, G3, G9, G10	S2	×	-	-
9	Remote operation in environmentally sensitive areas: development of early warning indicators	Øien	Journalartikkel	2013	G1, G2, G3, G4, G9	S2	×	×	×
10	Process safety leading indicators—a perspective from Europe	Knijff m.fl.	Journalartikkel	2013	G1, G3		×	×	×
11	Prevention of atypical accident scenarios through the use of resilience based early warning indicators	Paltrinieri m.fl.	Konferansepaper	2012	G1, G2, G3, G4, G9	S1	×	-	×
12	Using STAMP to Develop Leading Indicators	Leveson	Paper	-	G1, G2, G3		×	-	×
13	Proactive indicators to improve HSE based on empirical evaluation of accident investigation reports (Rett tittel: Proactive indicators of risk in remote operations of oil and gas fields)	Johnsen m.fl.	Konferansepaper (SPE126560)	2010	G1		×	-	×
14	Proactive indicators to control risks in operations of oil and gas fields	Johnsen m.fl.	Journalartikkel/SPE	2012	G1, G3, G9	S1, S2	×	-	×
15	Why do we still have major accidents?—Lessons learnt from the chemical industry	Gowland	Artikkel i nyhetsskriv	2013	G1			-	-
16	Safety Performance Indicators: a Questioning Diversity	Delatour m.fl.	Journalartikkel	2014	G1, G3, G8		×	-	×
17	Risk indicators for major hazards on offshore installations	Vinnem	Journalartikkel	2010	G1, G2, G3, G9	S1, S2	×	×	×

Nr.	Tittel	Forfatter	Dokumenttype	År	Søke-ID		"Indicator(s)" i...		
					Google Scholar	Scopus	tittel?	nøkkelord?	abstract?
18	Suggested proactive indicators to be used in oil and gas industry based on a survey of accidents in the industry	Johnsen	Konferansepaper	2009	G1		×	-	×
19	Visualizing Safety Indicators : A Study of Requirements	Dyrseth	Masteroppgave	2013	G1, G3, G9		×	-	×
20	Major Accident Indicators for Drilling and Well Activities	Tranberg	Masteroppgave	2013	G1, G3, G7, G9		×	-	×
21	A systems approach to risk management through leading safety indicators	Leveson	Journalartikkel	2015	G1, G2, G3, G10		×	×	×
22	Developing safety indicators for preventing offshore oil and gas deepwater drilling blowouts	Skogdalen m.fl.	Journalartikkel	2011	G1, G3, G9	S1	×	×	×
23	Combined Risk Indicator for Major Accident Precursors and Barriers in the Trends in Risk Level Project	Stensland	Masteroppgave	2013	G1, G9		×	-	×
24	Performance indicators for monitoring safety management systems in chemical industry	Jovašević-Stojanović og Stojanović	Masteroppgave	2009	G1	S1	×	×	×
25	Looking back and forward: could safety indicators have given early warnings about the deepwater horizon accident?	Skogdalen m.fl.	Working paper	2011	G1, G3, G9		×	×	×
26	Approach to collect leading indicators in major accident areas	van der Wielen	Masteroppgave	2012	G1, G2, G9		×	-	×
27	Addressing Dynamic Risk in the Petroleum Industry by Means of Innovative Analysis Solutions	Paltrinieri m.fl.	Journalartikkel	2014	G1, G4			-	×
28	Statement from the Norwegian Oil Industry Association (OLF): Process Safety Performance Indicators for Major Accident Prevention.	Nistov	Statement (OLF)	2012	G1, G2, G3, G9		×	-	-
29	Use of Risk Indicators for Major Hazard Risk	Vinnem	Kapittel i bok	2014	G1, G3, G9		×	-	-
30	Environmental risk analysis	Vinnem	Kapittel i bok	2014	G1, G7			-	-
31	Identification of Global Indicators for Regulatory Risk Management in Production Platforms-Case Study of Brazilian Industry	de Almeida og de Figueiredo	Journalartikkel	2014	G1, G2, G3, G7		×	×	×
32	Using leading indicators to measure occupational health and safety performance	Sinelnikov	Journalartikkel	2015	G1		×	×	×
33	A Systems Thinking Approach to Leading Indicators in Petrochemical Industry	Leveson	Working paper	2013	G1		×	-	×
34	Indicators for operational safety : A simplified method for development of indicators	Ruud	Masteroppgave	2010	G1		×	-	×

Nr.	Tittel	Forfatter	Dokumenttype	År	Søke-ID		"Indicator(s)" i...		
					Google Scholar	Scopus	tittel?	nøkkelord?	abstract?
35	Proactive safety performance indicators	Herrera	Doktoravhandling	2012	G1, G9, G10, G11		×	-	×
36	Offshore Facility Process Safety Overview	Maher m.fl.	Seminar-presentasjon	2010	G1, G2			-	-
37	Safety Performance Indicators for the Safety Management System: Preliminary investigation	Bellamy m.fl.	Paper	2012	G1		×	×	×
38	Leading indicators of system safety—monitoring and driving the organizational safety potential	Reiman og Pietikäinen	Journalartikkel	2012	G1, G10		×	×	×
39	Risk management in the oil and gas industry	Skogdalen	Doktoravhandling	2011	G1, G3, G9, G10			-	-
40	Addressing Work Execution through Integrated Technology Provides New Leading Indicators to Improve Operational Risk Management	Mackay og Lehmann	Konferansepaper (SPE152502)	2012	G1, G2, G3, G9	S2	×	-	×
41	Risk management in the oil and gas industry: integration of human, organisational and technical factors	Skogdalen	Doktoravhandling	2011	G1, G3, G9, G10			-	-
42	How to prevent process accidents	Louvar	Journalartikkel	2011	G1			×	
43	So we all have been implementing process safety metrics—what next?	Kadri m.fl.	Journalartikkel	2014	G1, G2			×	×
44	Investigation into development of safety levels on Norwegian installations in the north sea post-1990	Baillie	Masteroppgave	2011	G1, G3, G9			-	×
45	Assessment and comparison of two early warning indicator methods in the perspective of prevention of atypical accident scenarios	Paltrinieri m.fl.	Journalartikkel	2012	G1, G2, G3, G4	S1	×	×	×
46	Cheddar or Swiss? How strong are your barriers?	Broadribb m.fl.	Journalartikkel	2009	G1, G2, G3	S1		×	×
47	Methodology for monitoring safety level development in and around Seveso establishments	Tinmannsvik m.fl.	Rapport (SINTEF)	2013	G1, G3			-	-
48	Risk Multidimensional Measure of Complex Accident System	Wang	Konferansepaper	2014	G1			×	×
49	Proposing safety performance indicators for helicopter offshore on the Norwegian Continental Shelf	Herrera m.fl.	Konferansepaper	2011	G1, G10		×	×	×
50	Indicators of safety culture-selection and utilization of leading safety performance indicators	Reiman og Pietikäinen	Rapport	2010	G1, G10		×	-	-

Nr.	Tittel	Forfatter	Dokumenttype	År	Søke-ID		"Indicator(s)" i...		
					Google Scholar	Scopus	tittel?	nøkkelord?	abstract?
51	Multi-criteria decision analysis in occupational safety management systems	Janacovic m.fl.	Konferansepaper	2011	G1, G3			×	×
52	Developing system-based leading indicators for proactive risk management in the chemical processing industry	Khawaji	Masteroppgave	2012	G1, G2, G3		×	-	×
53	Research on Risk Monitoring and Simulation of China's Civil Aviation Industry	Jing m.fl.	Journalartikkel	2009	G1			×	×
54	Psychosocial risks and hydrocarbon leaks: an exploration of their relationship in the Norwegian oil and gas industry	Bergh m.fl.	Journalartikkel	2014	G1, G3, G9	S1, S2			×
55	Offshore safety management: implementing a SEMS program	Sutton	Bok	2013	G1, G2, G7, G9			-	-
56	The safety barometer: How safe is my plant today? Is instantaneously measuring safety level utopia or realizable?	Knegtering og Pasman	Journalartikkel	2013	G1, G2			-	×
57	Safety climate and hydrocarbon leaks: An empirical contribution to the leading-lagging indicator discussion	Kongsvik m.fl.	Journalartikkel	2011	G1, G3, G9	S1, S2	×	×	×
58	A Framework for the Management of Ageing of Safety Critical Elements Offshore	Sharp m.fl.	Konferansepaper	2011	G1				×
59	Challenges and needs for process safety in the new millennium	Qi m.fl.	Journalartikkel	2011	G1, G2, G3			×	×
60	Use of accident precursor event investigations in the understanding of major hazard risk potential in the Norwegian offshore industry	Vinnem	Journalartikkel	2013	G1, G3, G9, G10	S1, S2			
61	Measuring safety climate in aviation: A review and recommendations for the future	o'Connor m.fl.	Journalartikkel	2010	G1, G11				×
62	Risk analysis in handling and storage of petroleum products	Massimo m.fl.	Journalartikkel	2013	G1				
63	A holistic approach to control process safety risks: Possible ways forward	Pasman m.fl.	Journalartikkel	2013	G1, G3, G7, G11	S1		×	×
64	RAG – Resilience Analysis Grid	Hollnagel	Epilog	2011	G1				
65	Risk measures constituting risk metrics for decision making in the chemical process industry	Prem	Doktoravhandling	2010	G1, G2, G10, G11			-	×
66	Supporting organizational learning by comparing activities and outcomes of the safety-management system	Gerbec	Journalartikkel	2013	G1, G3			×	×
67	What Is Learning? A Review of the Safety Literature to Define Learning from Incidents, Accidents and Disasters	Drupsteen og Guldenmund	Journalartikkel	2014	G1, G10			-	×

Nr.	Tittel	Forfatter	Dokumenttype	År	Søke-ID		"Indicator(s)" i...		
					Google Scholar	Scopus	tittel?	nøkkelord?	abstract?
68	Kvantifisering og aggregering av indikatorer for storulykkesrisiko	Pettersen	Masteroppgave	2012	G1		×	-	×
69	Identifying safety challenges related to major change processes	Johnsen m.fl.	Journalartikkel	2009	G1			×	×
70	In Safety We Trust	Tharaldsen	Doktoravhandling	2011	G1, G3, G9			-	×
71	Assessing propensity to learn from safety-related events	Drupsteen og Wybo	Journalartikkel	2015	G1			×	×
72	Monitorering av storulykkesrisiko i drift av offshore installasjoner. En studie av ledende indikatorer.	Thorsen	Masteroppgave	2013	G1		×	×	×
73	Trends, problems and outlook in process industry risk assessment and aspects of personal and process safety management	Fabiano og Paman	Kapittel i bok	2010	G1			-	-
74	An introduction of accidents' classification based on their outcome control	Karanikas	Journalartikkel	2015	G1, G11			×	×
75	Reflection on a model of accident reporting to help to implement efficient prevention strategies	Textoris og Tanzi	Konferansepaper	2013	G1			×	×
76	Accident modeling and risk assessment framework for safety critical decision-making: application to deepwater drilling operation	Rathnayaka m.fl.	Journalartikkel	2013	G1, G7				
77	Lees'Process Safety Essentials: Hazard Identification Assessment and Control	Mannan	Bok	2013	G1, G2, G3, G10			-	-
78	Design of Process Safety Management Performance Indicators	Shie	Masteroppgave	2009	G1		×	×	×
79	Analysis of root causes of major hazard precursors (hydrocarbon leaks) in the Norwegian offshore petroleum industry	Vinnem m.fl.	Journalartikkel	2010	G1, G3, G9, G10				×
80	Improving proactive major accident prevention by new technology and work processes	Albrechtsen m.fl.	Konferansepaper	2013	G1, G9, G10				
81	Care and concern for people we'll never meet - Process safety in the design of the Wheatstone platform	Stevenson	Konferansepaper (SPE156765)	2012	G1	S1		-	×
82	The Practical Application of Process Safety Principles to Determine and Monitor Asset Integrity of Oil and Gas Facilities	Hopkins	Konferansepaper (SPE146240)	2011	G1	S1		-	×
83	Managing environmental & safety performance as a corporate value - Key lessons to be learned from a CCPS benchmarking initiative	Bhatnagar m.fl.	Konferansepaper (SPE142213)	2011	G1, G9	S2		-	×

Nr.	Tittel	Forfatter	Dokumenttype	År	Søke-ID		"Indicator(s)" i...		
					Google Scholar	Scopus	tittel?	nøkkelord?	abstract?
84	Managing process safety of the upstream sector: Lessons learnt from the downstream industry	Bhatnagar m.fl.	Konferansepaper (SPE146321)	2011	G1, G9	S2			×
85	Using Incident Data as Leading Indicators in the Assessment of Major Incident Risk within JV Operations	Linzi og Smith	Konferansepaper (SPE164970)	2013	G2		×	-	×
86	Development of risk-based process safety indicators	Khan m.fl.	Journalartikkel	2010	G2, G3, G7		×	×	×
87	Risk management for catastrophes: Risk of catastrophic incidents is becoming manageable	Walters	Journalartikkel	2012	G2, G7			-	×
88	Improving the performance of established PSM programs	Klein og Dharmavaram	Journalartikkel	2012	G2				
89	Occupational Health and Safety Scorecards : New leading indicators improve risk management and regulatory compliance	Juglaret m.fl.	Konferansepaper	2011	G2		×	×	×
90	Properly Handle Abnormal Situations	Bullemer	Paper	2013	G2			-	
91	Upstream Oil and Gas Industry Process Safety Event Data: A First Step	Walker m.fl.	Konferansepaper (SPE168514)	2014	G2, G9	S1, S2		-	×
92	Normalization of process safety lagging metrics	Wang m.fl.	Journalartikkel	2013	G2, G3				×
93	The evolution and current status of process safety management metrics	Cummings	Journalartikkel	2009	G2, G7			×	×
94	An intelligent monitoring system to predict potential catastrophic incidents	Painting	Doktoravhandling	2014	G2, G7			-	×
95	Normalization of Process Safety Metrics	Wang	Masteroppgave	2012	G2, G3			-	
96	A propane fire connected to dumping procedure in a process plant	Cermelli m.fl.	Journalartikkel	2013	G2	S1		-	×
97	Learning's from Applying the API Process Safety Incidents (PSI) Metric to Upstream Operations	Kehn og Wischmeier	Konferansepaper (SPE127015)	2010	G2, G9	S1, S2		-	×
98	Improving process safety culture: An audit checklist for effective first-line supervision based on common operations failure modes	Bullemer og Laberge	Konferansepaper	2011	G2, G9	S2			×
99	The art of measuring nothing: The paradox of measuring safety in a changing civil aviation industry using traditional safety metrics	Lofquist	Journalartikkel	2010	G2, G9	S2			×
100	Development of Early Warning Indicators based on Resilience Engineering	Øien m.fl.	Konferansepaper	2010	G3, G9, G10	S2	×	×	×

Nr.	Tittel	Forfatter	Dokumenttype	År	Søke-ID		"Indicator(s)" i...		
					Google Scholar	Scopus	tittel?	nøkkelord?	abstract?
101	Study on the Structure of Safety Performance Indicators for Airline Companies	Sunghoon m.fl.	Konferansepaper	2013	G3		×	×	×
102	The value of safety indicators	van Kampen m.fl.	Journalartikkel/SPE	2014	G3		×	×	×
103	How can we use the information provided by process safety performance indicators? Possibilities and limitations	Pasman og Rogers	Journalartikkel	2014	G3, G9		×	×	×
104	Exploring the relationship between major hazard, fatal and non-fatal accidents through outcomes and causes	Bellamy	Journalartikkel	2015	G3	S1		×	
105	Process Safety Performance Indicators	Pasman	Journalartikkel	2012	G3		×	×	×
106	Risikoindikatorenes evne til å fange sorte svaner	Sæbø	Masteroppgave	2014	G3		×	-	×
107	Safety, reliability and worker satisfaction during organizational change	Zweetsloot m.fl.	Journalartikkel	2014	G3			×	
108	Design of integrated aircraft inflight safety monitoring and early warning system	Wang og Zhao	Konferansepaper	2010	G3				×
109	The effect of Macondo blowout on risk analysis and risk management	Baligira	Masteroppgave	2013	G3, G9, G10			-	
110	Final report on severe accident risks including key indicators	Burgherr m.fl.	Rapport	2011	G3		×	-	×
111	The future of catastrophic event prevention: Seven questions leaders need to ask	Stricoff	Journalartikkel	2011	G7				
112	Assessment of catastrophe risk and potential losses in industry	Kleindorfer m.fl.	Journalartikkel	2012	G7			×	×
113	OFFSHORE DRILLING RISKS—1: Study: Risk indicators have varying impact on mitigation	Mannan m.fl.	Journalartikkel	2014	G7		×	-	×
114	On the practice of safety	Manuele	Bok	2013	G7			-	
115	Integrated risk and crisis management: The Landscape	Jappesen og Rygel	Forumartikkel	2014	G7			-	
116	Modeling attitudes and perceptions as predictors for changing safety margins during organizational change	Lofquist m.fl.	Journalartikkel	2011	G7, G11				
117	Spatial correlation as leading indicator of catastrophic shifts	Dakos m.fl.	Journalartikkel	2010	G7	S1	×		×

Nr.	Tittel	Forfatter	Dokumenttype	År	Søke-ID		"Indicator(s)" i...		
					Google Scholar	Scopus	tittel?	nøkkelord?	abstract?
118	Indicators in Safety Management: A Cartography of Approaches and Applications	Mazri m.fl.	Konferansepaper	2014	G8		×	-	×
119	Decision Support in Safety Management	Waefler m.fl.	Kapittel i bok	2012	G8			×	×
120	Leadership, psychological capital and safety research: Conceptual issues and future research questions	Eid m.fl.	Journalartikkel	2012	G9				
121	Evaluation of process safety indicators collected in conformance with ANSI/API Recommended Practice 754	Mendeloff m.fl.	Journalartikkel	2013	G9		×		
122	Behavioral study of diverse workforce towards various Health, safety & environment engagement strategies in upstream oil & gas industries	Al-Shatti m.fl.	Journalartikkel	2013	G9				
123	Plumbing the depths: Utilizing O&G reserve profiles to develop forward-looking risk assessments for exploration and production activities	Botelho m.fl.	Journalartikkel	2014	G9				
124	Annoyance and Worry in a Petrochemical Industrial Area—Prevalence, Time Trends and Risk Indicators	Axelsson m.fl.	Journalartikkel	2013	G9		×		×
125	Praktisk bruk av sikkerhetsindikatorer relatert til samhandling: Utvikling og praktisk test av indikatorsett for integrerte operasjoner i olje- og gassnæringen	Hanto	Masteroppgave	2011	G9		×	-	×
126	Bayesian approaches for detecting significant deterioration	Røed og Aven	Journalartikkel	2009	G9	S2			×
127	Safety indicators as a tool for operational safety evaluation of nuclear power plants	Araujo m.fl.	Konferansepaper	2009	G10		×	-	×
128	Guidance for safety performance indicators	Louvar	Journalartikkel	2010	G10		×	×	×
129	Leading safety performance indicators for resilience assessment of radiopharmaceuticals production processes	Dos Santos Grecco m.fl.	Konferansepaper	2011	G10		×	-	×
130	Artificial neural network model for prediction of safety performance indicators goals in nuclear plants	Souto m.fl.	Konferansepaper	2011	G10		×	-	×
131	Aviation safety and maintenance under major organizational changes, investigating non-existing accidents	Herrera m.fl.	Journalartikkel	2009	G10, G11			×	×
132	Errors and uncertainties in safety validation of objects using atomic energy	Kovalevich og Stroganov	Journalartikkel	2009	G10			-	×
133	A proposal of safety indicators aggregation to assess the safety management effectiveness of nuclear power plants	Carvalho m.fl.	Konferansepaper	2009	G10		×	-	×

Nr.	Tittel	Forfatter	Dokumenttype	År	Søke-ID		"Indicator(s)" i...		
					Google Scholar	Scopus	tittel?	nøkkelord?	abstract?
134	Development of Integrated Safety Performance Assessment (ISPA) Program To Determine the Safety Performance Grade of Nuclear Power Plant	Chung m.fl.	Paper	2010	G10			-	-
135	A review of the past, present and future of the European loss prevention and safety promotion in the process industries	de Rademaeker m.fl.	Journalartikkel	2014	G10, G11				
136	Evaluating safety-critical organizations-emphasis on the nuclear industry	Reiman og Oedewald	Rapport	2009	G10			-	
137	Safety culture assessment: A fuzzy model for improving safety performance in a radioactive installation	dos Santos Grecco m.fl.	Journalartikkel	2014	G10	S2		×	×
138	The challenges in defining aviation safety performance indicators	Roelen og Klompstra	Konferansepaper	2012	G11		×	×	×
139	Where Is the Organization Looking in Order to Be Proactive about Safety? A Framework for Revealing whether It Is Mostly Looking Back, Also Looking Forward or Simply Looking Away	Woods m.fl.	Journalartikkel	2015	G11				
140	Building a state level of safety indicators (SPI)	Vittekk m.fl.	Paper	2014	G11		×	×	×
141	Framework Safety Performance Indicators	Roelen m.fl.	EU report	2014	G11		×	-	×
142	Sharing is caring: a discussion for combining risk information	Stogsdill m.fl.	Konferansepaper		G11				
143	Eradicating root causes of aviation maintenance errors: introducing the AMMP	Rashid m.fl.	Journalartikkel	2012	G11				
144	Decision Performance and Safety Performance: A Value-Focused Thinking Study in the Oil Industry	Merrick og Grabowski	Journalartikkel	2014	G11			-	×
145	Sailing on friday: Developing the link between safety culture and performance in safety-critical systems	Grabowski m.fl.	Journalartikkel	2010	G11			×	×
146	Enhanced statistical analysis to improve air safety; How to be proactive	Kvarnbergs og Petersson	Avhandling	2013	G11			-	×
147	Performance evaluation of airport safety management systems in Taiwan	Chang m.fl.	Journalartikkel	2015	G11				
148	Transforming near-miss experience into global risk reduction & accident prevention training techniques	Lakhaini og Arndt	Konferansepaper	2014		S1			×
149	Monitoring the risk picture by using QRA and barrier based indicators	Okstad m.fl.	Konferansepaper	2014		S1			×

Nr.	Tittel	Forfatter	Dokumenttype	År	Søke-ID		"Indicator(s)" i...		
					Google Scholar	Scopus	tittel?	nøkkelord?	abstract?
150	Leading indicators for monitoring major accident risk	Thorsen og Njå	Konferansepaper	2014		S1	×	-	-
151	Performance indicators for major accidents - Lessons from incident analysis	Bellamy m.fl.	Konferansepaper	2012		S1	×	×	×
152	Role of leading indicators in prevention of major accidents: CSB learnings from BP Texas City and deepwater horizon	Wilson m.fl.	Konferansepaper	2013		S1	×	-	×
153	Synergy between DyPASI and well-known safety indicator methodologies in the prevention of atypical accident scenarios	Paltrinieri m.fl.	Konferansepaper	2011		S1	×	×	×
154	A generic method for identifying major accident risk indicators	Haugen m.fl.	Konferansepaper	2012		S1	×	×	×
155	Normalization of process safety metrics Mengtian Wang	Mentzer og Mannan	Konferansepaper	2012		S1		×	×
156	A review of different approaches for developing process safety indicators	Monteiro og Frutuoso E Melo	Konferansepaper	2012		S1	×	×	×
157	Predicting and mitigating the risk of catastrophic incidents	Walters og Ross	Konferansepaper	2011		S1		-	×
158	Major accident indicators for monitoring and predicting risk levels	Haugen m.fl.	Konferansepaper (SPE140428)	2011		S1	×		×
159	Using process safety performance indicators (PSPI) to facilitate process safety leadership	Beale	Konferansepaper	2011		S1	×		×
160	Proactive indicators of risk in remote operations of oil and gas fields	Johnsen m.fl.	Konferansepaper (SPE126560)	2010		S1, S2	×		×
161	Audits related to safety management systems: Italian case studies	Romano m.fl.	Konferansepaper	2009		S1		×	×
162	Determining process safety performance indicators for major accident hazards using site process hazard information	Fearnley og Nair	Konferansepaper	2009		S1	×	×	×
163	OECD guidance on safety performance indicators - An international approach to assessing the success of industry, public authorities and communities in managing major accident hazards	Jennings og Hailwood	Konferansepaper	2009		S1	×	×	×
164	Risk indicators for major hazards on offshore installations	Vinnem	Konferansepaper	2009		S1, S2	×	×	×
165	Dynamic risk analysis: A case study on a fluidized catalytic cracking unit at the Bahrain Petroleum Company	Pariyani m.fl.	Konferansepaper	2009		S1		-	×
166	Proactive Resilience Based Indicators: The Case of the Deepwater Horizon Accident	Øien og Nielsen	Konferansepaper (SPE156771)	2012		S2	×		×

Nr.	Tittel	Forfatter	Dokumenttype	År	Søke-ID		"Indicator(s)" i...		
					Google Scholar	Scopus	tittel?	nøkkelord?	abstract?
167	Safety performance indicators as a tool for monitoring the industrial risk on conventional power plants	Maia	Konferansepaper	2012		S2	×	×	×
168	Risk analysis in the process industries: A perspective	Pariyani m.fl.	Konferansepaper	2011		S2		-	×
169	Managing safety to achieve operating excellence	Prihandoko m.fl.	Konferansepaper (SPE125232)	2009		S2		×	×
170	Dimensions in safety indicators	Harms-Ringdahl	Journalartikkel	2009		S2	×	-	-
171	Process safety leading indicators industry survey February 2013: Center for Chemical Process Safety	Kadri	Konferansepaper	2013		S2	×	×	×
172	Using metrics to drive process safety performance at Maersk FPSOs	Guld og Bradshaw	Konferansepaper	2013		S1, S2		×	×
173	Using Leading Indicators to Avoid Major Accidents	Robertson	Statement (CSB)	2012		S1*	×	-	-
174	Performance indicators in major hazard industries - An offshore regulator's perspective	Whewell	Public hearing (CSB)	2012		S1*	×	-	-
175	Proactive Indicators for Managing Major Accident Risk in Integrated Operations-A Risk and Barrier Based Method Addressing Technical and Operational Factors	Okstad m.fl.	Rapport (SINTEF) – fortrolig	2013		S1*	×	×	×
176	Process safety indicators, a review	Swuste m.fl.	Journalartikkel	2015 in press			×	×	×

(Blank side)

Vedlegg B Internettlenker til dokumentene

Tabell B 1 gir informasjon om hvor de ulike dokumentene eller informasjon om dokumentene kan hentes. Dokumentene følger samme nummerering som i vedlegg A.

Tabell B 1: Internettlenker

Nr.	Tittel	Link
1	Building safety indicators: Part 1—theoretical foundation	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753510001335
2	A literature review on safety performance indicators supporting the control of major hazards	http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/620089001.pdf
3	Building safety indicators: Part 2—application, practices and results	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753510001360
4	Monitoring major accident risk in offshore oil and gas activities by leading indicators	http://www.psam12-org.meetingsandconferences.com/proceedings/paper/paper_140_1.pdf
5	Thinking about process safety indicators	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753507001920
6	Development of advanced tools and methods for the assessment and management of risk due to atypical major accident scenarios	http://amsdottorato.unibo.it/4557/1/Paltrinieri_Nicola_tesi.pdf
7	Organisational safety indicators: Some conceptual considerations and a supplementary qualitative approach	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753510001372
8	Safety Indicators Used by Authorities in the Petroleum Industry of the United Kingdom, the United States and Norway	https://books.google.no/books?hl=no&lr=&id=YaayAAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA212&dq#v=onepage&q&f=false
9	Remote operation in environmentally sensitive areas: development of early warning indicators	http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13669877.2012.729523#.VTdZFyHtBc
10	Process safety leading indicators—a perspective from Europe	http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/prs.11641/epdf
11	Prevention of atypical accident scenarios through the use of resilience based early warning indicators	http://sintef.org/globalassets/upload/teknologi_og_samfunn/sikkerhet-og-palitelighet/paltrinieri-et-al-2012---prevention-of-atypical-accident-scenarios.pdf
12	Using STAMP to Develop Leading Indicators	http://cs.emis.de/LNI/Proceedings/Proceedings232/597.pdf
13	Proactive indicators to improve HSE based on empirical evaluation of accident investigation reports (Korrekt tittel: Proactive indicators of risk in remote operations of oil and gas fields)	https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-126560-MS
14	Proactive indicators to control risks in operations of oil and gas fields	https://www.onepetro.org/journal-paper/SPE-126560-PA?event-fire=false

Nr.	Tittel	Link
15	Why do we still have major accidents?—Lessons learnt from the chemical industry	http://mir.epfl.ch/files/content/sites/mir/files/Newsletter/Vol%202015,%20No%204,%202013%20final/Why%20do%20we%20still%20have%20major%20accidents.pdf
16	Safety Performance Indicators: a Questioning Diversity	http://www.aidic.it/cet/14/36/010.pdf
17	Risk indicators for major hazards on offshore installations	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092575351000055X
18	Suggested proactive indicators to be used in oil and gas industry based on a survey of accidents in the industry	https://books.google.no/books?hl=no&lr=&id=DcbLBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA17&dq=#v=onepage&q&f=false
19	Visualizing Safety Indicators : A Study of Requirements	http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A724511&dswid=-4571
20	Major Accident Indicators for Drilling and Well Activities	http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A648678&dswid=9471
21	A systems approach to risk management through leading safety indicators	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832014002488
22	Developing safety indicators for preventing offshore oil and gas deepwater drilling blowouts	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753511000828
23	Combined Risk Indicator for Major Accident Precursors and Barriers in the Trends in Risk Level Project	http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A646719&dswid=-7066
24	Performance indicators for monitoring safety management systems in chemical industry	http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/1451-9372/2009/1451-93720901005J.pdf
25	Looking back and forward: could safety indicators have given early warnings about the deepwater horizon accident?	http://ccrm.berkeley.edu/pdfs_papers/DHSGWorkingPapersFeb16-2011/CouldSafetyIndicatorsHaveGivenEarlyWarningsAboutDeepwaterHorizonAccident-JES_IBU_JEV_DHSG-Jan2011.pdf
26	Approach to collect leading indicators in major accident areas	http://repository.tudelft.nl/view/ir/uuid:723c8277-f8a4-4f9a-a811-7c8d428ccef/
27	Addressing Dynamic Risk in the Petroleum Industry by Means of Innovative Analysis Solutions	http://www.aidic.it/cet/14/36/076.pdf
28	Statement from the Norwegian Oil Industry Association (OLF): Process Safety Performance Indicators for Major Accident Prevention.	http://www.norskoljeoggass.no/PageFiles/16241/120724%20Statement%20%20Public%20Hearing%20%20Process%20Safety%20Performance%20Indicators%20.pdf
29	Use of Risk Indicators for Major Hazard Risk	http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4471-5213-2_22#page-1
30	Environmental risk analysis	http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4471-5213-2_18#page-1
31	Identification of Global Indicators for Regulatory Risk Management in Production Platforms-Case Study of Brazilian Industry	-
32	Using leading indicators to measure occupational health and safety performance	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753514002203

Nr.	Tittel	Link
33	A Systems Thinking Approach to Leading Indicators in Petrochemical Industry	http://esd.mit.edu/WPS/2013/esd-wp-2013-01.pdf
34	Indicators for operational safety : A simplified method for development of indicators	http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A427614&dswid=-2100
35	Proactive safety performance indicators	http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A541042&dswid=-2100
36	Offshore Facility Process Safety Overview	http://sems1.com/SEMSResources/OffshoreFacilityProcessSafetyOverview.2010.06.15.pdf
37	Safety Performance Indicators for the Safety Management System: Preliminary investigation	http://rivm.openrepository.com/rivm/handle/10029/257844
38	Leading indicators of system safety—monitoring and driving the organizational safety potential	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753511001688
39	Risk management in the oil and gas industry	http://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/id/176694/Skogdalen,%20Jon%20Espen.pdf
40	Addressing Work Execution through Integrated Technology Provides New Leading Indicators to Improve Operational Risk Management	https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-152502-MS
41	Risk management in the oil and gas industry: integration of human, organisational and technical factors	http://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/182335
42	How to prevent process accidents	http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/prs.10455/full
43	So we all have been implementing process safety metrics—what next?	http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/prs.11645/full
44	Investigation into development of safety levels on norwegian installations in the north sea post-1990	http://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/182269
45	Assessment and comparison of two early warning indicator methods in the perspective of prevention of atypical accident scenarios	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832012001299#
46	Cheddar or Swiss? How strong are your barriers?	http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/prs.10342/full
47	Methodology for monitoring safety level development in and around Seveso establishments	http://www.sintef.biz/globalassets/upload/teknologi_og_samfunn/sikkerhet-og-palitelighet/sintef-a24323-methodology-for-monitoring-safety-level-development-in-and-around-seveso-establishments.pdf
48	Risk Multidimensional Measure of Complex Accident System	-
49	Proposing safety performance indicators for helicopter offshore on the Norwegian Continental Shelf	https://hal-mines-paristech.archives-ouvertes.fr/hal-00613956/
50	Indicators of safety culture-selection and utilization of leading safety performance indicators	http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/41/062/41062052.pdf

Nr.	Tittel	Link
51	Multi-criteria decision analysis in occupational safety management systems	http://www.safety.ni.ac.rs/Archive/2011-12/Safety%20Engineering%201/PDF/06%20-%20SE2011.1.01.04%20Goran%20Janackovic.pdf
52	Developing system-based leading indicators for proactive risk management in the chemical processing industry	http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/78486
53	Research on Risk Monitoring and Simulation of China's Civil Aviation Industry	http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-ZAQK200907005.htm
54	Psychosocial risks and hydrocarbon leaks: an exploration of their relationship in the Norwegian oil and gas industry	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652613006537
55	Offshore safety management: implementing a SEMS program	https://books.google.no/books?hl=no&lr=&id=ZRtTAAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=#v=onepage&q&f=false
56	The safety barometer: How safe is my plant today? Is instantaneously measuring safety level utopia or realizable?	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423013000387
57	Safety climate and hydrocarbon leaks: An empirical contribution to the leading-lagging indicator discussion	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423011000271
58	A Framework for the Management of Ageing of Safety Critical Elements Offshore	http://proceedings.asmedigitalcollection.asme.org/proceeding.aspx?articleid=1624298
59	Challenges and needs for process safety in the new millennium	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582011000772
60	Use of accident precursor event investigations in the understanding of major hazard risk potential in the Norwegian offshore industry	http://pio.sagepub.com/content/227/1/66
61	Measuring safety climate in aviation: A review and recommendations for the future	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753510002493
62	Risk analysis in handling and storage of petroleum products	http://thescipub.com/abstract/10.3844/ajassp.2013.965.978
63	A holistic approach to control process safety risks: Possible ways forward	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095183201300080X
64	RAG – Resilience Analysis Grid	http://erikhollnagel.com/onewebmedia/RAG%20Outline%20V2.pdf
65	Risk measures constituting risk metrics for decision making in the chemical process industry	http://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/ETD-TAMU-2010-12-8678/PREM-DISSERTATION.pdf?sequence=2&isAllowed=y
66	Supporting organizational learning by comparing activities and outcomes of the safety-management system	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423013001113
67	What Is Learning? A Review of the Safety Literature to Define Learning from Incidents, Accidents and Disasters	http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1468-5973.12039/full

Nr.	Tittel	Link
68	Kvantifisering og aggregering av indikatorer for storulykkesrisiko	http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A629217&dsid=-3958
69	Identifying safety challenges related to major change processes	http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13669870903041474#.VTjMf00cRmM
70	In Safety We Trust	http://www.icrard.org/Documents/Tharaldsen_In%20Safety%20We%20Trust_PhD.pdf
71	Assessing propensity to learn from safety-related events	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753514000502
72	Monitorering av storulykkesrisiko i drift av offshore installasjoner. En studie av ledende indikatorer.	http://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/182267
73	Trends, problems and outlook in process industry risk assessment and aspects of personal and process safety management	http://cdn.intechopen.com/pdfs/11554.pdf
74	An introduction of accidents' classification based on their outcome control	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753514002161
75	Reflection on a model of accident reporting to help to implement efficient prevention strategies	https://hal-mines-paristech.archives-ouvertes.fr/hal-00820824/document
76	Accident modeling and risk assessment framework for safety critical decision-making: application to deepwater drilling operation	http://pio.sagepub.com/content/227/1/86
77	Lees' Process Safety Essentials: Hazard Identification Assessment and Control	https://books.google.no/books?hl=no&lr=&id=nU14FesTVf0C&oi=fnd&pg=PP1&dq=#v=onepage&q&f=false
78	Design of Process Safety Management Performance Indicators	http://thesis.lib.ncu.edu.tw/ETD-db/ETD-search/view_etd?URN=963206026
79	Analysis of root causes of major hazard precursors (hydrocarbon leaks) in the Norwegian offshore petroleum industry	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832010001547
80	Improving proactive major accident prevention by new technology and work processes	http://www.iocenter.no/publication/improving-proactive-major-accident-prevention-new-technology-and-work-processes?f0=im_field_topic%3A79&f1=im_field_topic%3A94
81	Care and concern for people we'll never meet - Process safety in the design of the Wheatstone platform	https://www.onepetro.org/download/conference-paper/SPE-156765-MS?id=conference-paper%2FSPE-156765-MS
82	The Practical Application of Process Safety Principles to Determine and Monitor Asset Integrity of Oil and Gas Facilities	https://www.onepetro.org/download/conference-paper/SPE-146240-MS?id=conference-paper%2FSPE-146240-MS
83	Managing environmental & safety performance as a corporate value - Key lessons to be learned from a CCPS benchmarking initiative	https://www.onepetro.org/download/conference-paper/SPE-142213-MS?id=conference-paper%2FSPE-142213-MS

Nr.	Tittel	Link
84	Managing process safety of the upstream sector: Lessons learnt from the downstream industry	https://www.onepetro.org/download/conference-paper/SPE-146321-MS?id=conference-paper%2FSPE-146321-MS
85	Using Incident Data as Leading Indicators in the Assessment of Major Incident Risk within JV Operations.	https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-164970-MS
86	Development of risk-based process safety indicators	http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/prs.10354/full
87	Risk management for catastrophes: Risk of catastrophic incidents is becoming manageable	http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/gas.21658/full
88	Improving the performance of established PSM programs	http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/prs.11494/full
89	Occupational Health and Safety Scorecards : New leading indicators improve risk management and regulatory compliance	https://hal-mines-paristech.archives-ouvertes.fr/hal-00660460/
90	Properly Handle Abnormal Situations	http://www.asmconsortium.net/Documents/Properly%20Handle%20Abnormal%20Situations_ChemProcessing2013.pdf
91	Upstream Oil and Gas Industry Process Safety Event Data: A First Step	https://www.onepetro.org/download/conference-paper/SPE-168514-MS?id=conference-paper%2FSPE-168514-MS
92	Normalization of process safety lagging metrics	http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/prs.11574/full
93	The evolution and current status of process safety management metrics	http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/prs.10292/full
94	An intelligent monitoring system to predict potential catastrophic incidents	http://eprints.port.ac.uk/15971/1/An_intelligent_monitoring_system_to_predict_potential_catastrophic_incidents_-_by_Andy_Painting_2014.pdf
95	Normalization of Process Safety Metrics	http://repository.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/ETD-TAMU-2012-08-11490/WANG-THESIS.pdf?sequence=2&isAllowed=y
96	A propane fire connected to dumping procedure in a process plant	http://www.aidic.it/cet/13/31/095.pdf
97	Learning's from Applying the API Process Safety Incidents (PSI) Metric to Upstream Operations	https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-127015-MS
98	Improving process safety culture: An audit checklist for effective first-line supervision based on common operations failure modes	http://www.asmconsortium.net/Documents/Improving%20process%20safety%20culture_BullemerLaberge_2011%20G_CPS_final.pdf
99	The art of measuring nothing: The paradox of measuring safety in a changing civil aviation industry using traditional safety metrics	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092575351000127X
100	Development of Early Warning Indicators based on Resilience Engineering	http://www.sintef.no/globalassets/project/building-safety/publications/psam-10---development-of-early-warning-indicators-based-on-resilience-engineering.pdf

Nr.	Tittel	Link
101	Study on the Structure of Safety Performance Indicators for Airline Companies	http://eastis.info/on-line/proceedings/vol9/PDF/P437.pdf
102	The value of safety indicators	https://www.onepetro.org/journal-paper/SPE-164954-PA
103	How can we use the information provided by process safety performance indicators? Possibilities and limitations	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423013001277
104	Exploring the relationship between major hazard, fatal and non-fatal accidents through outcomes and causes	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753514000290
105	Process Safety Performance Indicators	http://www.degruyter.com/view/j/tvsbses.2012.7.issue-2/v10281-012-0007-8/v10281-012-0007-8.xml
106	Risikoindikatorenes evne til å fange sorte svaner	http://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/220823
107	Safety, reliability and worker satisfaction during organizational change	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423013002003#
108	Design of integrated aircraft inflight safety monitoring and early warning system	http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=5414576
109	The effect of Macondo blowout on risk analysis and risk management	http://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/182281
110	Final report on severe accident risks including key indicators	http://s3.documentcloud.org/documents/74383/comparing-severe-accident-risks-for-energy-chains.pdf
111	The future of catastrophic event prevention: Seven questions leaders need to ask	http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/prs.11471/full
112	Assessment of catastrophe risk and potential losses in industry	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098135412002177
113	OFFSHORE DRILLING RISKS—1: Study: Risk indicators have varying impact on mitigation	http://www.oig.com/articles/print/volume-112/issue-5/special-report-offshore-petroleum-operations/offshore-drilling-risks-mdash-1-study-risk-indicators-have-varying-impact-on-mitigation.html
114	On the practice of safety	https://books.google.no/books?hl=no&lr=&id=vGmkGY044zEC&oi=fnd&pg=PP19&dq=#v=onepage&q&f=false
115	Integrated risk and crisis management: The Landscape	http://sentryx.info/attachments/article/190/IRCM-The%20Landscape.pdf
116	Modeling attitudes and perceptions as predictors for changing safety margins during organizational change	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753510002742
117	Spatial correlation as leading indicator of catastrophic shifts	http://link.springer.com/article/10.1007/s12080-009-0060-6#page-1
118	Indicators in Safety Management: A Cartography of Approaches and Applications	http://publications.icd.utt.fr/6fe811b76f2bff2265d1a9f05a6f8a33
119	Decision Support in Safety Management	https://books.google.no/books?hl=no&lr=&id=_4Lyc9ZY03IC&oi=fnd&pg=PA3&dq=#v=onepage&q&f=false
120	Leadership, psychological capital and safety research: Conceptual issues and future research questions	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753511001482

Nr.	Tittel	Link
121	Evaluation of process safety indicators collected in conformance with ANSI/API Recommended Practice 754	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423013000764
122	Behavioral study of diverse workforce towards various Health, safety & environment engagement strategies in upstream oil & gas industries	http://www.ijser.org/researchpaper%5CBehavioral-study-of-diverse-workforce-towards-various-Health-safety-environment-engagement-strategies-in-upstream-Oil-gas-industries.pdf
123	Plumbing the depths: Utilizing O&G reserve profiles to develop forward-looking risk assessments for exploration and production activities	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421514001049
124	Annoyance and Worry in a Petrochemical Industrial Area—Prevalence, Time Trends and Risk Indicators	http://www.mdpi.com/1660-4601/10/4/1418/htm
125	Praktisk bruk av sikkerhetsindikatorer relatert til samhandling: Utvikling og praktisk test av indikatorsett for integrerte operasjoner i olje- og gassnæringen	http://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/265972
126	Bayesian approaches for detecting significant deterioration	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832008001889
127	Safety indicators as a tool for operational safety evaluation of nuclear power plants	http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/41/057/41057374.pdf
128	Guidance for safety performance indicators	http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/prs.10418/full
129	Leading safety performance indicators for resilience assessment of radiopharmaceuticals production processes	http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/42/105/42105210.pdf
130	Artificial neural network model for prediction of safety performance indicators goals in nuclear plants	http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/42/109/42109368.pdf
131	Aviation safety and maintenance under major organizational changes, investigating non-existing accidents	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457508001012
132	Errors and uncertainties in safety validation of objects using atomic energy	http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10512-009-9135-0?LI=true#page-1
133	A proposal of safety indicators aggregation to assess the safety management effectiveness of nuclear power plants	http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/41/064/41064220.pdf
134	Development of Integrated Safety Performance Assessment (ISPA) Program To Determine the Safety Performance Grade of Nuclear Power Plant	http://www.kns.org/kns_files/kns/file/500%C1%A4%B4%EB%BF%ED.pdf
135	A review of the past, present and future of the European loss prevention and safety promotion in the process industries	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582014000433
136	Evaluating safety-critical organizations-emphasis on the nuclear industry	http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/40/054/40054942.pdf

Nr.	Tittel	Link
137	Safety culture assessment: A fuzzy model for improving safety performance in a radioactive installation	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0149197013001480
138	The challenges in defining aviation safety performance indicators	http://www.nlr-atsi.nl/downloads/the-challenges-in-defining-aviation-safety-per.pdf
139	Where Is the Organization Looking in Order to Be Proactive about Safety? A Framework for Revealing whether It Is Mostly Looking Back, Also Looking Forward or Simply Looking Away	http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1468-5973.12079/epdf
140	Building a state level of safety indicators (SPI)	http://fpedas.uniza.sk/~inair/obsah/pdf/prispevky/Vittek_P.etal..pdf
141	Framework Safety Performance Indicators	https://www.ascos-project.eu/downloads/ascos_wp2_nlr_d2.1_version-1.5.pdf
142	Sharing is caring: a discussion for combining risk information	http://proceedings.dtu.dk/fedora/repository/dtu:2504/OBJ/x170.835-840.pdf
143	Eradicating root causes of aviation maintenance errors: introducing the AMMP	http://download-v2.springer.com/static/pdf/607/art%253A10.1007%252Fs10111-012-0245-4.pdf?token2=exp=1429877239~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F607%2Fart%25253A10.1007%25252Fs10111-012-0245-4.pdf*~hmac=b73cdb90d58d4f4a529351feffb04f65a352828c34b85f9c134be3b215988c
144	Decision Performance and Safety Performance: A Value-Focused Thinking Study in the Oil Industry	http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/deca.2014.0291
145	Sailing on friday: Developing the link between safety culture and performance in safety-critical systems	http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=5352215
146	Enhanced statistical analysis to improve air safety; How to be proactive	http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:694389/FULLTEXT01.pdf
147	Performance evaluation of airport safety management systems in Taiwan	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092575351400321X#
148	Transforming near-miss experience into global risk reduction & accident prevention training techniques	http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-84910594844&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=%22Transforming+near-miss+experience+into+global+risk+reduction+%26+accident+prevention+training+techniques%22&st2=&sid=BDAAF7B92CD1FE613B3283BFEEB893B3.WeLimyRvBMk2ky9SFKc8Q%3a1450&sot=b&sdt=b&sl=119&s=TITLE-ABS-KEY%28%22Transforming+near-miss+experience+into+global+risk+reduction+%26+accident+prevention+training+techniques%22%29&relpos=0&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=TITLE-ABS-KEY%28%5C%26quot%3BTransforming+near-miss+experience+into+global+risk+reduction+%26+accident+prevention+training+techniques%5C%26quot%3B%29

Nr.	Tittel	Link
149	Monitoring the risk picture by using QRA and barrier based indicators	http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-84900022321&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=%22Monitoring+the+risk+picture+by+using+QRA+and+barrier+based+indicators+%22&st2=&sid=BDAAF7B92CD1FE613B3283BFEEB893B3.WeLimyRvBMk2ky9SFKc8Q%3a1800&sot=b&sdt=b&sl=87&s=TITLE-ABS-KEY%28%22Monitoring+the+risk+picture+by+using+QRA+and+barrier+based+indicators+%22%29&relpos=0&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=TITLE-ABS-KEY%28%5C%26quot%3BMonitoring+the+risk+picture+by+using+QRA+and+barrier+based+indicators+%5C%26quot%3B%29
150	Leading indicators for monitoring major accident risk	http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-84925064446&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=%22Leading+indicators+for+monitoring+major+accident+risk%22&st2=&sid=BDAAF7B92CD1FE613B3283BFEEB893B3.WeLimyRvBMk2ky9SFKc8Q%3a2070&sot=b&sdt=b&sl=70&s=TITLE-ABS-KEY%28%22Leading+indicators+for+monitoring+major+accident+risk%22%29&relpos=0&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=TITLE-ABS-KEY%28%5C%26quot%3BLeading+indicators+for+monitoring+major+accident+risk%5C%26quot%3B%29
151	Performance indicators for major accidents - Lessons from incident analysis	http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-84888399256&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=%22Performance+indicators+for+major+accidents+-+Lessons+from+incident+analysis%22&st2=&sid=BD054C87F3A3922ECCB2B3120A51BAD5.aXczxbyuHHiXgalW6Ho7g%3a10&sot=b&sdt=b&sl=92&s=TITLE-ABS-KEY%28%22Performance+indicators+for+major+accidents+-+Lessons+from+incident+analysis%22%29&relpos=1&relpos=1&citeCnt=0&searchTerm=TITLE-ABS-KEY%28%5C%26quot%3BPerformance+indicators+for+major+accidents+-+Lessons+from+incident+analysis%5C%26quot%3B%29
152	Role of leading indicators in prevention of major accidents: CSB learnings from BP Texas City and deepwater horizon	http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-84883130988&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=%22Role+of+leading+indicators+in+prevention+of+major+accidents%3a+CSB+learnings+from+BP+Texas+City+and+deepwater+horizon%22&st2=&sid=BD054C87F3A3922ECCB2B3120A51BAD5.aXczxbyuHHiXgalW6Ho7g%3a260&sot=b&sdt=b&sl=132&s=TITLE-ABS-KEY%28%22Role+of+leading+indicators+in+prevention+of+major+accidents%3a+CSB+learnings+from+BP+Texas+City+and+deepwater+horizon%22%29&relpos=0&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=TITLE-ABS-KEY%28%5C%26quot%3BRole+of+leading+indicators+in+prevention+of+major+accidents%3A+CSB+learnings+from+BP+Texas+City+and+deepwater+horizon%5C%26quot%3B%29

Nr.	Tittel	Link
153	Synergy between DyPASI and well-known safety indicator methodologies in the prevention of atypical accident scenarios	http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-84873185319&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=%22Synergy+between+DyPASI+and+well-known+safety+indicator+methodologies+in+the+prevention+of+atypical+accident+scenarios%22&st2=&sid=BD054C87F3A3922ECCB2B3120A51BAD5.aXczxbyuHHiXgaIW6Ho7g%3a510&sot=b&sdt=b&sl=134&s=TITLE-ABS-KEY%28%22Synergy+between+DyPASI+and+well-known+safety+indicator+methodologies+in+the+prevention+of+atypical+accident+scenarios%22%29&relpos=0&relpos=0&citeCnt=1&searchTerm=TITLE-ABS-KEY%28%5C%26quot%3BSynergy+between+DyPASI+and+well-known+safety+indicator+methodologies+in+the+prevention+of+atypical+accident+scenarios%5C%26quot%3B%29
154	A generic method for identifying major accident risk indicators	http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-84873194529&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=%22A+generic+method+for+identifying+major+accident+risk+indicators%22&st2=&sid=BD054C87F3A3922ECCB2B3120A51BAD5.aXczxbyuHHiXgaIW6Ho7g%3a760&sot=b&sdt=b&sl=80&s=TITLE-ABS-KEY%28%22A+generic+method+for+identifying+major+accident+risk+indicators%22%29&relpos=0&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=TITLE-ABS-KEY%28%5C%26quot%3BA+generic+method+for+identifying+major+accident+risk+indicators%5C%26quot%3B%29
155	Normalization of process safety metrics Mengtian Wang	http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-84861423887&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=%22Normalization+of+process+safety+metrics+Mengtian+Wang%22&st2=&sid=BD054C87F3A3922ECCB2B3120A51BAD5.aXczxbyuHHiXgaIW6Ho7g%3a1010&sot=b&sdt=b&sl=70&s=TITLE-ABS-KEY%28%22Normalization+of+process+safety+metrics+Mengtian+Wang%22%29&relpos=0&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=TITLE-ABS-KEY%28%5C%26quot%3BNormalization+of+process+safety+metrics+Mengtian+Wang%5C%26quot%3B%29
156	A review of different approaches for developing process safety indicators	http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-84856717665&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=%22A+review+of+different+approaches+for+developing+process+safety+indicators+%22&st2=&sid=BD054C87F3A3922ECCB2B3120A51BAD5.aXczxbyuHHiXgaIW6Ho7g%3a1260&sot=b&sdt=b&sl=91&s=TITLE-ABS-KEY%28%22A+review+of+different+approaches+for+developing+process+safety+indicators+%22%29&relpos=0&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=TITLE-ABS-KEY%28%5C%26quot%3BA+review+of+different+approaches+for+developing+process+safety+indicators+%5C%26quot%3B%29

Nr.	Tittel	Link
157	Predicting and mitigating the risk of catastrophic incidents	http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-82555201480&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=%22Predicting+and+mitigating+the+risk+of+catastrophic+incidents%22&st2=&sid=BD054C87F3A3922ECCB2B3120A51BAD5.aXczxbyuHHiXgaIW6Ho7g%3a1510&sot=b&sdt=b&sl=77&s=TITLE-ABS-KEY%28%22Predicting+and+mitigating+the+risk+of+catastrophic+incidents%22%29&relpos=1&relpos=1&citeCnt=0&searchTerm=TITLE-ABS-KEY%28%5C%26quot%3BPredicting+and+mitigating+the+risk+of+catastrophic+incidents%5C%26quot%3B%29
158	Major accident indicators for monitoring and predicting risk levels	https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-140428-MS
159	Using process safety performance indicators (PSPI) to facilitate process safety leadership	http://www.icheme.org/~media/Documents/Subject%20Groups/Safety_Loss_Prevention/Hazards%20Archive/XXII/XII-Paper-68.pdf
160	Proactive indicators of risk in remote operations of oil and gas fields	http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-77954230104&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=%22Proactive+indicators+of+risk+in+remote+operations+of+oil+and+gas+fields%22&st2=&sid=BD054C87F3A3922ECCB2B3120A51BAD5.aXczxbyuHHiXgaIW6Ho7g%3a1760&sot=b&sdt=b&sl=88&s=TITLE-ABS-KEY%28%22Proactive+indicators+of+risk+in+remote+operations+of+oil+and+gas+fields%22%29&relpos=0&relpos=0&citeCnt=2&searchTerm=TITLE-ABS-KEY%28%5C%26quot%3BProactive+indicators+of+risk+in+remote+operations+of+oil+and+gas+fields%5C%26quot%3B%29
161	Audits related to safety management systems: Italian case studies	http://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-the-built-environment/108/20305
162	Determining process safety performance indicators for major accident hazards using site process hazard information	https://www.icheme.org/~media/Documents/Subject%20Groups/Safety_Loss_Prevention/Hazards%20Archive/XXI/XI-Paper-033.pdf
163	OECD guidance on safety performance indicators - An international approach to assessing the success of industry, public authorities and communities in managing major accident hazards	https://www.icheme.org/~media/Documents/Subject%20Groups/Safety_Loss_Prevention/Hazards%20Archive/XXI/XI-Paper-030.pdf
164	Risk indicators for major hazards on offshore installations	http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-77952816379&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=%22Risk+indicators+for+major+hazards+on+offshore+installations%22&st2=&sid=BD054C87F3A3922ECCB2B3120A51BAD5.aXczxbyuHHiXgaIW6Ho7g%3a1930&sot=b&sdt=b&sl=76&s=TITLE-ABS-KEY%28%22Risk+indicators+for+major+hazards+on+offshore+installations%22%29&relpos=1&relpos=1&citeCnt=0&searchTerm=TITLE-ABS-KEY%28%5C%26quot%3BRisk+indicators+for+major+hazards+on+offshore+installations%5C%26quot%3B%29

Nr.	Tittel	Link
165	Dynamic risk analysis: A case study on a fluidized catalytic cracking unit at the Bahrain Petroleum Company	http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-77952276681&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=%22Dynamic+risk+analysis%3a+A+case+study+on+a+fluidized+catalytic+cracking+unit+at+the+Bahrain+Petroleum+Company%22&st2=&sid=BDAAF7B92CD1FE613B3283BFEEB893B3.WeLimyRvBMk2ky9SFKc8Q%3a2320&sort=b&sdt=b&sl=124&s=TITLE-ABS-KEY%28%22Dynamic+risk+analysis%3a+A+case+study+on+a+fluidized+catalytic+cracking+unit+at+the+Bahrain+Petroleum+Company%22%29&relpos=0&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=TITLE-ABS-KEY%28%5C%26quot%3BDynamic+risk+analysis%3A+A+case+study+on+a+fluidized+catalytic+cracking+unit+at+the+Bahrain+Petroleum+Company%5C%26quot%3B%29
166	Proactive Resilience Based Indicators: The Case of the Deepwater Horizon Accident	https://www.onepetro.org/download/conference-paper/SPE-156771-MS?id=conference-paper%2FSPE-156771-MS
167	Safety performance indicators as a tool for monitoring the industrial risk on conventional power plants	http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-84873102995&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=%22Safety+performance+indicators+as+a+tool+for+monitoring+the+industrial+risk+on+conventional+power+plants%22&st2=&sid=BDAAF7B92CD1FE613B3283BFEEB893B3.WeLimyRvBMk2ky9SFKc8Q%3a2890&sort=b&sdt=b&sl=120&s=TITLE-ABS-KEY%28%22Safety+performance+indicators+as+a+tool+for+monitoring+the+industrial+risk+on+conventional+power+plants%22%29&relpos=0&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=TITLE-ABS-KEY%28%5C%26quot%3BSafety+performance+indicators+as+a+tool+for+monitoring+the+industrial+risk+on+conventional+power+plants%5C%26quot%3B%29
168	Risk analysis in the process industries: A perspective	http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-8485722266&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=%22Risk+analysis+in+the+process+industries%3a+A+perspective%22&st2=&sid=BDAAF7B92CD1FE613B3283BFEEB893B3.WeLimyRvBMk2ky9SFKc8Q%3a3130&sort=b&sdt=b&sl=71&s=TITLE-ABS-KEY%28%22Risk+analysis+in+the+process+industries%3a+A+perspective%22%29&relpos=0&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=TITLE-ABS-KEY%28%5C%26quot%3BRisk+analysis+in+the+process+industries%3A+A+perspective%5C%26quot%3B%29
169	Managing safety to achieve operating excellence	https://www.onepetro.org/download/conference-paper/SPE-125232-MS?id=conference-paper%2FSPE-125232-MS
170	Dimensions in safety indicators	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753508001239
171	Process safety leading indicators industry survey February 2013: Center for Chemical Process Safety	http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-84883668733&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=%22Process+safety+leading+indicators+industry+survey+February+2013%3a+Center+for+Chemical+Process+Safety%22&st2=&sid=4CDE073D76CCC01D2D86E79FFAE24F3A.WXhD7YyTQ6A7Pvk9AIA%3a80&sort=b&sdt=b&sl=116&s=TITLE-ABS-KEY%28%22Process+safety+leading+indicators+industry+survey+February+2013%3a+Center+for+Chemical+Process+Safety%22%29&relpos=0&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=TITLE-ABS-KEY%28%5C%26quot%3BProcess+safety+leading+indicators+industry+survey+February+2013%3A+Center+for+Chemical+Process+Safety%5C%26quot%3B%29

Nr.	Tittel	Link
172	Using metrics to drive process safety performance at Maersk FPSOs	http://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-84883699324&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=%22Using+metrics+to+drive+process+safety+performance+at+Maersk+FPSOs%22&sid=4CDE073D76CCC01D2D86E79FFAE24F3A.WXhd7YyTQ6A7Pvk9AIA%3a1120&so=b&sdt=b&sl=82&s=TITLE-ABS-KEY%28%22Using+metrics+to+drive+process+safety+performance+at+Maersk+FPSOs%22%29&relpos=0&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=TITLE-ABS-KEY%28%5C%26quot%3BUsing+metrics+to+drive+process+safety+performance+at+Maersk+FPSOs%5C%26quot%3B%29
173	Using Leading Indicators to Avoid Major Accidents	http://www.csb.gov/UserFiles/file/Roberson%20%28DNFSB%29%20Testimony%20-%20printed.pdf
174	Performance indicators in major hazard industries - An offshore regulator's perspective	http://www.csb.gov/UserFiles/file/Performance%20Indicators%20-%20Offshore%20Regulator%27s%20Perspective%20%28Whewell%29-2.pdf
175	Proactive Indicators for Managing Major Accident Risk in Integrated Operations-A Risk and Barrier Based Method Addressing Technical and Operational Factors	http://www.iocenter.no/report/proactive-indicators-managing-major-accident-risk-integrated-operations?f[0]=im_field_topic%3A79&f[1]=im_field_topic%3A85&f[2]=im_field_topic%3A84&f[3]=im_field_topic%3A94
176	Process safety indicators, a review	Tilsendt fra Ptil

(Blank side)

Vedlegg C Oversikt over litteraturgjennomgangen

Tabell C 1 viser relevante utdrag fra søkeresultatene, og disse er sortert etter henholdsvis FS1, FS2 og FS3 for hvert dokument.

Viktige momenter er markert med uthevet skrift. Hakeparenteser inneholder oppklarende ord eller setninger der utdraget er tatt ut av konteksten.

"-" markerer at dokumentet ikke inneholdt noe av relevans for det respektive forskningsspørsmålet.

Tabell C 1: Utdrag fra artikler med relevans for henholdsvis FS1-3

1 Building safety indicators: Part 1—theoretical foundation (Øien m.fl., 2011)

FS1: Often, **hindsight has shown that if signals or early warnings had been detected and managed in advance, the unwanted event could have been prevented.** This includes, e.g., the accident at the Esso natural gas plant in Longford, Australia in 1998, killing two workers (Hopkins, 2000), and the accident at the BP Texas City refinery in 2005, killing 15 worker (Baker m.fl., 2007). Recognizing signals/early warnings through the use of proactive safety indicators will reduce the risk of such major accidents. (...) The operational safety indicators cover technical, operational, and organizational conditions, **but the relationship between the indicators and the risk level is unclear.**(...) Thus, the probabilistic safety indicators are developed based on a detailed study of each of the ‘problem areas’. Note that these indicators measure a change, e.g., in isolation valves, where the effect on risk is evaluated through use of the plant specific risk analysis. **This means that the connection between the [probabilistic] indicators and safety (risk) is known, as well as the effect.** (...) The major hazard industries can benefit substantially from increased utilization of existing methods for the development of risk or safety indicators. However, all development of indicators is **context specific**. There is no such thing as a universal model or method for the development of indicators and perhaps the use of several different methods will provide the best result – the most appropriate set of indicators.

FS2: The terms safety indicator and risk indicator are sometimes used interchangeable, but it may be appropriate to distinguish between these two terms: If the RIFs are included in a risk model (a logic system structure), such as a probabilistic risk assessment (PRA), then it is possible to determine (within the limitations of the model) the effect on risk (measured by some risk metric) of a change in the indicator value of a given RIF. We then talk about risk indicators or risk-based indicators. If we do not have such a risk model, we can still identify some of the same factors and also establish some of the same indicators. However, the effect on safety has to be related to some other measures (than risk metrics), such as number of accidents or incidents, or purely qualitatively without quantifying safety. The indicators and the corresponding factors are then often selected, based on either an assumed effect on safety, or through correlation. These indicators should be denoted safety indicators to avoid confusion with risk-based indicators, and the corresponding factors are most appropriately denoted safety influencing factors. (...) Another potential pitfall ‘rushing’ further to even more remote causes is the impression that we now can cope with organizational causes. This is both a false impression and a potentially dangerous one. The organizational factors’ effect on safety/risk is by no means well understood. (...) The proactive approaches for the assessment of underlying factors’ effect on safety or risk can be illustrated by reversing the arrows in Fig. 2, illustrated and simplified in Fig. 3. (...) A major obstacle to the assessment of organizational factors’ effect on safety with respect to industrial accidents is that these accidents are so rare that a direct measure of safety is not possible. (...) These safety performance indicators are either assumed to have an effect on safety, or efforts are put into establishing correlation between the indicators and ‘safety’. (...) Within the probabilistic approach (lower part of Fig. 3) the emphasis is not on measuring the effect of organizational factors on risk as an isolated effort, since it is dealing with potential accidents and then it does not matter how rare the events are (except with respect to uncertainty and credibility). Risk is estimated based on the existing risk model, and the focus is on how this risk estimate changes and perhaps becomes more correct when the organizational factors are explicitly accounted for. (...) A positive correlation between the indicators and safety is assumed, even though the real effect on safety has not been evaluated. However, the use of these indicators has revealed safety conditions which would have remained hidden in the large amount of reports and data available. The safety indicators have a potential to improve the experiential learning.

FS3: -

2 A literature review on safety performance indicators supporting the control of major hazards (Bellamy og Sol, 2012)

FS1: An obvious and predominant line of thinking is that accidents, being negative events, had to have had causes that are also negative events. So, by identifying the potential weaknesses of an

organisation and management system in advance, it may be possible to intervene before an accident takes place. (...) In general, looking at guidance approaches, performance indicators are focused on the management inputs to and outputs of risk control such as the HSE (2006) guidance. This shows the risk control system to be a constituent part of a process safety management system that focuses on a specific risk or activity. The input might be the testing of a critical safety system. The output might be the result of the test. The approach is ultimately meant to be about causal relationships underpinning the selection of performance indicators. **However, the strengths of the relationships between indicators and safety are not generally known.** As the Health and Safety Laboratory reports (Sugden m.fl., 2007) there is a lack of literature concerning the success or otherwise of SPIs: **‘Most performance indicators seem to have been developed in the absence of any underlying rationale or holistic model. There are some suggestions that the use of performance indicators leads to improvements in system safety, but no concrete evidence of this’** (p.3). Similarly there is little apparent underpinning using causal modelling although there are many references to the Reason (1997) Swiss cheese model which is a metaphor for the concept that accidents occur because of weaknesses in lines of defence represented by holes in slices of cheese. Indicators should then perhaps measure the holes in the cheese.

FS2: In driving improvement, giving incentives is one of the functions identified by Hopkins (2009). There could be financial incentives if, for example, SPIs are linked to bonuses. Hale (2009) reports that **setting intermediate performance indicators on management drives up the reporting of intermediate events** which appears to be a success factor in lowering accident rates.

FS3: -

3 Building safety indicators: Part 2–application, practices and results (Øien m.fl., 2011)

FS1: Reactive indicators (‘lagging indicators’) are after-the-event type of indicators, while proactive indicators (‘leading indicators’) assume measurements of underlying causes and contributing factors to accidental events, such as (inadequate) training, supervision, etc., and **thus providing early warnings**. In developing safety performance indicators there will be a balance between on one hand, to concentrate on direct indicators having enough data to be meaningful, and on the other hand, to focus on indirect indicators having enough data and providing early warnings, but with less direct safety relevance. (...) **To obtain valid leading indicators is a major challenge.** Underlying causes and contributing factors may be of such a nature that it is difficult to obtain quantitative measures that are individually valid and collectively have adequate coverage, meaning that all aspects of a given contributing factor are covered by a set of indicators. (...)

FS2: -

FS3: -

4 Monitoring major accident risk in offshore oil and gas activities by leading indicators (Thorsen og Njå, 2014)

FS1: For a long time it was assumed that such [lagging] indicators could reflect an installation’s major accident risk [9]. (...) This theory has been rejected by many researchers, who conclude; **relying on personal injury statistics will not reduce the major accident risk** [11-14]. Several major accidents have further validated this conclusion, for example the BP Texas City refinery disaster in 2005, the Longford refinery accident in 1998 and the Deepwater Horizon blow out in 2010. The organizations all had excellent safety records with regard to personnel injuries and lost-time incidents before the accidents [9, 15-17]. Thorsen [18] analyzed accident statistics from some of the world’s largest oil and gas companies over the years 2008-2011. The aim was to find out if the companies with the lowest TRIF–values also had the lowest FAR–values. No correlation was found. **The lagging indicators such as TRIF and LTIF do not predict major accident risk.** (...) Risk management based upon sets of leading risk indicators might provide valuable information about changes in risk levels and aid the process of implementing effective risk reducing measures. The major issue of the study presented in this article is: Which leading indicators have a potential to predict major accident risk in the operational phase of offshore oil and gas installations? (...) The status or condition of a RIF may be measured by the use of one or more indicators, depending on the complexity and nature of the factor [26].

FS2: **Through the use of risk indicators, managers and decision-makers may increase their knowledge of important RIFs and hence reduce their uncertainty regarding future potential of major accidents.** (...) If the purpose of indicators is to increase our knowledge of major accident RIFs, lagging indicators might be important for prevention of new accidents by giving signals of where to place focus and guide the implementation of risk reducing measures. Hence, lagging indicators is a source of information for establishment and follow-up of leading indicators.

FS3: The indicator must be reliable. The data which the indicators are based on need to have a high degree of consistency and accuracy [35]. Having reliable data is a prerequisite for meaningful analyses and establishment of risk reducing measures. The indicators also need to give the same measurement/result when used by different people on the same situation [27].

5 Thinking about process safety indicators (Hopkins, 2009)

FS1: According to the Baker report, active monitoring gives rise to the following kind of indicator: the percentage of equipment that is past due for inspection. **Notice that this is a measure of safety relevant activity and the extent to which that activity has occurred. It is not necessarily a measure of safety.** (...) The first is a measure of monitoring activity, while the second is a measure of

equipment adequacy. The first can be termed an input measure and the second, an output measure. Both, surely, are relevant, yet the Baker report makes no mention of the second. (...)

FS2: Assuming that incentive schemes do have an effect, either in material or symbolic terms, one of the clearest lessons arising from the Texas City accident is the need to include measures of process safety into remuneration systems. (...) If performance is measured in terms of the numbers of people who have undergone training, the quantity can be improved by reducing the quality of the training. These are perverse outcomes. They are **focused on managing the measure rather than managing safety**. By contrast, where a failure rate is being used as a performance indicator, particularly a rate of equipment failure, there is less possibility of perverse outcomes such as described above.

FS3: "Manipulation" (see FS2)

6 Development of advanced tools and methods for the assessment and management of risk due to atypical major accident scenarios (Paltrinieri, 2012)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

7 Organisational safety indicators: Some conceptual considerations and a supplementary qualitative approach (Kongsvik m.fl., 2010)

FS1: In the safety climate tradition, indicators or factors have been produced, which have some prospective correlation with safety performance. **Still, the found correlations tend to be moderate or weak, and many studies show no such correlations at all.** One way of explaining these results is that organisational safety conditions are far to the left in the bow tie and can be considered root causes for accidents. (...) The use of indicators implies an implicit understanding of safety as a variable quantity that can be measured and broken down into components or factors. **This makes good sense when the objects are technical safety conditions and concrete, physical objects**, where we can more easily assume a linear relationship between the condition and the risk. **It becomes more complicated when this basic view is transferred to organisational safety**, such as in the risk analyses tradition. Organisational safety conditions are of a different nature. Here, social processes and interactions are fundamental, and it is useful to regard different aspects (e.g. management, competence, communication) more holistically and intertwined.

FS2: -

FS3: -

8 Safety Indicators Used by Authorities in the Petroleum Industry of the United Kingdom, the United States and Norway (Blakstad, 2014)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

9 Remote operation in environmentally sensitive areas: development of early warning indicators (Øien, 2013)

FS1: Safety performance-based indicators: **May be difficult to determine the relevance for major accidents** - unfavorable (...) Risk-based methods: **Relevance for major accident risk is known** - very favorable (...) Incident based methods: **Relevance for major accidents is apparent** (if the incident has major accident potential) - very favorable (...) Resilience-based methods: **Determining the relevance for major accidents [is a weakness]** - unfavorable

FS2: -

FS3: -

10 Process safety leading indicators—a perspective from Europe (Knijff m.fl., 2013)

FS1: A common pitfall is to see process safety as identical to that of personal safety and use the latter as the sole indicator of workplace safety. (...) However, bitter experience shows that many organizations who have suffered devastating major accidents have in fact reported excellent personal safety.

FS2: Leading indicators for process safety **offer a way of enhancing the visibility of major accident risks and fostering risk reduction.** They are now generally considered a necessary tool for effective process safety management but they should not be seen as sufficient. The risk picture provided by leading indicators needs to be supplemented by other safety activities in order to offer a complete view on the state of process safety performance. Leading indicators for process safety offer a way of examining the contributing factors to accidents and putting in place a system for monitoring these factors in a tangible process. In this manner, **early warning signals can be acted upon and the progress toward zero accidents can be assured in a meaningful way.** (...) The proactive steering of improvement actions that the use of leading indicators facilitates has its value mainly within companies. This leaves unchanged the need for reporting on lagging indicators to make our process safety performance transparent in the public domain.

FS3: Still we need to keep in mind that **comparability of leading indicators between plants is to be used with caution.** Comparability is influenced by culture, a different background in the way of operations, and heterogeneity of activities. This poses challenges to the comparability of leading indicators and the preference is to compare only where it really makes sense, otherwise the results should stay on local level.

11 Prevention of atypical accident scenarios through the use of resilience based early warning indicators (Paltrinieri m.fl., 2012)

FS1: In this way it has been also possible to understand the relevance of these resilience based indicators as early warnings of the atypical scenario and **to demonstrate, by the correspondence of the defined indicators with the accident causes, that this major accident would have been likely prevented by the application of the REWI method.**

FS2: -

FS3: -

12 Using STAMP to Develop Leading Indicators (Leveson)

FS1: There is commonly a belief—or perhaps, hope—that a small number of such “leading indicators” can identify an increase in risk of an accident. **While some general indicators may be useful, large amounts of effort over decades has not provided much progress** [Kh12]. The lack of progress may be a sign that such general, industry-wide indicators do not exist or will not be particularly effective in identifying increasing risk. An alternative, which is the focus of this paper, is to identify leading indicators that are specific to the system being monitored.

FS2: -

FS3: -

13 Proactive indicators to improve HSE based on empirical evaluation of accident investigation reports (Korrekt tittel: Proactive indicators of risk in remote operations of oil and gas fields) (Johnsen m.fl., 2010)

FS1: [Samme innhold som #14]

FS2: [Samme innhold som #14]

FS3: -

14 Proactive indicators to control risks in operations of oil and gas fields (Johnsen m.fl., 2012)

FS1: On the basis of our investigation of the accident reports, the main causes found were (...) 4. Conflicting goals between production and maintenance backlog. Prioritized maintenance or changes not performed at due date in eight cases. (...) This cause should be explored because preventive and low maintenance backlog in critical areas seem to correlate with improved safety, but no clear evidence of correlation has been found. Using hindsight, one often finds a large backlog when there has been a significant incident. (...) **A systematic and clear relationship between maintenance backlog and**

safety issues has not been verified, but using hindsight from major accidents, it has been shown that maintenance could have been an important barrier. (...) In table 4 we have listed the suggested indicators with references to theory, interviews, and review of accident reports. [Correlations to high HSE etc.] [See also FS3]

FS2: On the basis of the exploration of the indicators, we could improve our understanding of underlying theory and (causal) chain or systematic relationships. (...) The research design may be observed as double-loop safety learning to increase understanding of the causal relationship and effect of indicators on the safety level [figure 3] (...) In Lund and Aarø (2004) the effects of several preventive measures are highlighted, showing that when they are used in combination, they might influence social norms and cultural factors and, subsequently, safety.

FS3: -

15 Why do we still have major accidents?—Lessons learnt from the chemical industry (Gowland, 2013)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

16 Safety Performance Indicators: a Questioning Diversity (Delatour m.fl., 2014)

FS1: -

FS2: Challenges regarding the use of indicators: - Control by indicators: **the focus on the indicator results can lead to a change of behavior. How to ensure the safety management rather than management of the measure?** - Decision-making: most of the guidelines address the issue of reporting and indicators as a support for communication. However, none of them addresses the place of the indicator in the process of decision making. How to formalize the establishment of the indicator in the process of decision making? - Variability of measurement: evolution of standards and the principle of continuous improvement, require to continually improving references and critical thresholds of indicators. How to change indicators, and in the same time allowing a long-term comparison of results?

FS3: -

17 Risk indicators for major hazards on offshore installations (Vinnem, 2010)

FS1: This leads us to the requirement of validity, which is a critical point in the evaluation of the goodness of an indicator. Is the indicator a valid indicator for the major accident risk? (...) When companies have focused on indicators for occupational hazards, this presumably reflects the assumption that there is a strong correlation between occupational hazards and major hazards. This was found to be one of the problems in the Texas City refinery accident (The Report of the BP US Refineries Independent Safety Review Panel, 2007). The investigation found that this invalid assumption was one of the factors leading to conditions that would allow such an accident to occur. (...) It could be mentioned that a limited study in 2007 attempted to identify possible correlations between hydrocarbon leak frequencies and indicators in the RNNP questionnaire survey, see further description in Vinnem m.fl.. (2008). **Only very weak correlations were identified through the statistical analysis.** Another recently completed study (Vinnem m.fl., submitted for publication) was focused on statistical analysis of all the individual indicators in the Risk Level project, **where significant correlations were found.** (...) Consider for example the indicator defined by the number of lost time injuries. Clearly, this indicator says something about accident risk, but of course, the accident risk is more than the number of lost time injuries, so we cannot use just this indicator to conclude on development in the accident risk level as a whole.

FS2: **If major hazard indicators can assist in maintaining high awareness, this may be an important element in preventing major accidents,** and thus contribute to avoidance of accidents like Texas City and Piper Alpha.

FS3: Recording of the events may be poor, and the data may be contaminated by extraneous factors. In one case in Norway some years ago, a hydrocarbon leak and a personnel injury occurred in the same event. For a long time, the injury was focused on, and the hydrocarbon leak was overlooked. It is therefore essential that the data we want to record are **easily observable**, such that disagreements about whether the event occurred or not can be avoided. **Limiting the data collection to those events with medium and large severity will usually improve the reliability significantly.** (...) **The risk indicators must also be robust against manipulation.** (...) [Indicators] **should not be influenced by campaigns that give conflicting signals.** (...) The aspect of robustness in order to avoid manipulation is always a challenge. The precursor based indicators in the RNNP scheme are the most severe occurrences, implying that there is limited room for manipulation, because most of these occurrences will be very well known by a large group of people. For the barrier test indicators, there is somewhat more room for manipulation, especially in relation to interpretation of failure modes in

relation to recording. (...) Major hazard indicators should be a mix between lagging and leading indicators, and need to have a certain volume of data, in order to have reliable predictions and some fluctuations that can help to maintain focus. Major hazard precursors typically occur with an average frequency of once per installation per year. This is insufficient as a basis for incident based indicators on an installation level. (...)

18 Suggested proactive indicators to be used in oil and gas industry based on a survey of accidents in the industry (Johnsen, 2009)

FS1: (...) **Systematic exploration of these indicators could have mitigated some of the accidents as documented in the accident reports.** (...) If a barrier is used to reduce the probability of an incident, the state of the barrier can be used as a proactive indicator. (...) It seems that when an accident was happening, it was in a way "waiting to happen" - in that there were several faults, erosions or holes in the barriers, in combination with missing barriers.

FS2: -

FS3: -

19 Visualizing Safety Indicators : A Study of Requirements (Dyrseth, 2013)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

20 Major Accident Indicators for Drilling and Well Activities (Tranberg, 2013)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

21 A systems approach to risk management through leading safety indicators (Leveson, 2015)

FS1: In fact, most major accidents have multiple precursors and cues that an accident is likely to happen. Before an accident, such "weak signals" are often perceived only as noise. The problem then becomes how to distinguish the important signals from the noise. **Defining effective leading indicators is a way to accomplish this goal by providing specific clues that can be monitored.** (...) Accidents often occur after some type of change [35]. While signposts can be used for planned or expected changes, assumption checking is useful for detecting unplanned and potentially unsafe change. (...) Identifying leading indicators **will necessarily be related to our assumptions** about why accidents occur. Traditional accident causality models explain accidents in terms of a chain of directly related events that cause the accident. (...) In STAMP, accidents are conceived as resulting not simply from system component failures but more generally from interactions among system components (both physical and social) that violate system safety constraints.

FS2: A problem common to both probabilistic and non-probabilistic estimates of risk is heuristic biases. Psychologists have written extensively about the biases inherent in assessing risk, e.g., [38–43]. **These biases may have an impact on the leading indicators we design and how we react to them.** For example, confirmation bias is the name given to the tendency of people to pay more attention to information that supports their views than to evidence that conflicts with them. (...) Another common bias is called the availability heuristic and suggests that people tend to base likelihood judgments of an event on the ease with which instances or occurrences of that or similar events can be brought to mind. (...) A third bias occurs when people think about future events whose likelihood cannot be based on past historical rates. (...) People also have difficulty predicting cumulative causes. They tend to identify simple, dramatic events rather than causes that are chronic or cumulative. (...) A further bias is caused by an incomplete search for possible causes. (...) A final common psychological bias is called defensive avoidance. This type of bias may be reflected in the rejection or downgrading of the accuracy of leading indicators or in people's inability to take them seriously or to accept that risk may be increasing. (...) Successful creation and use of leading indicators will require ways to control the psychological biases involved in assessing risk. (...) But having leading indicators will not help if they are not used or do not result in appropriate action being taken. As described in the section on psychological biases about risk, **too often defensive avoidance is practiced and clear leading indicators are ignored until there is an accident.**

FS3: -

22 Developing safety indicators for preventing offshore oil and gas deepwater drilling blowouts (Skogdalen m.fl., 2011)

FS1: A major challenge is the availability of data to support a basic set of reliable and valid safety indicators. With respect to well integrity, the safety indicators should reflect the life cycle phases of deepwater drilling (and drilling in general) (...) **To obtain valid and reliable indicators is a major challenge.** Underlying causes and contributing factors may be of such a nature that it is difficult to obtain quantitative measures that are valid individually, and have adequate coverage collectively, meaning that all aspects of a given contributing risk influencing factor are covered by a set of indicators. (...) In this article the term safety indicator is defined as means for measuring the changes over time in the level of safety related to major accident prevention, preparedness and response. (...) The reason is that **non-ignited hydrocarbon leaks (>0.1 kg/s) are considered a valid** and reliable indicator reflecting the risk of major accidents caused by ignited hydrocarbon leaks (...) Well kicks/LWC is of special interest with respect to risks of drilling in general, and deepwater drilling specifically. Kicks are precursor events that may cause a major accident.

FS2: -

FS3: A major challenge is the availability of data to support a basic set of reliable and valid safety indicators. With respect to well integrity, the safety indicators should reflect the life cycle phases of deepwater drilling (and drilling in general) (...) **To obtain valid and reliable indicators is a major challenge.** Underlying causes and contributing factors may be of such a nature that it is difficult to obtain quantitative measures that are valid individually, and have adequate coverage collectively, meaning that all aspects of a given contributing risk influencing factor are covered by a set of indicators.

23 Combined Risk Indicator for Major Accident Precursors and Barriers in the Trends in Risk Level Project (Stensland, 2013)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

24 Performance indicators for monitoring safety management systems in chemical industry (Jovašević-Stojanović og Stojanović, 2009)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

25 Looking back and forward: could safety indicators have given early warnings about the deepwater horizon accident? (Skogdalen m.fl., 2011)

FS1: The number of kicks is an important indicator for the whole drilling industry, because it is an incident with the potential to cause a blowout. (...) Some of the most frequent causes to kicks in U.K. drilling wells were also found in U.S. wells, such as lost circulation in the same hole section with potential flow zones, too low mud weight, and uncertainty in flow zone existence, flow potential, location, or other important characteristics [11]

FS2: We have in this paper suggested a wide approach to areas for supplementing existing safety indicators and thereby for identifying risks. Safety indicators can also **support the assessment and prioritization of risks.**

FS3: Often, a major challenge is that there is **not enough data to support a basic set of reliable** and valid safety indicators. Therefore, a broad perspective is needed when developing and analyzing indicators. (...) Safety indicators are not straightforward and simple. The success of indicators is related to the extent to which they are [33]: (...) **Easy to implement and understand** by all stakeholders (e.g., workers and the public) (...) In addition to the above factors, major indicators must (...) be **robust to manipulation and influence from campaigns** giving conflicting signals, and **not require complex calculations.**[7]

26 Approach to collect leading indicators in major accident areas (van der Wielen, 2012)

FS1: -

FS2: How can lead indicators about the state of major incident prevention be collected to gain more information about the state of incident prevention of major accidents? (...) **It can be argued that every compromised barrier that is being fixed due to the use of this tool does always decrease the risk of a major accident happening at a given location; nonetheless it is not possible to provide scientific proof** that this approach to collect leading indicators can have a risk reducing effect on major accidents.

FS3: -

27 Addressing Dynamic Risk in the Petroleum Industry by Means of Innovative Analysis Solutions (Paltrinieri m.fl., 2014)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

28 Statement from the Norwegian Oil Industry Association (OLF): Process Safety Performance Indicators for Major Accident Prevention. (Nistov, 2012)

FS1: [Questions posed by the US Chemical Safety Board (CSB)]

(...) 4.2 What are the critical characteristics of effective indicators? It would be very useful if the indicators could reflect as closely as possible the hazard mechanisms. If they do, then the indicators may contribute to maintaining the awareness about the risk mechanisms. **The number of hydrocarbon leaks is thus a good major hazard risk indicator, because hydrocarbon leaks are among the most hazardous incidents on offshore installations.** (...) Is the indicator a valid indicator for the major accident risk? Does the indicator actually measure what we intend to measure? (...) But still we have problem in concluding on any development in the injury risk based on the observations from the indicator (...) 4.10.1 How do you know that a particular indicator is predictive of a major accident event? In other words, are the indicators measured demonstrably predictive of risk? If so, how? If not, why not? (...) However, one of the challenges in the establishment of major hazard indicators is to define indicators that reflect the protection against major hazards in a realistic manner. Often this will need more than one indicator, for instance precursor based as well as barrier indicators.

FS2: -

FS3: It is **difficult to establish a data collection method that gives reliable data**, i.e. the data corresponds to the quantity we would like to observe. For example, measuring the true number of leaks is in practice difficult. Recording of the events may be poor, and the data may be contaminated by extraneous factors. In one case in Norway some years ago, a hydrocarbon leak and a personnel injury occurred in the same event. For a long time, the injury was focused on and the hydrocarbon leak was overlooked. It is therefore essential that the data we want to record are easily observable, so that disagreements about whether the event occurred or not can be avoided. **Limiting the data collection to those events with medium and large severity will usually improve the reliability significantly** (...) Psychological and organizational reasons could in many cases result in a too low reporting. As an example, we may think of an organizational incentive structure where absence of incidents is rewarded (for instance by a bonus scheme). There might be a risk that some incidents are not reported as the incentive structure is interpreted as rewarding the absence of reported incidents. (...) The risk indicators must also be robust against manipulation. The point is that **the indicator should not allow the organization to “look good” by for example changing reporting behavior**, rather than making the necessary basic changes that reduce accident risk.

29 Use of Risk Indicators for Major Hazard Risk (Vinnem, 2014)

FS1: Is the indicator valid for major accident risk? Does it actually measure what it is intended to measure? Consider for example the indicator defined by the number of lost time injuries. Clearly, this indicator says something about accident risk, but of course, accident risk is more than the number of lost time injuries, so **this indicator cannot be used alone to conclude on the accident risk level as a whole**. The validity of a statement concerning accident risk based on observations of the injury rate only would thus in most cases be low. By restricting attention to this specific type of injuries, there should be no validity problem in this respect. However, we would still have a problem in concluding on any development in injury risk based on the observations of the indicator. This is discussed further by Aven (2003). (...) [Lessons learned from RNNP] 22.5.2 Relevance of Precursor Indicators. One of the challenges in the establishment of major hazard indicators is to define indicators that reflect protection against major hazards in a realistic manner. **This often needs more than one indicator**, for instance precursor based as well as barrier indicators. It can be particularly challenging to find indicators that provide a realistic prediction of major hazard risk. (...) We have shown that lagging indicators are unsuitable for major hazard focus for several reasons, not least because there will be a rather low average number of precursor events per installation per year, typically one to three, for an entire installation (...) It is contended that the RNNP indicators close to the 'sharp end' are naturally

valid. Precursors are closely linked to hazards outcomes and are therefore certainly valid. The barrier indicators we have used are close to the 'sharp end,' in the sense that they influence strongly the accident sequence. The weights of the categories of precursor events express explicitly the degree to which individual precursor indicators will influence overall risk. Weights are also used to calculate the overall barrier indicator, which also express the degree to which individual barrier indicators influence overall risk. **The RNNP indicators are therefore found to be valid major hazard risk indicators.** (...)

FS2: The authorities, the Norwegian Petroleum Directorate (NPD) at the time, now the PSA, defined a project (RNNP) of extended indicators (...). The first report was presented early in 2001 (...). It was shown that **risk indicators is an effective way to follow up QRA studies during the operations phase.** It is therefore recommended that the risk level in the operations phase be monitored in order to identify risk level changes. Risk analyses should therefore be capable of identifying the parameters or indicators that have a strong impact on risk level as well as effect changes will have on risk level. (...) The starting point is that these indicators have a certain value as presumed or established in the risk analysis. Changes in these values will imply change in risk level. (...) **The overall objectives of the use of performance indicators for HES reasons are:** - To enable the HSE management of the company. - To measure the effectiveness of its HES management activities. - To identify priority areas for further efforts in the HES field. - To spot as early as possible, degradation of equipment or lack of adherence to procedures that are vital for safety. - To satisfy regulatory systems with respect to monitoring HES performance. (...) The barrier indicators have been successful in the Risk Level approach, in the sense that they have helped the industry focus on any negative trends or components that have too high failure fraction on when tested. It may be argued that the industry should be well positioned to perform these evaluations without the help from RNNP, but the experience so far has demonstrated that the extra focus coming from the Risk Level work has been necessary. Barrier indicators have been successful in this respect.

FS3: It is difficult to establish a data collection method that provides reliable data that corresponds to the quantity we would like to observe. For example, measuring the true number of leaks is in practice difficult. Recording of the events may be poor, and the data may be contaminated by extraneous factors. In one case in Norway some years ago, a hydrocarbon leak and a personnel injury occurred in the same event. For a long time, the injury was focused on, and the hydrocarbon leak was overlooked. It is therefore essential that the data we want to record are easily observable, such that disagreements about whether the event occurred or not can be avoided. **Limiting data collection to those events with medium and large severity usually improves the reliability significantly.** Indicators should preferably be intuitive in the sense that what is measured is **considered intuitively by the workforce to be important for the prevention of major accidents.** (...) It is further preferable that major hazard risk indicators do not require complex calculations; this is also related to intuitiveness. If the number of observations goes down, it should correspond to an improvement. If complex calculations are required, confidence may be lost. Psychological and organizational reasons could in many cases result in too low reporting. As an example, we may think of an organisational incentive structure where absence of incidents is rewarded (e.g. by a bonus scheme). Then we may experience that some incidents are not reported as the incentive structure is interpreted as rewarding the absence of reported incidents. (...) **Risk indicators should not allow the organisation to "look good" by for example, changing reporting behaviour** rather than making the necessary basic changes that reduce accidents. Thus, **risk indicators must also be robust to manipulation.** (...) Seeking robustness in order to avoid manipulation is always a challenge. The precursor-based indicators in the RNNP scheme are the most severe occurrences, implying that there is limited room for manipulation, because most of these occurrences will be very well known by a large group of people. For barrier test indicators, there is somewhat more room for maneuver, especially the **interpretation of failure modes in relation to recording.** An example from the early phases of the RNNP's initial barrier data collection may illustrate this. The faults defined as reportable are those that are unrevealed until testing; only those faults that would prevent a safety-critical function, such as an isolation valve, closing on demand. Failure modes such as failing to be reset after closure are not safety critical and thus not reportable. However, some operators who wanted increased maintenance budget for their installation included all failure modes in order to have a high fraction of failures and then [hopefully] have a higher maintenance budget. **The verification of failure mode classification is therefore crucial.**

30 Environmental risk analysis (Vinnem, 2014)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

31 Identification of Global Indicators for Regulatory Risk Management in Production Platforms-Case Study of Brazilian Industry (de Almeida og de Figueiredo, 2014)

FS1: -

FS2: According to Hopkins [14], leading indicators are able to measure the ongoing risk management process and make predictions at sufficiently early stages to enable interruption of evolution course, reverse the process and avoid the fact. (...) In this context and within analyzed data, it was found that the proposed global indicators allow weaknesses identification at individual platforms level, which

can be expanded to oil companies and platform operators, **allowing regulatory and other management levels to act aiming to avoid undesirable behaviors and, in the end, avoid main situations that can lead a major accident.**

FS3: -

32 Using leading indicators to measure occupational health and safety performance (Sinelnikov, 2015)

FS1: -

FS2: The majority of survey respondents (89%) said that their organizations' ability to measure OHS performance with leading indicators was either extremely or very important. Content analysis of the open-ended responses yielded four general categories referring to the specific purposes for which leading indicators of OHS are used to (1) anticipate, prevent or eliminate risks and losses; (2) monitor and evaluate performance; and (3) motivate safe behavior, personal commitment, and continuous improvement. The **respondents highlighted the main benefits their companies derive by using leading indicators** including being proactive in protecting worker safety (33% of survey respondents), gauging the effectiveness of OHS initiatives (33%), encouraging a culture of safety among management and workers (25%), lending visibility to the company and transparency to its corporate practices (17%), improving performance on lagging indicators (17%), and identifying areas of improvement (17%).

FS3: -

33 A Systems Thinking Approach to Leading Indicators in Petrochemical Industry (Leveson, 2013)

FS1: [Samme innhold som #21]

FS2: [Samme innhold som #21]

FS3: -

34 Indicators for operational safety : A simplified method for development of indicators (Ruud, 2010)

[Ikke tilgjengelig i fulltekst]

35 Proactive safety performance indicators (Herrera, 2012)

FS1: [Relevant informasjon hentet fra artikler som inngår i avhandlingen og som allerede er tatt inn i litteraturgjennomgangen: #1, #49, # 131]

FS2: [Relevant informasjon hentet fra artikler som inngår i avhandlingen og som allerede er tatt inn i litteraturgjennomgangen: #1, #49, # 131]

FS3: [Relevant informasjon hentet fra artikler som inngår i avhandlingen og som allerede er tatt inn i litteraturgjennomgangen: #1, #49, # 131]

36 Offshore Facility Process Safety Overview (Maher m.fl., 2010)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

37 Safety Performance Indicators for the Safety Management System: Preliminary investigation (Bellamy m.fl., 2012)

[Ikke tilgjengelig i fulltekst]

38 Leading indicators of system safety—monitoring and driving the organizational safety potential (Reiman og Pietikäinen, 2012)

FS1: In practice, outcome indicators alone are often used to define safety priorities or make conclusions about the level of safety. That is not a correct use of the outcome indicators. **Outcome indicators do not have a direct relation to the current safety level** of the organization when safety is viewed as the organizational potential for dealing with both expected and unexpected circumstances. However, **outcome indicators can provide information on the functioning and failure of safety barriers**. They can thus be utilized in fine-tuning and adjusting the selected safety barriers and making corrective actions to safety systems.

FS2: Safety indicators can play a key role in **providing information** on organizational performance, **motivating people** to work on safety and increasing organizational potential for safety (...) Drive indicators, monitor indicators, outcome indicators [see figures] (...) In our model, this means that if the outcome indicators show a decrease in safety that is not explained by the monitor indicators, the underlying safety model might need revising.

FS3: -

39 Risk management in the oil and gas industry (Skogdalen, 2011)

[Identisk med #41 – kom opp som ulike søkeresultater grunnet at denne ikke viste hele tittelen]

40 Addressing Work Execution through Integrated Technology Provides New Leading Indicators to Improve Operational Risk Management (Mackay og Lehmann, 2012)

FS1: -

FS2: The kind of indicators we are talking about with WE [Work Execution] and the tools which will be available means that immediate action can be taken if forecast risk levels are excessive. Through manipulating work schedules, levels of cumulative risk will decrease to more acceptable levels. (...) These indicators provide valuable information to various levels of governance who can determine if the risks associated with continued operation in such circumstances are acceptable. These indicators for the first time can point towards potential problems or the impact of degradation in key systems on the cumulative risk within the operational window early enough that corrective actions may be taken. (...) By better understanding what defines frontline cumulative risk, we have the key to developing valuable leading indicators that can determine risk trends and therefore encourage better decision making and considerably improve process safety management.

FS3: -

41 Risk management in the oil and gas industry: integration of human, organisational and technical factors (Skogdalen, 2011)

FS1: [Relevant informasjon hentet fra artikkel #22 som er en del av avhandlingen og som allerede er tatt inn i litteraturgjennomgangen]

FS2: -

FS3: [Relevant informasjon hentet fra artikkel #22 som er en del av avhandlingen og som allerede er tatt inn i litteraturgjennomgangen]

42 How to prevent process accidents (Louvar, 2011)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

43 So we all have been implementing process safety metrics—what next? (Kadri m.fl., 2014)

FS1: Currently, one of our major challenges is the identification of meaningful leading indicators that can predict when a major accident may be imminent to prevent it from occurring. To date, our Tier

3 PSEs and engineering design near misses have been our best source of this information, but it would be valuable if we could identify other metrics to support this effort. (...) Although it **may not be possible at this time to directly correlate** that our process safety metrics program is responsible for avoiding major incidents, we **still believe that such a program has significant benefits** in reducing the number of incidents and improved performance through **early recognition** of incident trends and systemic issues.

FS2: -

FS3: -

44 Investigation into development of safety levels on Norwegian installations in the north sea post-1990 (Baillie, 2011)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

45 Assessment and comparison of two early warning indicator methods in the perspective of prevention of atypical accident scenarios (Paltrinieri m.fl., 2012)

FS1: -

FS2: Most of all, in a perspective of prevention of atypical accident scenarios, detection of early warnings **could improve organizational awareness** (mindfulness) of safety problems [38] and **reduce complacency** in organizations where major accidents are possible but rare [6]. This result could be obtained by developing proactive indicators (early warning indicators) to constantly monitoring the system followed by implementation of corrective actions - if needed. (...)They appeared to be able to prevent this type of accidents from happening, if in use. The methods do not strictly depend on the occurrence of events, thus they are also **able to address the prevention of never previously experienced events**, the so-called ‘Unknown Unknown’ events.

FS3: -

46 Cheddar or Swiss? How strong are your barriers? (Broadribb m.fl., 2009)

FS1: -

FS2: The approach described in this article, therefore, aims to create a combination of Process Safety Performance Indicators that lead to stronger more robust barriers. (...) To systematically reduce incidents, especially, low probability/high severity process safety events, industry must focus on prevention, and more specifically focus on the strength of barriers, as described by the “Swiss-Cheese” model. The use of carefully selected and managed PSPI **can lead to stronger more robust barriers**, in essence changing the cheese slices from “Swiss” to “Cheddar.”

FS3: -

47 Methodology for monitoring safety level development in and around Seveso establishments (Tinmannsvik m.fl., 2013)

FS1: Risk based indicators are linked to a risk model. **Using this model, we can estimate how a change in the indicator will affect risk.** The **other approaches will not provide such a relation;** safety performance based indicators are based on the assumption that they are important for safety. Such an assumption can be based on sound arguments and relatively clear causal relationships, but it is not based on a risk model, which makes it possible to quantify an assumed effect on the level of risk.

FS2: -

FS3: -

48 Risk Multidimensional Measure of Complex Accident System (Wang, 2014)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

49 Proposing safety performance indicators for helicopter offshore on the Norwegian Continental Shelf (Herrera m.fl., 2011)

FS1: The literature review shows that the majority of indicators are selected from check lists or because they are easy to collect. This approach does not necessarily support indicators relevance towards safety. The FRAM modeling provides a more dynamic approach to helicopter operations. (...) Indicators identified using FRAM are leading, **these indicators show a correlation to a successful operation.**

FS2: Operational: It is possible to use the indicator to **identify specific improvement measures** in an operational context. (...) The indicator discussions with the industry helped to **identify recommended measures** to improve safety relevant to actual performance

FS3: -

50 Indicators of safety culture-selection and utilization of leading safety performance indicators (Reiman og Pietikäinen, 2010)

FS1: **The phenomenon in question cannot be accurate measured by one indicator, rather multiple indicators are needed.** Multiple causal links and directions; e.g. careless attitude toward personal risks causes occupational accidents (lag indicator) that decrease overall employee wellbeing (lead indicator) and trust in the safety management systems (lead indicator) with a combined effect of decreased system safety and increase in unsafe behaviours (lag indicator).

FS2: **The overall objective of the project was to provide an overview of the selection and effects of leading safety performance indicators** in the domain of nuclear safety. (...) To summarize, safety indicators can have different types of effects on the behaviour in the organization:

- **Direct effects on the measured metric:** selection of some specific indicator increases that kind of behaviour (e.g. counting the number of management walk arounds per month increases the amount of management walk arounds)

- **Direct effects on the indicated phenomenon:** the selection of some specific indicator increases the underlying (psychological) phenomena (e.g. counting the number of management walk arounds per month increases the management's commitment to safety and personnel's interest in safety)

- **Unintended effects:** the personnel become more interested in managing the indicator itself rather than the phenomenon of which it is supposed to provide an indication. For example, the management optimizes the number of walk arounds and neglects other (important) issues that are not being measured.

(...) Safety performance indicators are just what the name implies, indicators of safety performance. As such, the indicators themselves are not that important. More important is what they tell about the safety performance, aka what they are indicating. Problems occur when management is driven by a goal of optimizing the indicators and not the phenomena underlying them. Hopkins (2009, p. 464) calls this "**managing the measure rather than managing safety**". In such case the indicators are no longer indicating what they were supposed to indicate. They become loosely coupled to the phenomenon of interest. This means that they still have a connection to safety performance, but the connection is neither direct nor just one of indication – the act of optimizing certain indicator also has an effect on the underlying phenomena. This effect might show in other indicators, or it might remain hidden as a latent factor in the organization.

FS3: "Manipulation" (see FS2)

51 Multi-criteria decision analysis in occupational safety management systems (Janacovic m.fl., 2011)

FS1: -

FS2: These indicators [lagging] need to be monitored but **they will not give adequate forewarning to prevent accidents.** (...) **Leading indicators are selected to provide an early warning** just in time to prevent process accidents (...) Safety performance indicators system **provides a global view of safety status** in a plant or an organization. It can be used in conjunction with inspection and evaluation activities carried out for the regulatory control. Safety indicators evaluation results **can be used as an input for inspections or audits planning** [8].

FS3: -

52 Developing system-based leading indicators for proactive risk management in the chemical processing industry (Khawaji, 2012)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

53 Research on Risk Monitoring and Simulation of China's Civil Aviation Industry (Jing m.fl., 2009)

[Ikke tilgjengelig i fulltekst]

54 Psychosocial risks and hydrocarbon leaks: an exploration of their relationship in the Norwegian oil and gas industry (Bergh m.fl., 2014)

FS1: Regression analysis results showed that **only the psychosocial risk indicator significantly accounted for variation in hydrocarbon leaks**. Only partial support was found for the relationship between technical factors and hydrocarbon leaks on the basis of correlation analysis.

FS2: -

FS3: -

55 Offshore safety management: implementing a SEMS program (Sutton, 2013)

FS1: Examples of leading indicators include the following: number of field visits and inspections; (...) For each of the topics shown above (and others like them) an increase in the number of activities will, **it is assumed lead to an increase in process safety**.

FS2: Unfortunately it is **difficult to quantify the effect of activity-based leading indicators** because there is no way of knowing how much effect each activity has on the overall results.

FS3: -

56 The safety barometer: How safe is my plant today? Is instantaneously measuring safety level utopia or realizable? (Knegtering og Pasman, 2013)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

57 Safety climate and hydrocarbon leaks: An empirical contribution to the leading-lagging indicator discussion (Kongsvik m.fl., 2011)

FS1: When these three kinds of studies are considered together in meta-analyses, **correlations between safety climate and safety performance and outcomes are found to be statistically significant**. (Safety climate as a leading indicator for safety performance). (...) The results support our first hypothesis that **safety climate is a leading indicator**. (...) The correlations also give support for the second hypothesis that **safety climate is a lagging indicator**.

FS2: -

FS3: -

58 A Framework for the Management of Ageing of Safety Critical Elements Offshore (Sharp m.fl., 2011)

[Ikke tilgjengelig i fulltekst]

59 Challenges and needs for process safety in the new millennium (Qi m.fl., 2011)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

60 Use of accident precursor event investigations in the understanding of major hazard risk potential in the Norwegian offshore industry (Vinnem, 2013)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

61 Measuring safety climate in aviation: A review and recommendations for the future (o'Connor m.fl., 2010)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

62 Risk analysis in handling and storage of petroleum products (Massimo m.fl., 2013)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

63 A holistic approach to control process safety risks: Possible ways forward (Pasman m.fl., 2013)

FS1: -

FS2: For safety indicators with their long-term effects, diagnosis is even more difficult. Signs interpreted as important for safety, may escape the attention of higher management whose decision making may be predominated by controlling cost drivers. **Even if changes of indicator values are recognized as significant at some place in the organization, it is still uncertain whether higher management will respond the correct way.** History present many examples of management receiving timely warning signals and alerts to act that were not followed, upon which disaster struck. On the other hand, false alarms are deadly for credibility in a system. It therefore has to be certain what the safety metrics and their trends indicate with respect to the level of process safety, and at what intensity of signal strength action to improve procedures, culture, or hardware will become urgent. For this purpose indicators need to be related to clear symptoms of lack of safety, and these symptoms shall be related to increased risk of incipient mishap and accident.

FS3: -

64 RAG – Resilience Analysis Grid (Hollnagel, 2011)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

65 Risk measures constituting risk metrics for decision making in the chemical process industry (Prem, 2010)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

66 Supporting organizational learning by comparing activities and outcomes of the safety-management system (Gerbec, 2013)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

67 What Is Learning? A Review of the Safety Literature to Define Learning from Incidents, Accidents and Disasters (Drupsteen og Guldenmund, 2014)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

68 Kvantifisering og aggregering av indikatorer for storulykkesrisiko (Pettersen, 2012)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

69 Identifying safety challenges related to major change processes (Johnsen m.fl., 2009)

[Ikke tilgjengelig i fulltekst]

70 In Safety We Trust (Tharaldsen, 2011)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

71 Assessing propensity to learn from safety-related events (Drupsteen og Wybo, 2015)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

72 Monitorering av storulykkesrisiko i drift av offshore installasjoner. En studie av ledende indikatorer (Thorsen, 2013)

FS1: Hensikten med denne studien har vært å se på hvilke ledende indikatorer som har potensiale til å predikere storulykkesrisiko i drift av offshore-installasjoner. Statoil er brukt som case og fokuset har vært på risikoen for olje – og gasslekkasjer. Det ble først gjennomført en forstudie, hvor gyldigheten av Heinrich isfjellteori ble undersøkt. Dette ble gjort ved å samle inn ulykkesdata fra flere av verdens ledende oljeselskaper. Hensikten var å finne ut om det eksisterer en sammenheng mellom antall rapporterte hendelser (TRIF) og dødsulykker (FAR). Kan lavere rapporterte TRIF - tall predikere en reduksjon i FAR og således si noe om storulykkesrisiko? **Konklusjonen er klar. Indikatorer som TRIF er ikke gode mål på storulykkesrisiko.** Det er dermed behov for å se etter andre indikatorer som kan gi et mer valid bilde av storulykkesrisikoen på en offshore installasjon. I det videre arbeidet har det blitt benyttet flere datakilder for å identifisere potensielle ledende indikatorer for storulykker. Det er gjennomført intervjuer av 12 personer tilknyttet 9 ulike installasjoner i Statoil, analyser av fem granskingsrapporter av seks hydrokarbonlekkasjer og en omfattende gjennomgang av tidligere forskning. Det har blitt identifisert hvilke indikatorer som vektlegges i sikkerhetsarbeidet i Statoil, i tillegg til mange risikoforhold som er ansett til å ha påvirkning på storulykkesrisikoen. **Analysene av granskingsrapportene avslørte at flere av de bakenforliggende årsakene til gasslekkasjene, ikke kunne blitt fanget opp av dagens indikatorer i Statoil.** Dette demonstrerte viktigheten av å etablere nye indikatorer, spesielt for organisatoriske forhold. Den tidligere forskningen er benyttet til å identifisere indikatorer tilknyttet de risikopåvirkende forholdene, som ble identifisert gjennom intervjuer og granskinger. Alle indikatorene er så evaluert opp mot noen utvalgte kriterier som bør stilles til indikatorer for at de skal være nyttige verktøy i arbeidet med å redusere storulykkesrisiko. Resultatet av evalueringen dannet grunnlaget for å foreslå ledende indikatorer for storulykker. **Det var imidlertid få av indikatorene som individuelt scoret høyt i forhold til de utvalgte kriteriene.** Dette er med på å bekrefte utfordringen med å finne gode ledende indikatorer, som kan varsle om endringer i risikonivået på en offshore installasjon. Fokus på enkeltindikatorer vil ikke være tilstrekkelig for å predikere risikoen for storulykker. **Resultatet har derfor blitt et indikatorsett bestående av 16 ledende indikatorer, som tilsammen kan bidra til å gi informasjon om de risikofaktorene som påvirker storulykkesrisikoen på en offshore installasjon.** Indikatorsettet som foreslås, dekker både tekniske, operasjonelle og organisatoriske forhold, men er ikke uttømmende. Det er tatt hensyn til at offshore-organisasjonen vil ha et begrenset antall indikatorer å forholde seg til i det daglige sikkerhetsarbeidet. Flere av plattformsjefene ga uttrykk for at de ikke var spesielt tilhenger av indikatorstyring. Det ble påpekt at det blir brukt mye tid og tolket mye ut av et begrenset tallmaterialet, og at mange av indikatorene i Statoil egner seg best på aggregert nivå. Det ble derfor vurdert som viktig å velge ut indikatorer, som er tilpasset en installasjon og som offshore – organisasjonen kan ta eierskap til, og benytte i det daglige sikkerhetsarbeidet.

FS2: Det er vanskelig å se på utvikling og lese trender basert på lite tallmaterialet. På selskapsnivå eller for hele norsk sokkel kan dette være aktuelt, men på den enkelte installasjon er det for lite hendelser som inntreffer til at det kan gi en indikasjon på at storulykkesrisikoen har økt på installasjonen. Det gjør det også **utfordrende å vite hva slags risikoreducerende tiltak som bør implementeres eller hvilke tiltak som har hatt effekt.** [Se tabell 28 s. 110 og utover for vurdering av de enkelte indikatorene]

FS3: Indikatorene SIF, FOF og Olje – og gasslekkasjer bygger på data fra Synergi. Alle hendelser skal registreres og saksbehandles her. Synergi blir beskrevet som et tungt og lite intuitivt system av flere av informantene. Det blir også påpekt at det kan være utfordrende å kategorisere hendelsene riktig, noe som gjør at det blir vanskelig å søke opp tidligere saker. **At hendelsene kategoriseres feil vil også påvirke indikatorene som bygger på Synergi-data, da spesielt i forhold til pålitelighet.** (...) Karakterene på PS'ene settes subjektivt, basert på PS-ansvarlig sin kompetanse og erfaring, i tillegg til input fra TFA og TSA. **Karakterene kan dermed variere ut fra hvem som vurderer og setter karakter, noe som kan redusere påliteligheten til indikatoren** (Hale, 2009). En av informantene fra AI påpekte at det er god oppfølging i forhold til kompetanse og at dette er ivarettatt. En plattformsjef uttrykte derimot skepsis til kompetansen til AI og mente at systemet mister sin verdi dersom det er en ny i AI eller en som ikke har rett kompetanse.

73 Trends, problems and outlook in process industry risk assessment and aspects of personal and process safety management (Fabiano og Pasman, 2010)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

74 An introduction of accidents' classification based on their outcome control (Karanikas, 2015)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

75 Reflection on a model of accident reporting to help to implement efficient prevention strategies (Textoris og Tanzi, 2013)

FS1: Accordingly, the hypothesis is if we work on the pyramid basis, any type of major accidents could be avoided. This reflection supposes that most accidents have common root causes and that minor injuries have the same potential to become serious. Thus, by preventing minor injuries, we will prevent serious injuries. (...) To conclude, the company has improved its frequency rate, which is often due to a zero accident policy, but in the same time, the number of fatal accidents has increased. **The control of the most frequent events, when it is needed, is not sufficient for decreasing the effects of accidents.**

FS2: -

FS3: -

76 Accident modeling and risk assessment framework for safety critical decision-making: application to deepwater drilling operation (Rathnayaka m.fl., 2013)

[Ikke tilgjengelig i fulltekst]

77 Lees' Process Safety Essentials: Hazard Identification Assessment and Control (Mannan, 2013)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

78 Design of Process Safety Management Performance Indicators (Shie, 2009)

[På kinesisk, kun abstractet på engelsk]

79 Analysis of root causes of major hazard precursors (hydrocarbon leaks) in the Norwegian offshore petroleum industry (Vinnem m.fl., 2010)

FS1: Several attempts have been made to analyse different data sources in order to discover relations that may cast some light on possible root causes of major hazard precursors. These previous attempts were inconclusive. The study presented in this paper is the most extensive study performed so far. The data were analysed using linear regression. The conclusion is that there are **significant correlations between number of leaks and safety climate indicators**. The discussion points to possible root causes of major accidents.

FS2: -

FS3: -

80 Improving proactive major accident prevention by new technology and work processes (Albrechtsen m.fl., 2013)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

81 Care and concern for people we'll never meet - Process safety in the design of the Wheatstone platform (Stevenson, 2012)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

82 The Practical Application of Process Safety Principles to Determine and Monitor Asset Integrity of Oil and Gas Facilities (Hopkins, 2011)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

83 Managing environmental & safety performance as a corporate value - Key lessons to be learned from a CCPS benchmarking initiative (Bhatnagar m.fl., 2011)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

84 Managing process safety of the upstream sector: Lessons learnt from the downstream industry (Bhatnagar m.fl., 2011)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

85 Using Incident Data as Leading Indicators in the Assessment of Major Incident Risk within JV Operations (Linzi og Smith, 2013)

FS1: -

FS2: The methodology relies on assessing both the level of risk inherent within each operation and the quality of the HSE-MS the operator has in place to manage the risk. The latter is being assessed through the use of leading and lagging indicators and audit/review information. This **information will be used to assess the quality of the barriers** the operator has in place to manage major incident risk.

FS3: -

86 Development of risk-based process safety indicators (Khan m.fl., 2010)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

87 Risk management for catastrophes: Risk of catastrophic incidents is becoming manageable (Walters, 2012)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

88 Improving the performance of established PSM programs (Klein og Dharmavaram, 2012)

FS1: In some cases, existing leading indicators may not prove particularly useful, because current performance based on management attention has been excellent. **If leading indicators are basically zero, they lose value** except for noting (hopefully) rare occasions when something, such as a maintenance test, does not get done on time.

FS2: -

FS3: -

89 Occupational Health and Safety Scorecards : New leading indicators improve risk management and regulatory compliance (Juglaret m.fl., 2011)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

90 Properly Handle Abnormal Situations (Bullemer, 2013)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

91 Upstream Oil and Gas Industry Process Safety Event Data: A First Step (Walker m.fl., 2014)

FS1: -

FS2: Standardized metrics will **enable benchmarking of process safety performance** across the industry. With an increasing number of industry associations standardizing the definitions, threshold values and process safety metric used, a global industry approach to process safety performance monitoring may be a realistic goal.

FS3: -

92 Normalization of process safety lagging metrics (Wang m.fl., 2013)

FS1: -

FS2: Leading indicators **evaluate the PSM completeness and improve risk elimination in organizations**. Thus, leading indicators can be used to improve safety management systems that may fail, while lagging indicators can be used to improve safety management systems that have already failed.

FS3: -

93 The evolution and current status of process safety management metrics (Cummings, 2009)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

94 An intelligent monitoring system to predict potential catastrophic incidents (Painting, 2014)

FS1: The ‘Correlating process safety leading indicators with performance’ paper (Forest & Kessler, 2013) used **Six Sigma methodologies to map and identify leading indicators and the correlation** between these and the incident occurring.

FS2: -

FS3: -

95 Normalization of Process Safety Metrics (Wang, 2012)

FS1: -

FS2: Lagging metrics are typically used to display incident statistics and inputs in risk analysis. The incident information **offers valuable data for revealing potential hazards or near misses before major incidents manifest**, as indicated by lagging indicators. The lagging metrics have been used as ultimate measurements to **help management understand system deficiencies at an early stage**. (...) Next, lagging indicators could be used to **benchmark an organization’s performance** by showing the trends, improvements or degradations against safety goals within or outside organizations. Lagging metrics can provide the potential list of contributing hazards, events, or failures for management to fix. (...) Currently, adopting the comprehensive process lagging metrics will **meet the expectation of establishing good safety culture**. Decision-making equipped with proper process lagging metrics results **often provides the cost-effective solution**.

FS3: -

96 A propane fire connected to dumping procedure in a process plant (Cermelli m.fl., 2013)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

97 Learning's from Applying the API Process Safety Incidents (PSI) Metric to Upstream Operations (Kehn og Wischmeier, 2010)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

98 Improving process safety culture: An audit checklist for effective first-line supervision based on common operations failure modes (Bullemer og Laberge, 2011)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

99 The art of measuring nothing: The paradox of measuring safety in a changing civil aviation industry using traditional safety metrics (Lofquist, 2010)

FS1: -

FS2: Paying more attention to leading indicators or even the development of latent conditions that do not have immediate negative consequences **can produce significant benefits for both understanding safe system operations and preventing systems from becoming unstable.**

FS3: -

100 Development of Early Warning Indicators based on Resilience Engineering (Øien m.fl., 2010)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

101 Study on the Structure of Safety Performance Indicators for Airline Companies (Sunghoon m.fl., 2013)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

102 The value of safety indicators (Kampen m.fl., 2014)

FS1: -

FS2: The relationship between indicators and performance and the mechanisms through which indicators contribute to preventing accidents and incidents both **require additional research.** (...) Obviously, a drive to collect more indicators will not result in a better performance by itself. (...) **In general, the companies that use them consider the indicators important for safety.** (...) just because an indicator is deemed important does not, of course, mean that it is actually important.

FS3: -

103 How can we use the information provided by process safety performance indicators? Possibilities and limitations (Pasman og Rogers, 2014)

FS1: -

FS2: By the introduction of process safety indicators, **a further shift to pro-action and to prevention of losses will be made possible.** Beside the question which (leading) indicators to choose, several others will be identified if no further improvement of the indicator level appears.

FS3: -

104 Exploring the relationship between major hazard, fatal and non-fatal accidents through outcomes and causes (Bellamy, 2015)

FS1: Smaller severity more frequent accidents can provide information about the direct and underlying causes of bigger severity more catastrophic accidents but only if looking within the same hazard category. (...) This leads to the conclusion that the analysis of occupational accidents can help in addressing major ones providing it is restricted to the same hazard type, **contradicting the view that personal and process safety are totally unrelated.** (...) Analysis of the database of 23,030 Dutch serious occupational accidents 1998–2009 with 36 hazard bow-ties shows a relationship between the smaller severity outcome more frequent accidents and the more severe outcome rarer accidents when the data are scrutinised within the same hazard category. This contradicts what Hopkins (2009) has said regarding occupational versus process accident risks, that the distinction between personal and process safety “is really a distinction between different types of hazards.” On the contrary, it is shown here that there is a link between occupational and process safety and between fatal and nonfatal occupational accidents, and that link is the hazard. (...) Within hazards the number of rarer fatal accidents correlate with the number of non-fatal accidents suggesting common underlying factors. When analysing safety barrier failures, fatal and non-fatal accidents were found to share the same underlying causes except in different proportions. Priorities concerning the prevention of more severe accidents could be determined by identifying types of safety barrier failures in less severe accidents of the same hazards and then determining which ones are important in preventing more severe accidents. This could be done by considering the potential for the more severe outcomes of the different types of barrier failures rather than by only considering the most frequent. (...) The concern is often expressed that because big severity accidents are rare it is hard to learn how to prevent them. The results of this paper suggest that investigating the underlying causes of the more minor more frequent incidents or deviations and fixing the safety barrier problems with a higher severity potential could help prevent the bigger accidents of the same hazard type.

FS2: -

FS3: -

105 Process Safety Performance Indicators (Pasman, 2012)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

106 Risikoindikatorenes evne til å fange sorte svaner (Sæbø, 2014)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

107 Safety, reliability and worker satisfaction during organizational change (Zweetsloot m.fl., 2014)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

108 Design of integrated aircraft inflight safety monitoring and early warning system (Wang og Zhao, 2010)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

109 The effect of Macondo blowout on risk analysis and risk management (Baligira, 2013)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

110 Final report on severe accident risks including key indicators (Burgherr m.fl., 2011)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

111 The future of catastrophic event prevention: Seven questions leaders need to ask (Stricoff, 2011)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

112 Assessment of catastrophe risk and potential losses in industry (Kleindorfer m.fl., 2012)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

113 OFFSHORE DRILLING RISKS—1: Study: Risk indicators have varying impact on mitigation (Mannan m.fl., 2014)

[Ikke tilgjengelig i fulltekst]

114 On the practice of safety (Manuele, 2013)

[Ikke tilgjengelig i fulltekst]

115 Integrated risk and crisis management: The Landscape (Jappesen og Rygel, 2014)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

116 Modeling attitudes and perceptions as predictors for changing safety margins during organizational change (Lofquist m.fl., 2011)

FS1: This study addresses the problem of measuring safety in high risk environments that have reached ultra-safe levels of performance (Amalberti, 2001) where the traditional measures of incidents

and accident reporting fail to capture developing latent conditions that may lead to disaster. As discovered early in this study, safety is, at best, a latent concept representing a process (Hollnagel, 2008), and not a product. Safety can only be measured indirectly through other indicators. We could also argue that **single indicators are not enough**, and **relying solely on incident and accident reporting fails to capture an accurate picture** of an evolving safe system.

FS2:

FS3: -

117 Spatial correlation as leading indicator of catastrophic shifts (Dakos m.fl., 2010)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

118 Indicators in Safety Management: A Cartography of Approaches and Applications (Mazri m.fl., 2014)

[Ikke tilgjengelig i fulltekst]

119 Decision Support in Safety Management (Waefer m.fl., 2012)

FS1: -

FS2: Hopkins (2009) points to another problem when assessing safety on the basis of indicators. **There is a danger that the application of indicators misleads to managing the indicator rather than managing safety.** Backlog in equipment maintenance for example is a frequently used indicator for assessing safety. However, the objective to reduce the backlog may lead to a quicker maintenance with reduced quality. Doing so, the indicator shows better results, but the safety is still vulnerable.

FS3: "Manipulation" (see FS2)

120 Leadership, psychological capital and safety research: Conceptual issues and future research questions (Eid m.fl., 2012)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

121 Evaluation of process safety indicators collected in conformance with ANSI/API Recommended Practice 754 (Mendeloff m.fl., 2013)

FS1: -

FS2: -

FS3: For process safety indicators a key issue is whether, in the relevant time periods, there are **sufficient instances of the events being counted** to be able to meaningfully estimate a rate of events. More specifically, the “events” that are counted **must occur in sufficient numbers to permit statistical comparisons and trend analyses** (often called “benchmarking”), so that the indicators can be used to drive process safety performance improvements. (...) The reliability of a measure refers to the concern that different raters might disagree in their assessments or that raters might use different standards at different times. (...) **There can be a lack of reliability due to conflicting judgments about whether particular events count as reportable or due to different levels of commitment to recording and reporting incidents.** (...) The workplace example may be somewhat misleading because those rates depend so heavily on the reporting behavior of injured workers. In contrast, many of the PS events are not tied to individual workers’ injuries. But, on the other hand, many of them are. Many Tier 1 events depend on whether there was an injury with days away from work. And many Tier 2 events depend upon whether there were OSHA recordable injuries. Thus the reporting of these process safety events will depend to a substantial degree on **whether workers report the injuries.**

122 Behavioral study of diverse workforce towards various Health, safety & environment engagement strategies in upstream oil & gas industries (Al-Shatti m.fl., 2013)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

123 Plumbing the depths: Utilizing O&G reserve profiles to develop forward-looking risk assessments for exploration and production activities (Botelho m.fl., 2014)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

124 Annoyance and Worry in a Petrochemical Industrial Area—Prevalence, Time Trends and Risk Indicators (Axelsson m.fl., 2013)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

125 Praktisk bruk av sikkerhetsindikatorer relatert til samhandling: Utvikling og praktisk test av indikatorsett for integrerte operasjoner i olje- og gassnæringen (Hanto, 2011)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

126 Bayesian approaches for detecting significant deterioration (Røed og Aven, 2009)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

127 Safety indicators as a tool for operational safety evaluation of nuclear power plants (Araujo m.fl., 2009)

FS1: -

FS2: The use of critical indicators of safety, defined through the concept of areas, allows the identification of adverse trends, rather than a limit or range is reached, **providing opportunity for regulatory decision making, to prevent degradation of safety margins**. The structure of the indicators presented in this study is consistent **and can identify situations where regulatory actions are necessary** to ensure the safety of the public and employees of the plant, allowing economy of resources. These resources can then be focused on areas where deficiencies are identified.

FS3: -

128 Guidance for safety performance indicators (Louvar, 2010)

FS1: An SPI program is primarily a measure of management's performance and you can only manage what you measure. SPIs are selected and measurable indicators related to the effectiveness of managing PSM. The measurement, analysis, and control of leading and lagging process performance indicators **improve the performance of process safety**.

FS2: This program also **develops a positive safety culture**: personnel will understand and value process safety and will be motivated to facilitate an effective SPI program, and will know that it is their responsibility to fearlessly stop operations when problems arise.

FS3: -

129 Leading safety performance indicators for resilience assessment of radiopharmaceuticals production processes (dos Santos Grecco m.fl., 2011)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

130 Artificial neural network model for prediction of safety performance indicators goals in nuclear plants (Souto m.fl., 2011)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

131 Aviation safety and maintenance under major organizational changes, investigating non-existing accidents (Herrera m.fl., 2009)

FS1: -

FS2: The nuclear industry proposed a set of safety performance indicators as a measure of safety performance (Dahlgren m.fl., 2001). Several potential benefits regarding the use of indicators were identified. Some of the benefits are the identification of an objective, auditable and non-disputable set of safety parameters and the procurement of insight in relation to what is important to safety. On the other hand, **indicators cannot be used alone to draw conclusions about safety performance**. Also indicators can be misused and manipulated. An indicator trend is not necessarily the sole indicative factor in safety performance, and finally indicators cannot replace qualitative engineering judgment. (...) The aviation industry has focused on measuring reactive indicators as a safety measure. However, it is recognized that these indicators do not provide a complete picture of the safety level. (...) **An important topic in this paper is the relation between safety indicators and safety level**. Based on the statistical data, it is possible to argue that **the increase of MEL [an indicator] has a direct relation to a diminution in the technical condition of the aircraft and may represent a diminution in the safety margins**. (...) The results of the analysis of indicators were discussed with the airline maintenance staff to assess the meaning of the trends. The focus of the indicators was on safety; **a side effect**

was that monitoring of proactive indicators also enabled increased regularity. A major finding is that **the use of the proactive indicator provided an additional source of information to the company in order to improve operations**. An example is the use of indicators like Minimum Equipment List (MEL) provided an early warning to the organization of the health of the aircraft. This indicator confirms what it is argued that **making boundaries visible may also increase system effectiveness** (Rasmussen, 1997). Appendix A contains a list of safety indicators, both reactive and proactive. By using these indicators, together with interviews, it **might be possible to improve the monitoring of safety performance**. (...) Traditionally the airlines have used reactive indicators to assess safety issues and activated corrective actions. The airlines should consider putting in place proactive indicators as a predictive approach in order to identify emerging risks.

FS3: The use of a combination of proactive and reactive indicators provided the industry with new insights towards their operations. In relation to the set of indicators used in the present project, the **major constraint was related to the possibility of obtaining data that could be compared across the different companies**. This constrain affects the collection and interpretation of data related to economic indicators. (...) It should be possible to measure the development of a safety level by specifying indicators. The industry should select indicators that are possible to follow up and develop methodology and guidelines to ensure that the results will be based on the same background in all companies involved.

132 Errors and uncertainties in safety validation of objects using atomic energy (Kovalevich og Stroganov, 2009)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

133 A proposal of safety indicators aggregation to assess the safety management effectiveness of nuclear power plants (Carvalho m.fl., 2009)

FS1: As illustrated in Figure 2, the analysis of recent events in the nuclear and nonnuclear areas shows how **the identification of these anticipatory signals is crucial in preventing accidents**.

FS2: Managerial issues as complacency, focus on production, excessive self-confidence, isolationism, work overload and others that affect the safety performance of an organization cannot be directly measured, but a **long stand in determining or implementing corrective actions are proactive indicators** that may be associated with one or more of these issues.

FS3: -

134 Development of Integrated Safety Performance Assessment (ISPA) Program To Determine the Safety Performance Grade of Nuclear Power Plant (Chung m.fl., 2010)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

135 A review of the past, present and future of the European loss prevention and safety promotion in the process industries (de Rademaeker m.fl., 2014)

FS1: -

FS2: Process safety performance indicators **form a powerful pool of data on the functioning** of an organization.

FS3: -

136 Evaluating safety-critical organizations-emphasis on the nuclear industry (Reiman og Oedewald, 2009)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

137 Safety culture assessment: A fuzzy model for improving safety performance in a radioactive installation (dos Santos Grecco m.fl., 2014)

FS1: Assessing the safety culture of an organization is not easy because there is no simple indicator that measures its state. (...) According to INSAG (International Nuclear Safety Advisory Group (INSAG), 1991), the establishment of a positive relationship between safety culture and the actual safety of the organization depends on safety performance indicators that can be used to infer changes in safety culture and consequently predict changes in safety performance. The challenge is to identify measurable organizational factors or attributes that influence safety. (...) The challenge in terms of using lagging safety performance indicators for monitoring the current safety level is the **unclear causal link between past events and current safety performance**.

FS2: In this context, this paper presents a fuzzy model for safety culture assessment using safety performance indicators able to predict changes in an organization's safety performance. (...) **Several reasons for using leading indicators have been proposed in the literature:** they provide information on where to focus improvement efforts (Reason, 1997); they direct attention to proactive measures of safety management rather than reactive follow-up of negative occurrences or trending of events (Woods m.fl., 2006); they provide early warning signs of potential weak areas or vulnerabilities in the organizational risk control system or technology (Wreathall, 2010); they focus on precursors to undesired events rather than the undesired events themselves (Electric Power Research Institute e EPRI, 2000); they provide information on the effectiveness of the safety efforts underway (International Atomic Energy Agency e IAEA, 2000); and they describe the organization's health, not only sickness or the absence of it (International Atomic Energy Agency e IAEA, 2008).

FS3: -

138 The challenges in defining aviation safety performance indicators (Roelen og Klompstra, 2012)

FS1: The difficulty with many leading indicators is that they are associated with organisational and managerial issues which are difficult to quantify and whose **relation with accident risk is less obvious**.

FS2: -

FS3: -

139 Where Is the Organization Looking in Order to Be Proactive about Safety? A Framework for Revealing whether It Is Mostly Looking Back, Also Looking Forward or Simply Looking Away (Woods m.fl., 2015)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

140 Building a state level of safety indicators (SPI) (Vittekk m.fl., 2014)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

141 Framework Safety Performance Indicators (Roelen m.fl., 2014)

FS1: Aviation safety performance indicators [for the total aviation system, not only major accidents] are defined at four different levels: technology, human, organisation, system of organisation. [3. Indicators for technology] The indicators are representatives of failures or degraded performance of the systems or, in case of warning systems, of activation of the system. Because each of the non-warning systems is important for safety, failure of the system will reduce safety to some extent. **Therefore failures on the non-warning systems are representative of (reduced) safety.** Valid activation

of the warning systems indicate that preceding safety barriers have failed, and therefore activation of warning systems is also representative of (reduced) safety. False warnings could degrade the system by encouraging the warning to be ignored.

[4. Indicators for the human component] As mentioned in section 4.1 the proposed framework of safety performance indicators is not directly representative of the individual human errors committed in everyday operations. It is just representative of the most severe effects of those unsafe operations normally associated to human errors. Due to the sociotechnical nature of the global aviation system, in some cases it may be difficult to distinguish purely human failures (e.g. short term memory failures, perceptive errors or omitted supervisory controls) from critical interactions between the human component and the technical component of the system (e.g. a lack of situation awareness associated to a poor information presentation or an erroneous performance associated to a clumsy automation support). Therefore the safety indicators do not establish any linear link between specific human errors and unsafe outcomes, but limit their roles to highlighting significant trends in terms of safety occurrences in the context of each EASp Operational Issues. Only after a trend is identified (e.g. an increase of severe infringements of separation minima in a certain airspace area) is it possible to investigate the potential role of specific human errors committed by front line operators and trying to understand their motivations in order to identify possible mitigation measures. Again, as argued in section 4.1, this approach appears as the best compromise between trying to keep track of all human errors and focusing exclusively on real accidents. In the first case it should be clear that counting and keeping track of all human errors is simply impossible, due to the great number of human errors which are immediately corrected or simply go unnoticed due to other compensatory mechanisms. While in the second case it is universally acknowledged that real accidents are only the tip of the iceberg of a large majority of incidents which did not result in an accident only thanks to some technical, procedural or human safety barriers embedded in the aviation system (e.g. the activation of a safety net, a contingency procedure to operate in a degraded mode or the last recovery by a human operator).

[5. Organisation] The success of a safety management system is directly related to the safety culture of an organisation. Safety culture is an ever-evolving and high volatile 'commodity' within an organisation and measuring it falls beyond the scope of this exercise and presents very specific challenges of its own. Nevertheless, **it is possible to set representative safety indicators at a common level which will allow measurement of the key components of a safety management system, which are conducive to a thriving safety culture within an organisation.** For instance, one can measure the presence of a safety reporting system, the existence of a formal safety policy etc, within a group of organisations in order to gain a representative impression of the condition of their safety management system.

[6. System of organisations] In the end one needs to measure accident risk; the likelihood of the occurrence of event with such a severity that it is an accident. Therefore there should be an association between the indicator and accident risk. An association does not necessarily mean that the indicator and accident risk are causally related. It is however **difficult to determine the exact association between the correct functioning of the system of organisations and accident risk.** It is however **not unreasonable to assume there is a positive relation** between a correct functioning system of organisation and aviation safety. Therefore one can measure the functioning of system of organisation with safety performance indicators. (...) **The criterion "representative to what is to be measured" is also easily matched by around half of the indicators.** For other indicators it again depends on the chosen metric for the indicator. If for example the quality of a mandatory occurrence scheme is only assessed by the number of reports each year it will not be representative to what is to be measured. It is believed that setting up roadmaps for the introduction of novelties is too far removed from actual accident risk. Although the use of roadmaps is advisable, measuring the use by an indicator is not representative for accident risk or the proper functioning of a system of organisations. [See "table 9 – Proposed (categories) of indicators matched against criteria"]

FS2: -

FS3: [3. Indicators for technology] For safety performance indicators that rely on manual reporting of occurrences, whether the minimum variability criterion is met **depends on the reporting discipline and the consistency in classification of the events.** In most mandatory occurrence reporting schemes, the reporting is generally done by the operators of the system (airlines and ANSPs) but responsibility for the classification may vary from state to state. In some states classification is done by the operator but in other states, classification is done by the national aviation authority, based on the report that is received from the operator. European states use the ECCAIRS taxonomy for classification of the occurrences, but the service providers (e.g. airlines and ANSPs) usually use different taxonomies for their own internal use. The experience of occurrence reporting over the past decade shows that even in mandatory schemes the **reporting discipline severely affects the number of reported occurrences as well as the quality of data classification.** (...) Occurrence reporting may also be subject to variation due to **changes in perception as to what qualifies as an occurrence.** An indicator whose values are obtained through automatic recording, e.g. from Flight Data Monitoring (FDM,) potentially meets the minimum variability criterion, although some attention is needed if data from different sources (e.g. different airlines, or even different aircraft types within an airline) are combined, because these sources may not use identical threshold values for defining exceedances. Another factor that should be considered under this criterion is **the rarity of the event captured by the indicator,** particularly if the indicator is based on counts of the event per time period. For such events, one period may for instance show 1 occurrence, while the next period shows 2 occurrences i.e. twice as much. However, the **conditions may be exactly the same and the different results are solely due to random effects.** An illustration of this effect is the throwing of a dice. When comparing series of ten throws, the first may result in one 'six', while a second may result in 2 'sixes'. However, the probability of a six is exactly the same in both series. Confidence levels should be calculated to appreciate the magnitude of the influence of randomness on the performance indicator values.

[4. Indicators for the human component] The same arguments raised before for the indicators of technology apply here to the indicators of human behaviours. For safety performance indicators that rely on manual reporting of occurrences, whether the minimum variability criterion is met **depends on the reporting discipline and the consistency in classification of the events**. The experience of occurrence reporting over the past decade shows that even in mandatory schemes the **reporting discipline severely affects the number of reported occurrences as well as the quality of data classification**. This is because of a **lack of good information about what happened**, making it difficult to apply the right codes.

[5. Organisation] Variability will depend largely on the **quality of the oversight and the data collected** during audits of organisations by the regulatory authority. Once the requirements for safety management systems have been clearly established, audit checklists can be developed by the regulatory authorities to monitor compliance and gather comparable data across different organisations.

[6. System of organisations] For metrics that are specifically designed for the indicator, such as maturity of SMS, variability is possible **if the criteria are unclear and self-assessments are done inconsistently**.

142 **Sharing is caring: a discussion for combining risk information (Stogsdill m.fl.)**

FS1: -

FS2: -

FS3: -

143 **Eradicating root causes of aviation maintenance errors: introducing the AMMP (Rashid m.fl., 2012)**

FS1: -

FS2: -

FS3: -

144 **Decision Performance and Safety Performance: A Value-Focused Thinking Study in the Oil Industry (Merrick og Grabowski, 2014)**

[Ikke tilgjengelig i fulltekst]

145 **Sailing on Friday: Developing the link between safety culture and performance in safety-critical systems (Grabowski m.fl., 2010)**

FS1: Historical accident analyses, however, reveal that undesirable events are often preceded by indicators or signals that herald the onset of such events. (...) This paper examines the question of how to provide early warning of adverse events to groups in complex safety-critical settings by understanding the connection between safety culture and performance. **Significant correlations between the safety factors and the safety performance data were used to identify significant safety factors or LIs**. A similar process was followed for the LI metrics. (...) In this paper, safety factors that were significantly correlated with safety performance were identified as LIs of safety, using safety culture survey data from three industry partners gathered over a two-year period.

FS2: -

FS3: -

146 **Enhanced statistical analysis to improve air safety; How to be proactive (Kvarnbergs og Petersson, 2013)**

FS1: -

FS2: -

FS3: -

147 **Performance evaluation of airport safety management systems in Taiwan (Chang m.fl., 2015)**

FS1: -

FS2: -

FS3: -

148 Transforming near-miss experience into global risk reduction & accident prevention training techniques (Lakhaini og Arndt, 2014)

[Ikke tilgjengelig i fulltekst]

149 Monitoring the risk picture by using QRA and barrier based indicators (Okstad m.fl., 2014)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

150 Leading indicators for monitoring major accident risk (Thorsen og Njå, 2014)

[Ikke tilgjengelig i fulltekst]

151 Performance indicators for major accidents - Lessons from incident analysis (Bellamy m.fl., 2012)

[Ikke tilgjengelig i fulltekst]

152 Role of leading indicators in prevention of major accidents: CSB learnings from BP Texas City and deepwater horizon (Wilson m.fl., 2013)

[Ikke tilgjengelig i fulltekst]

153 Synergy between DyPASI and well-known safety indicator methodologies in the prevention of atypical accident scenarios (Paltrinieri m.fl., 2011)

[Ikke tilgjengelig i fulltekst]

154 A generic method for identifying major accident risk indicators (Haugen m.fl., 2012)

[Ikke tilgjengelig i fulltekst]

155 Normalization of process safety metrics Mengtian Wang (Mentzer og Mannan, 2012)

[Ikke tilgjengelig i fulltekst]

156 A review of different approaches for developing process safety indicators (Monteiro og Frutuoso E Melo, 2012)

[Ikke tilgjengelig i fulltekst]

157 Predicting and mitigating the risk of catastrophic incidents (Walters og Ross, 2011)

[Ikke tilgjengelig i fulltekst]

158 Major accident indicators for monitoring and predicting risk levels (Haugen m.fl., 2011)

FS1: This paper presents a model for developing major accident risk indicators which **uses a risk model as a basis**. The risk model includes all key factors which influence the major accident risk, including human and organizational factors, and also describes influences between factors. This gives a multi-level risk model, from which indicators can be identified. **Through regular monitoring of these indicators, the major accident risk can be followed closely.** (...) In principle, there are no limitations regarding the number of relationships that can be specified between two or more factors that is assumed to influence an event. However, there should be a known or assumed significant relationship between two or more factors for this to be taken into account in the further work with establishing indicators.

FS2: -

FS3: -

159 Using process safety performance indicators (PSPI) to facilitate process safety leadership (Beale, 2011)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

160 Proactive indicators of risk in remote operations of oil and gas fields (Johnsen m.fl., 2010)

[Identisk med #13 – ulike søkeresultater grunnet ulike titler i henholdsvis Google Scholar og Scopus. Denne tittelen er korrekt – lik den i selve dokumentet]

161 Audits related to safety management systems: Italian case studies (Romano m.fl., 2009)

[Ikke tilgjengelig i fulltekst]

162 Determining process safety performance indicators for major accident hazards using site process hazard information (Fearnley og Nair, 2009)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

163 OECD guidance on safety performance indicators - An international approach to assessing the success of industry, public authorities and communities in managing major accident hazards (Jennings og Hailwood, 2009)

FS1: All stake holders need to remember **SPIs do not measure the level of safety. SPIs indicate how the measures to achieve safe operation are performing.**

FS2: Safety Performance Indicators **offer a chance to improve transparency and communication between operators and inspectors.**

FS3: -

164 Risk indicators for major hazards on offshore installations (Vinnem, 2009)

[Ikke tilgjengelig i fulltekst, samme innhold som #17]

165 Dynamic risk analysis: A case study on a fluidized catalytic cracking unit at the Bahrain Petroleum Company (Pariyani m.fl., 2009)

[Ikke tilgjengelig i fulltekst]

166 Proactive Resilience Based Indicators: The Case of the Deepwater Horizon Accident (Øien og Nielsen, 2012)

FS1: The principle conclusion is that **the REWI method has been successfully applied on the DWH accident**. The mapping of the predefined REWI issues to the DWH accident causes shows that **early warnings could have been provided, and the accident may have been prevented**, if that the respective issues had been followed-up by the use of relevant indicators. This depends of course not only on relevant early warnings, but also on adequate response to the signals given.

FS2: -

FS3: -

167 Safety performance indicators as a tool for monitoring the industrial risk on conventional power plants (Maia, 2012)

[Ikke tilgjengelig i fulltekst]

168 Risk analysis in the process industries: A perspective (Pariyani m.fl., 2011)

[Ikke tilgjengelig i fulltekst]

169 Managing safety to achieve operating excellence (Prihandoko m.fl., 2009)

FS1: -

FS2: -

FS3: -

170 Dimensions in safety indicators (Harms-Ringdahl, 2009)

FS1: Hopkins discusses the relationships between the rate of occupational accidents and the outcome of major accidents. There appears to be the common opinion among safety researchers that such connections are complicated and should be treated with prudence. Yet, accident rates are still sometimes used as an indicator for major accidents. In a study from the nuclear industry by Flodin and Lönnblad (2004) this has been assessed. They looked at the indicator “Industrial safety accident rate” which is similar to the one discussed by Hopkins. **The actual indicator has been rated as having “no or very little relevance” for nuclear reactor safety.** This conclusion agrees well with what Hopkins has argued for.

FS2: -

FS3: -

171 Process safety leading indicators industry survey February 2013: Center for Chemical Process Safety (Kadri, 2013)

[Ikke tilgjengelig i fulltekst]

172 Using metrics to drive process safety performance at Maersk FPSOs (Guld og Bradshaw, 2013)

[Ikke tilgjengelig i fulltekst]

173 Using Leading Indicators to Avoid Major Accidents (Robertson, 2012)

FS1: Q and A's on the Defense Nuclear Facilities Safety Board's Leading Indicator Program: How does one know that a particular indicator is predictive of a major accident event? This is one of the more common misunderstandings about the use of leading indicators for accident avoidance. **There is no way to identify a metric that can reliably predict a particular future outcome; don't even try. Instead, the goal is to avoid accident-prone situations, and those can be predicted fairly reliably.** The presence of conditions such as untested barriers, poorly maintained equipment, outdated procedures, insufficient or unqualified staff, inadequate quality control, uncontrolled hazards, overly-stressed workers, or ill-prepared supervisors are all widely recognized harbingers of accidents. The situation gets even worse if several of these conditions are present at the same time. That is why the focus of the leading indicator program should be on the functionality of elements relied on to assure safe operating conditions. Those elements are people, processes, and equipment, which are things that can be readily monitored. There is one other point that is very important to remember: organizations change, people change, goals change, and hazards change. **The metrics you are using also should be changing as necessary to ensure that they are still providing you with a valid indication of the status of the key functions you are monitoring.**

Clearly, safety in such an environment is achieved by minimizing the performance variability in each of the elements. In other words, we want to be sure that each barrier, whether it is a physical component, a computer system, an administrative procedure, or a human operator, is fully capable of performing its intended function whenever called upon to do so. Based on this consideration, we believe that any leading indicator program needs to, first and foremost, focus on monitoring and understanding the functionality of these barriers. Are systems receiving the appropriate surveillances and preventative maintenance? Are procedures being used, reviewed, and updated as expected? Are the operators and supervisors being trained, qualified, and exercised adequately to ensure that they have the appropriate level of knowledge and skills? Have sufficient staff and resources been provided to support the operations? **In other words, leading indicators should not be viewed as predictors of accidents; rather, they are identifiers of accident-prone situations.** (...) As we studied the various major accidents we noticed that in most cases there were strong, externally-driven pressures on the organization prior to the event. These pressures usually took the form of things like increased or decreased product demand, market instability, hostile takeovers, corporate mergers, public distrust, or conflicting priorities. While all organizations encounter these types of pressures periodically, in many of these cases the pressures were sufficient to challenge the wellbeing of the organization. Managers responded to the increased pressure by changing the organization or its operating mode. As a result, inconsistencies arose between the organization's current environment and the environment within which the organization learned to operate. Organizational behaviors that were once appropriate then became inappropriate or obsolete; the organization's priorities shifted and introduced a new bias into its collective decision-making and the level of risk it was willing to accept. Most major accidents and near misses fit this model. (...) Consequently, we believe that it is important that any organization conducting high-risk activities needs to be watching for those external influences and regularly monitoring the collective decisions the organization is making. Are backlogs accumulating in training and preventative maintenance? Are we demanding more from less staff? Are sick leave, turnover, and employee concern trends suggesting that the workers are under duress? Has the balance changed between resources committed to safety and resources committed to production?

FS2: -

FS3: -

174 Performance indicators in major hazard industries - An offshore regulator's perspective (Whewell, 2012)

FS1: There is, however, **no single indicator which is individually predictive of a major hazard event occurring.** As I have already said **major hazard events are invariably the result of multiple failures of control and** in any one event the critical failure path is complex and will differ from the next event. Certain indicators do paint a picture of the state of the plant and are usually predictive of poor control of risk. For example an installation with a poor record showing numbers of hydrocarbon leaks from plant and equipment certainly would be viewed by the regulator with concern. (...) Let us be clear there is no 'silver bullet' which will ensure that catastrophic accidents do not occur in the offshore industry. However, properly selected performance indicators, whose data outputs are effectively monitored and which inform decision making, **will make a significant contribution to reducing the risks** of such an event occurring.

FS2: **The effect of this cross-industry approach to data collection has been significant.** Not only can individual companies 'benchmark' their own performance against industry norms but the poorest performers, highlighted by the sharing of data, have been able to **learn from those with improved performance.** In addition, the regulator has been using the **raised awareness of major hazard KPIs to press for improvements** in individual companies. (...) It is critical that there is, within the company, a very clear **understanding of the risks** to be managed. Without this understanding there is likelihood that the performance indicators used will at best be less effective and at worst irrelevant. (...) **Too often the data will be delivered to meet the expectations of senior management that all is well.**

FS3: **A poor culture of involvement and failure to secure commitment** will result in data which are at best incomplete and at worst irrelevant to managing the risks.

175 Proactive Indicators for Managing Major Accident Risk in Integrated Operations-A Risk and Barrier Based Method Addressing Technical and Operational Factors (Okstad m.fl., 2013)

FS1: (...) An interesting exercise would then be to investigate whether more detailed modelling could give stronger arguments to understand the relation between the available risk indicators and the risk level. This was not pursued any further in the case study. (Weighting of indicators for barrier system "xxxxxx" - Risk effect (Reference/target value).

Appendix A: MEMO: Methods for development/evaluation of indicators]: [Same table as in #9]: **Safety performance-based indicators:** May be difficult to determine the relevance for major accidents - **unfavorable** (...) **Risk-based methods:** Relevance for major accident risk is known - **very favorable** (...) **Incident based methods:** Relevance for major accidents is apparent (if the incident has major accident potential) - **very favorable** (...) **Resilience-based methods:** Determining the relevance for major accidents [is a weakness] - **unfavorable** [See descriptions for each of the methods]

FS2: 4. Suggested approaches to major risk indicators (...) 4.1 Method description [QRA approach] [See Appendix A: MEMO: Methods for development/evaluation of indicators. Assessment of effect of change on risk]. 4.2 Learning from the case study (...) 4.2.1 Leak frequency indicators. **Indicator no. 1.** The number of open barrier breach + deviation notifications related to mechanical integrity of process related equipment (per area). Effect on risk: **A 50 % reduction of leaks caused by loss of mechanical integrity may give something like a 13 % reduction of the process related FAR.** (...)

Indicator no. 2. The number of findings during inspections for the last 3 months. Effect on risk: **A 50 % reduction of leaks caused by loss of mechanical integrity may give something like a 13 % reduction of the process related FAR.** **Indicator no. 3:** The number of open barrier breach/deviation notifications and SYNERGI reports (from the last 6 months) registered against the work permit system and the disassembling of HC-system. Effect on risk: **Statistics indicate that releases caused by failures during work on HC-systems constitute some 40-50 % of the total releases,** (PSA, 2011) and (PSA, 2010). Hence, the large potential benefit of having robust (and redundant) systems to avoid such leaks is large. **Indicator no. 4.** The number of open work permits related to work on pressurized HC-systems for a given area. Effect on risk: **Statistics indicate that releases caused by failures during work on HC-systems constitute some 40-50 % of the total releases,** (PSA, 2011) and (PSA, 2010). Hence, the large potential benefit of having robust (and redundant) systems to avoid such leaks is large.

FS3: -

176 Process safety indicators, a review (Swuste m.fl., 2015, in press)

FS1: Objectives: Can process safety indicators provide insight and knowledge on both current and future safety levels of a process or company? And if so, which process indicators are eligible? (...)

Results and discussion: Indicators for process safety can provide insight into safety levels of a process or company, (...) To return to the two questions from the introduction, **process safety indicators seem to provide insight into the safety of a process or a company. Confirmation, based upon empirical research is necessary.** However, it is clear that the 'silver bullet' has not been found yet (Webb, 2009). Safety indicators associated with barriers quality, scenarios and on effects of decision-making appear to be the most obvious ones. Logically, this will make safety indicators, process and company specific. The challenge is to define indicators that provide insight into the quality of barriers and development of scenarios. Future international regulations, like Seveso III will allow process safety indicators to remain in the spotlight.

FS2: -

FS3: -



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no