

Studie i regi av Petroleumstilsynet sin rapport Risikonivå norsk petroleumsvirksomhet (RNNP) 2010

[http://www.ptil.no/getfile.php/PDF/RNNP%202010/RNNP_hovedrapport_sokkel_2010_rev1b\[1\].pdf#nameddest=kapittel00](http://www.ptil.no/getfile.php/PDF/RNNP%202010/RNNP_hovedrapport_sokkel_2010_rev1b[1].pdf#nameddest=kapittel00)

Årsaksforhold og tiltak knyttet til hydrokarbonlekkasjer på norsk sokkel

Studien utgjør kapittel 5 i hovedrapporten for RNNP 2010, publisert
27.4.2011

Studien er gjennomført for Petroleumstilsynet av SINTEF Teknologi
og samfunn ved Stein Hauge, Bodil A. Mostue og Studio Apertura
ved Trond Kongsvik

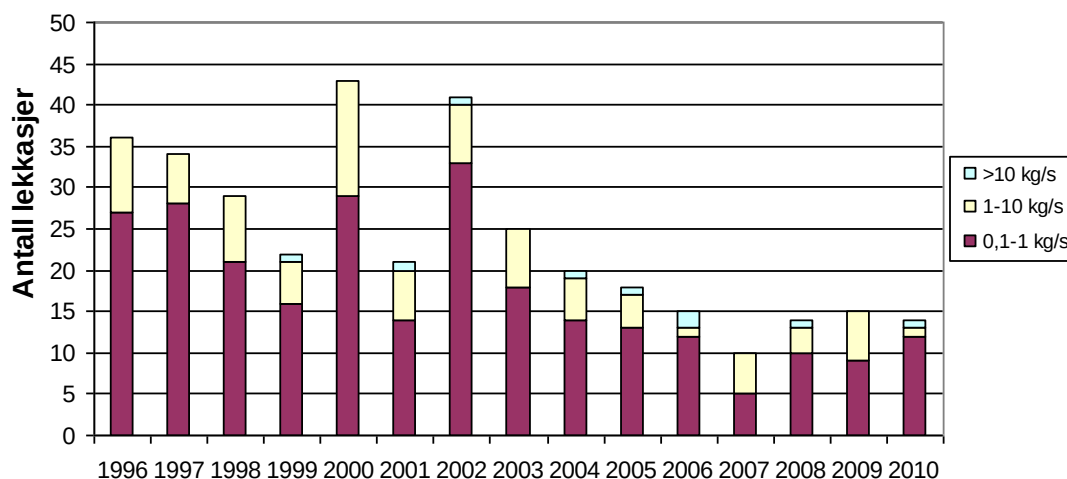
Årsaksforhold og tiltak knyttet til hydrokarbonlekkasjer på norsk sokkel

Dette kapitlet presenterer resultater fra en dokumentstudie av årsaksforhold og tiltak knyttet til hydrokarbonlekkasjer på norsk sokkel. Granskningsrapporter, andre rapporter og nasjonale så vel som internasjonale forskningsartikler er gjennomgått. I dette kapitlet vil vi¹ presentere resultater knyttet til (1) hvordan hydrokarbonlekkasjer på norsk sokkel årsaksforklares, (2) hvilke tiltak som er foreslått og (3) om det er godt samsvar mellom identifiserte årsaker og tiltak. Videre diskuteres to utvalgte tema som, basert på gjennomgått materiale, anses som sentrale utfordringer i forhold til å redusere antall hydrokarbonlekkasjer; ”forhold ved design som sentral årsak”, ”læring av tidligere hendelser”, ”presise tiltak” og ”risikovurderinger og -analyser”.

0.1 Innledning

0.1.1 Bakgrunn

Bakgrunn for denne studien er den negative utviklingen de siste årene knyttet til rapporterte hydrokarbonlekkasjer² (jfr. Figur 1, [RNNP 2010](#)). Før 2000 var det et relativt høyt antall lekkasjer. Basert på en utfordring fra myndighetene i 2002 iverksatte petroleumsindustrien en rekke målrettede tiltak som førte til en stor reduksjon i lekkasjer i perioden 2000-2007³. De siste års rapporterte hydrokarbonlekkasjer kan imidlertid tyde på at denne positive trenden har snudd. I 2010 var det 14 lekkasjer. Av disse er 12 i størrelsesorden 0,1-1 kg/s, 1 lekkasjer er mellom 1-10 kg/s og 1 større enn 10 kg.



Figur 1 Hydrokarbonlekkasjer over 0,1 kg/s, alle produksjonsinnretninger, norsk sokkel

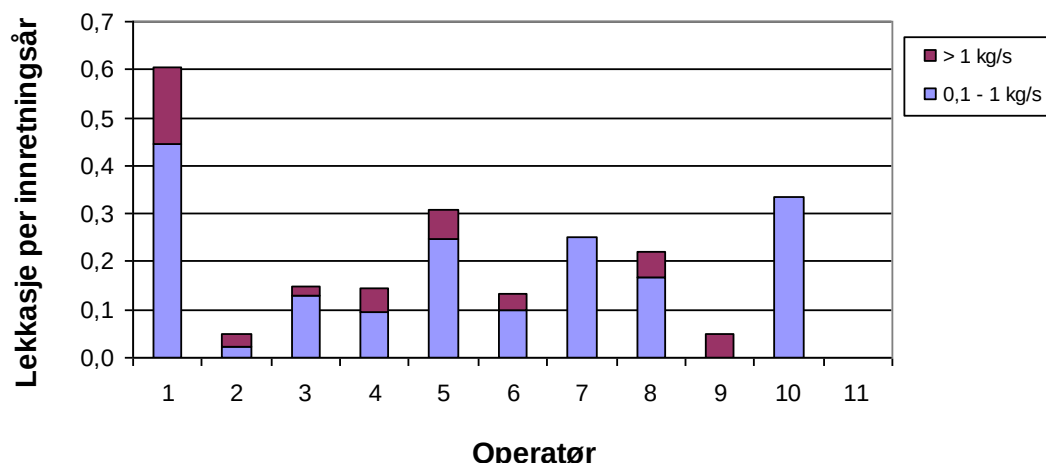
Det er relativt store forskjeller på lekkasjefrekvensen mellom de ulike operatørselskapene (jfr. Figur 2). Det er lite bevegelse i disse tallene, det er de samme operatørene⁴ som gjennomgående har høy lekkasjefrekvens. Vurderes lekkasjefrekvens på innretningsnivå ser vi også at enkelte innretninger ligger langt over gjennomsnittet på norsk sokkel. Tilsvarende sammenligning, men for perioden 2005-2009, viser at forskjellen mellom operatørene er blitt noe mindre.

¹ I dette kapitlet refererer pronomenet ”vi” til forskerne som utførte litteraturstudien.

² En hydrokarbonlekkasje er en utilsiktet gass eller olje (inkludert kondensat) lekkasje. Begrepet dekker lekkasjer med en eller flere faser. Lekkasje av diesel, metanol, smøreolje og tilsvarende er ikke inkludert.

³ GaLeRe, senere omdøpt til Gasslekkasjeprojektet, ble etablert av Oljeindustriens Landsforening (OLF) i 2003, på oppfordring av Ptil. OLF er en interesse- og arbeidsgiverorganisasjon for oljeselskaper og leverandørbedrifter på norsk kontinentalsokkel. I 2007 nådde man målet om å redusere antall hydrokarbonlekkasjer over 0,1 kg/s til under 10 pr år. I 2010 gikk Gasslekkasjeprojektet fra prosjekt til nettverk under OLF.

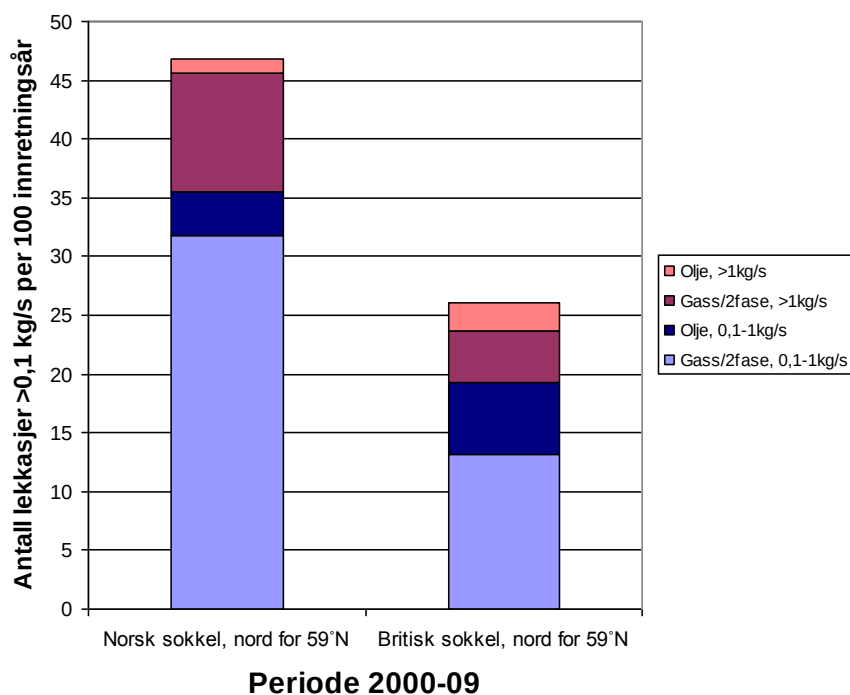
⁴ Operatør defineres som ”den som på rettighetshavers vegne forestår den daglige ledelse av petroleumsvirksomheten ” (Petroleumsloven § 1-6, k).



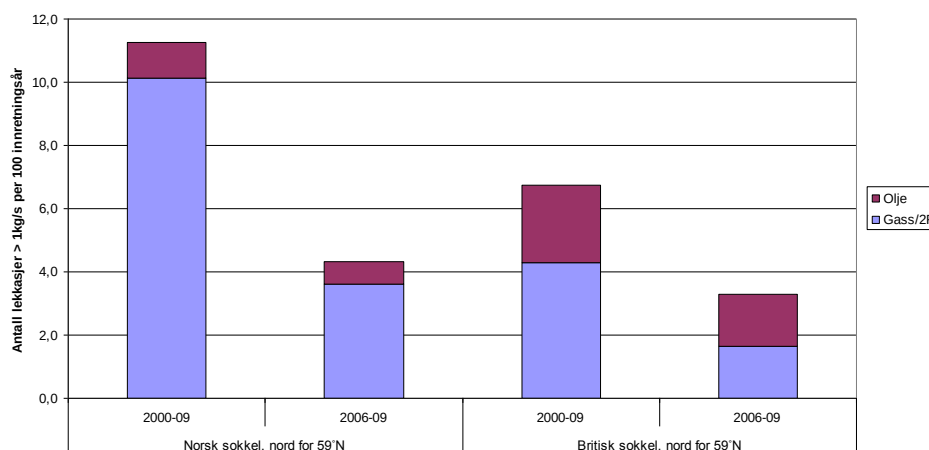
Figur 2 Gjennomsnittlig lekkasjefrekvens per innretningsår per selskap, 1996-2010

En sammenligning mellom norske og britiske innretninger viser at for hydrokarbonlekkasjer større enn 0,1 kg/s er lekkasjefrekvensen betydelig lavere på britisk sokkel (jfr. Figur 3). For å få et reelt sammenligningsgrunnlag, blant annet basert på type innretninger, er utvalget begrenset til innretninger nord for 59° N og er delt i gass/tofaselekkasjer og oljelekkasjer – normalisert mot innretningsår. Dersom en vurderer periodene 2000-08 og 2006-08 adskilt, og begrenser seg til lekkasjer > 1kg/s, (jfr. Figur 4) framgår det at forbedringen har vært størst på norsk sokkel, men at norsk sokkel fortsatt har betydelig høyere frekvens også for perioden 2006-08, særlig om en ser på gass- / tofaselekkasjer.

Sammenligning mellom operatører, innretninger og Norge/ Storbritannia viser med andre ord relativt store forskjeller. Årsakene til disse forskjellene er generelt vanskelig å forklare, men det tydeliggjør uansett et urealisert potensial for en ytterligere reduksjon i lekkasjefrekvens.



Figur 3 Sammenligning av gass/tofase- og oljelekkasjer på norsk og britisk sokkel per 100 innretningsår, gjennomsnitt 2000-09



Figur 4 Sammenligning av gass/tofase- og oljelekkasjer på norsk og britisk sokkel per 100 innretningsår, gjennomsnitt 2000–09 og 2006–09

I dag har vi en moden norsk sokkel med stor variasjon på innretningsnivå. En betydelig andel er aldrende innretninger, designet på 1960-80-tallet og var beregnet å være i drift et begrenset antall år. Norske myndigheter ønsker økt ressursutvinning fra feltene noe som er muliggjort blant annet av ny teknologi. Drift utover forventet levetid har medført behov for modifikasjoner, en mer effektiv vedlikeholdsstyring og tekniske tiltak i prosessanleggene for å ivareta sikkerhetskritisk utstyr og barriereelementer. Modenhet og haleproduksjon går gjerne hånd i hånd med endrings- og effektiviseringstrender og det vil i forbindelse med kost/nyttevurderinger være utfordrende å få gjennomført teknologiske forbedringer/modifikasjoner. Sentrale virkemidler som brer seg i denne forbindelse er en kombinasjon av standardisering, fleksibilitet og aktivitetsstyring, som for eksempel aktivitetsstyring av vedlikehold, og rotasjon av personell mellom innretninger. Rotasjon av personell kan føre til god erfaringsoverføring mellom innretningene, men kan også føre til at man mister viktig sikkerhetskritisk kompetanse knyttet til særegne utfordringer på det enkelte anlegg. Avveining mellom kostnader knyttet til produksjon og ivaretagelse av HMS er også en kjent problemstilling for arbeidstakerne på innretningene offshore. Dilemmaet er fanget opp gjennom en av variablene i spørreskjemaundersøkelsen som gjennomføres annet hvert år i regi av RNNP: ”I praksis går hensynet til produksjon foran sikkerhet” (<http://www.ptil.no>) viser at 28,1 % av alle ansatte på norsk sokkel sa seg helt eller delvis enig i denne påstanden i 2009. Disse forholdene dannet et bakteppe for å forstå kompleksiteten knyttet til dilemmaet mellom økonomivurderinger og HMS.

Det er i de senere år utført en rekke studier både nasjonalt og internasjonalt og gjennomført mange granskninger etter hendelser for å kartlegge årsaker til hydrokarbonlekkasjer og egnede risikoreduerende tiltak. Ptil ønsker på denne bakgrunn å få gjennomført en studie hvor denne dokumentasjonen benyttes som basis for å analysere årsaksforhold og tiltak knyttet til hydrokarbonlekkasjer på norsk sokkel.

0.1.2 Formål og problemstillinger

Prosjektets hovedmålsetting er å beskrive utfordringer som petroleumsnæringen kan gripe fatt i for å redusere antall hydrokarbonlekkasjer, og hvordan næringen kan arbeide framover for å redusere antall hydrokarbonlekkasjer. Temaet belyses gjennom en gjennomgang av utvalgte granskninger av hydrokarbonlekkasjer i perioden 2002-2009, samt en dokumentstudie som omfatter norske og internasjonale rapporter/publikasjoner.

Følgende forskningsspørsmål er forsøkt belyst:

1. Hva framstår som de mest sentrale årsakene til hydrokarbonlekkasjer på faste innretninger i perioden med bakgrunn i relevante dokumenter?
 - a. I hvor stor grad er årsakene av menneskelig, teknisk eller organisatorisk karakter?

- b. På hvilket nivå kan årsakene plasseres i forhold til individ, gruppe, organisasjon, bransje og myndigheter?
2. Basert på gjennomgåtte granskninger, er det endringer i hvordan hydrokarbonlekkasjer årsaksforklares i perioden (2002-2009)?
3. I hvilken fase/arbeidsoperasjon oppsto hydrokarbonlekkasjene?
4. I hvilken grad er det en helhetlig tilnærming når årsaker er identifisert?
5. Hva er de mest sentrale tiltakene som er foreslått/gjennomført for å redusere lekkasjefrekvensen?
 - a. I hvor stor grad er tiltakene av menneskelig, teknisk eller organisatorisk karakter?
 - b. På hvilket nivå kan tiltakene plasseres i forhold til individ, gruppe, organisasjon, bransje og myndigheter?
6. I hvilken grad er det en helhetlig tilnærming ved identifisering av tiltak?
7. I hvilken grad er det samsvar mellom identifiserte årsaker og de tiltakene som er anbefalt/implementert?
8. Hvilke er de mest sentrale utfordringene som næringen står ovenfor i det videre arbeidet med å redusere antall lekkasjer?

0.1.3 Tilnærmingsmåte

Studien er utført som en dokumentgjennomgang som har innbefattet:

- Granskningsrapporter (42 stk).
- Vitenskapelige artikler fra journaler og konferanser (33 stk).
- Diverse rapporter fra ulike forskningsmiljø, konsultentselskaper, myndigheter (Ptil og HSE⁵), operatørselskaper og bransjeorganisasjoner (OLF).
- Beskrivelser av tiltak som operatørselskapenes egne fagfolk vurderer å være de viktigste bidrag til risikoreduksjon knyttet til hydrokarbonlekkasjer i perioden 2002-2010.

0.1.3.1 Granskninger

En sentral del av arbeidet har involvert en detaljert gjennomgang av granskningsrapporter. Disse ble valgt ut i fra følgende kriterier:

- Begrenset til hydrokarbonlekkasjer på produksjonsinnretninger⁶ (samt tre hendelser fra landanlegg⁷).
- Skulle omfatte tidsrommet 2002–2009.
- Skulle omfatte flest mulig operatørselskaper.
- Skulle omfatte de mest alvorlige hendelsene hvor grundige granskninger var gjennomført i etterkant, samt et utvalg av øvrige lekkasjer.

Som basis for gjennomgang av granskningsrapporter ble det, i samarbeid med Ptil, utviklet klassifiseringsskjema for angitte årsaker og foreslåtte tiltak. Skjemaet som ble brukt for å kategorisere utløsende og bakenforliggende årsaker samt type tiltak er vist i Tabell 1. Det ble her tatt utgangspunkt i de tre hovedkategoriene Menneske, Organisasjon og Teknologi (MTO). Den videre inndelingen baserte seg på en sammenstilling av flere ulike metoder og tilnærminger, herunder blant annet ”Operasjonell tilstand sikkerhet” (OTS) (Sklet et al., 2010), Pentagon modellen (Schiefløe & Vikland, 2005), litteratur knyttet til menneskelig pålitelighet og menneskelige feilhandlinger⁸, samt prosjektmedarbeidernes egne erfaringer.

⁵ HSE (Health and Safety Executive) er det britiske sikkerhetstilsynet (<http://www.hse.gov.uk>)

⁶ Tilløpshendelser som registreres i RNNP kategoriseres i forskjellige DFUer. Hydrokarbonlekkasjer inkludert i denne studien er lekkasjer som oppstår på produksjonsinnretninger, det være seg faste eller flytende.

⁷ Det ble valgt ut tre hendelser fra landanleggene basert på tilgjengelige granskingsrapporter. Landanleggene er underlagt Petroleumstilsynets myndighetsområde.

⁸ Reason (1997) skiller mellom tre hovedkategorier av menneskelige feilhandlinger (eng. *human errors*); (1) feilhandlinger av type glipp/slurv (eng. *slips, lapses, trips or fumbles*) hvor opprinnelig plan/intensjon var adekvat men utførelsen var feil (f.eks. glemme å stenge en ventil eller trykke feil knapp), (2) feil hvor en tror en gjør det rette, men pga. manglende

Tabell 1 Klassifiseringsskjema for utløsende og bakenforliggende årsaker og type tiltak.

Overordnet	Spesifisert type årsak eller tiltak
Menneske	Feilhandling av type glipp/slurv/forglemmelse
	Kognitiv feil (pga manglende kompetanse og/eller risikoforståelse)
	Feilhandling knyttet til dårlig / mangelfull design
	Feilhandling knyttet til brudd på gjeldende praksis/prosedyrer
Organisasjon	Selskapsledelse, innretningsledelse
	Arbeidsledelse
	Risikovurderinger / analyser (SJA, etc.)
	Planlegging / forberedelser
	Prosedyrer / dokumentasjon
	Arbeidspraksis
	Arbeidsbelastning
	Kontroll / sjekk / verifikasjon
	Kommunikasjon / samhandling/grenseflater/målkonflikter
	Kompetanse /opplæring
	Endringsledelse
Teknologi	Teknisk design av anlegg
	Utforming verktøy / løst utstyr
	Teknisk tilstand / aldring / slitasje
	Tilfeldig teknisk utstyrsvikt
	Ergonomi / menneske maskin grensesnitt / utforming av arbeidsplass

I kategorien ”Teknisk design av anlegg” kategoriseres *årsaker* som kan knyttes til uheldig valg av tekniske løsninger slik som for eksempel uhensiktsmessig utstyrsdesign, manglende trykk-/nivåmåling, for lav trykkklasse, feil ventilvalg (som ga erosjon), feil pakningstype, feil materialvalg, osv. Felles for disse er at ved valg av en annen design eller teknisk løsning kunne hendelsen vært unngått. *Tiltak* klassifisert herunder inkluderer konkrete tekniske tiltak rettet mot innretningen, som at en beslutter å modifisere fakkelsystemet eller fjerner brannisolering på en tank, men også tiltak som går på tvers av selskapet og bransjen (som for eksempel at industrien tar i bruk en ny type flensforbindelse).

Tiltakene ble, i tillegg til type, også klassifisert i forhold til nivå i eller utenfor organisasjonen som disse var rettet inn mot. Skjemaet som her ble brukt er vist i Tabell 2 under.

Tabell 2 Klassifiseringsskjema for nivå som tiltaket rettes inn mot.

Overordnet nivå	Detaljert nivå	Spesifisert nivå
Næringen	Myndigheter	Regelverksutforming
	Bransje	Bransjeorganisasjoner (OLF, etc.)
		Design- og fabrikkasjonsselskaper
Selskap	Drift av selskapets anlegg	Selskapsledelse/ teknisk støtte
		Entreprenør/leverandør
	Utforming og tilstand	Teknisk utforming og tilstand på selskapsnivå
Anlegg	Lokal ledelse anlegg	Innretningsledelse

forståelse, oppfatning eller kompetanse gjør en (kognitiv) feil og (3) feil knyttet til brudd på prosedyrer, standarder og regler (eng: *violations*). Det ble dessuten definert en egen kategori for feilhandlinger som kan knyttes *direkte* opp mot dårlig/mangelfull design (f.eks. åpnet feil ventil pga dårlig merking og/eller plassering), da dette ikke ble eksplisitt dekket av de tre andre kategoriene.

		Arbeidsledelse
	Utførende anlegg	Driftsoperatør/tekniker/mekaniker – egne ansatte ⁹
		Entreprenør/leverandør ¹⁰
		Grenseflate egne ansatte/leverandør
	Utforming og tilstand	Teknisk utforming og tilstand på anleggsnivå

For hver hendelse er det dessuten registrert i hvilken fase/arbeidsoperasjon hendelsen inntraff. Det er her skilt mellom oppstart, nedstengning/nedblødning, vanlig drift, vedlikehold/testing og modifikasjoner. Vi ønsket, på bakgrunn av denne kategoriseringen, å undersøke om enkelte faser/arbeidsoperasjoner kunne synes å være hyppigere representert i forbindelse med lekkasjer enn andre.

I gjennomgangen av granskningsrapportene og klassifisering av årsaker og tiltak har vi benyttet oss av de ovennevnte skjemaene. Med andre ord er det gjort en tolkning og påfølgende fordeling av årsaker og tiltak i henhold til de beskrevne klassifiseringsskjemaene.

I analysen er datamaterialet normalisert slik at hver lekkasjehendelse får samme vekt. Dette er gjort for å unngå at en hendelse med for eksempel 5 identifiserte bakenforliggende årsaker skal veie det femdobbelte av en hendelse hvor kun én slik årsak er beskrevet. For hver hendelse er derfor summen av direkte årsaker fordelt på ulike kategorier representert med en totalsum på 1. Tilsvarende er gjort for bakenforliggende årsaker og tiltak. Disse andelene utgjør grunnlaget for summeringen fra alle granskningene og beregning av prosentvis fordeling angitt i resultatpresentasjonen.

0.1.3.2 Vitenskapelige artikler

For å identifisere relevante fagartikler, ble det foretatt et bredt søk i sju vitenskapelige sikkerhetstidsskrift¹¹ for perioden 2000 til 2010. I tillegg ble det foretatt søk i "Google Scholar"¹².

Etter en sortering ut fra faglig skjønn, ble 33 vitenskapelige artikler gjennomgått mer detaljert, hvorav omtrent halvparten ble vurdert direkte som relevante for vårt tema. De aktuelle artiklene er benyttet som bakgrunnsstoff ved gjennomgang av granskningene og til å underbygge funn og konklusjoner fra granskningene.

0.1.3.3 Diverse rapporter

En rekke rapporter fra ulike forskningsmiljø, konsulentselskaper, myndigheter (Ptil og HSE) og bransjeorganisasjoner (OLF) er gjennomgått. Blant annet flere publikasjoner som ble laget i forbindelse med OLF sitt "GaLeRe/Gasslekkasje" prosjekt. Tilsvarende som for de vitenskapelige artiklene er rapportene brukt som bakgrunnsstoff ved gjennomgang av granskninger og for å underbygge temaer som er beskrevet spesielt.

0.1.3.4 Beskrivelser av tiltak fra selskaper

Det er kjent at operatørselskaper på norsk sokkel har gjennomført flere tiltak som er relevante i deres arbeid knyttet til reduksjon av hydrokarbonlekkasjer, uten at dette nødvendigvis synliggjøres i granskningsrapporter eller Synergi¹³ (innrapporteringsystem for registrering og oppfølging av uønskede hendelser). Derfor ble det sendt ut likelydende brev fra Ptil til sju operatørselskaper med innretninger i drift med forespørsel om å gi en kort beskrivelse av de tiltak som selskapenes egne fagfolk vurderer å være de viktigste bidrag til risikoreduksjon knyttet til hydrokarbonlekkasjer i perioden 2002-2010. De

⁹ Driftsoperatør eller operatør er i denne sammenhengen utførende personell på innretningene.

¹⁰ I henholdt til innrapporterte arbeidstimer utført på norsk sokkel i 2009 var 31,14 % i kategorien "Administrasjon og produksjon" entreprenøransatte. Andelen har økt fra 23,6 % entreprenøransatte i 2007. Dette er i samsvar med en generelt svakt økende trend for andelen entreprenøransatte på norsk sokkel (www.ptil.no)

¹¹ Accident Analyses & Prevention, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Journal of Risk Research, Journal of Safety Research, Reliability Engineering and System Safety, Risk Analyses, Safety Science.

¹² Ulike søkeord og kombinasjoner av søkeord ble benyttet (process leaks, hydrocarbon leaks, HC-leaks, gas leaks, causes, antecedents, human, organizational, organization, technical, technological, root causes).

¹³ SYNERGI er et norsk databasesystem som gjør det mulig å registrere, analysere og følge opp uønskede hendelser. De fleste operatører på norsk sokkel anvender dette dataverktøyet.

ble bedt om å gi informasjon om tiltak gjennomført internt i eget selskap, men også tiltak i relasjon til entreprenører og leverandører, eller tiltak som har vært et resultat av bransjesamarbeid eller internasjonalt samarbeid. Fire av sju selskaper besvarte henvendelsen. Totalt ble 56 tiltak rapportert inn.

0.1.4 Utvalg og avgrensninger

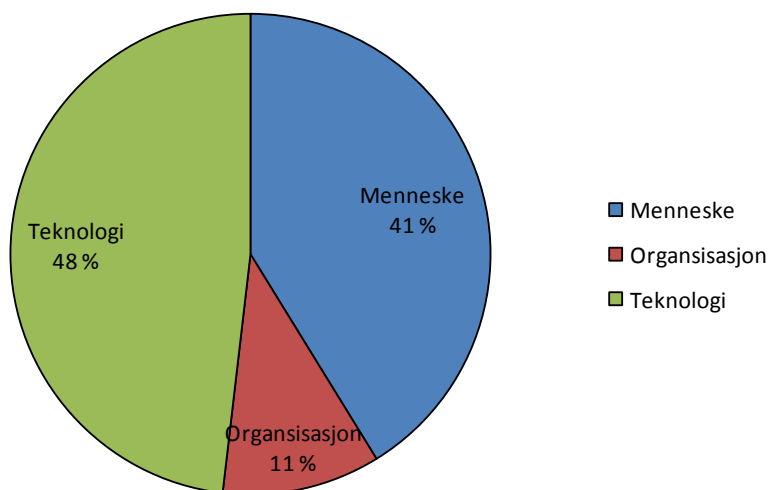
Følgende avgrensninger er gjort i forhold til utvalgte hendelser i denne studien:

- Utvalgte hendelser har stort sett begrenset seg til hydrokarbonlekkasjer på produksjonsinnretninger som utgjør majoriteten av lekkasjer registrert i RNNP. Det er med andre ord fokusert på hovedprosess og produksjonsutstyr på innretningen snarere enn for eksempel boring og brønn.
- 42 granskninger har blitt detaljert gjennomgått, tilsvarende 37 ulike lekkasjehendelser (hvorav 3 er fra landanlegg). Av de 42 granskningsrapportene er det 36 interne selskapsgranskninger og 6 granskninger utført av Ptil.
- Utvalgte granskninger dekker seks operatørselskaper og totalt 28 innretninger/anlegg.
- Det er fokusert på årsaker og tiltak som kan knyttes opp mot å redusere frekvensen av lekkasjer. Årsaker og tiltak relatert til konsekvensene av en lekkasje samt beredskapsmessige forhold er ikke diskutert.
- Av et utvalg på omtrent 130 listede granskninger fra Ptil, ble altså 42, dvs. nærmere en tredjedel, valgt ut for nærmere gjennomgang. Hendelsene var fra tidsrommet 2002 til 2009. Utvalget ble gjort som beskrevet over med det formål å representere et tverrsnitt av registrerte lekkasjer samt dekke de største hendelsene. Totalt inneholdt de gjennomgåtte granskningene 96 registrerte utløsende årsaker, 275 bakenforliggende årsaker og 349 foreslåtte tiltak.
- Det er i begrenset grad verifisert om foreslåtte tiltak er fulgt opp og implementert, da dette ikke fremgår av selve granskningsrapportene.

0.2 Årsaksklassifisering av hydrokarbonlekkasjer basert på granskninger

0.2.1 Utløsende årsaker

De utløsende årsakene identifisert fra granskningsrapportene er i all hovedsak klassifisert som tekniske og menneskelige (89 %), jfr. Figur 5.



Figur 5 Utløsende årsaker identifisert fra selskapsinterne granskninger fordelt på menneske, organisasjon og teknologi. N= 36 granskninger.

Av Figur 5 ser vi at tekniske årsaker utgjør største samlekategori. De to hyppigste tekniske årsakene er (jfr. Figur 6):

- ”Teknisk design av anlegg” (24 %) og

- ”teknisk tilstand/aldring/slitasje” (21 %).

”Aldring” er i liten grad eksplisitt beskrevet som årsak til hydrokarbonlekkasjer i granskningene, men vil indirekte påvirke teknisk tilstand for eksempel i forhold til årsaker som korrosjon, erosjon, mekanisk slitasje og vibrasjon.

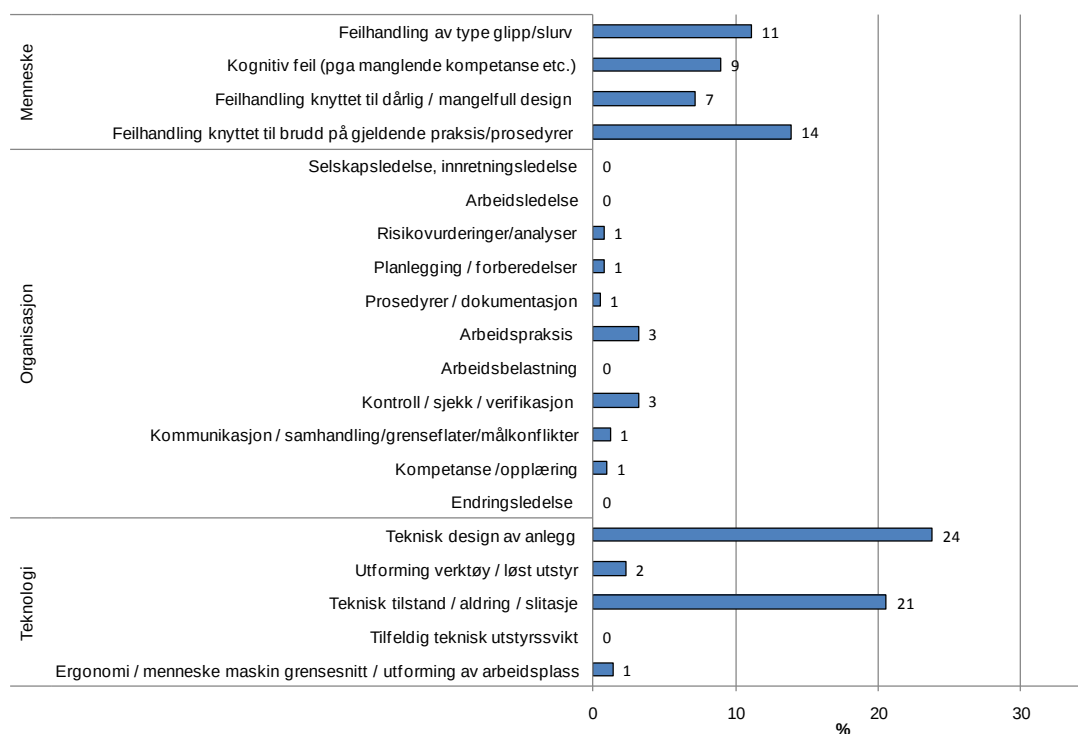
Bidragene fra menneskelige årsaksfaktorer fordeler seg som følger:

- Feilhandling knyttet til brudd på gjeldende praksis/prosedyrer (14 %)
- Feilhandling av type glipp/slurv (11 %)
- Kognitive feil (manglende kompetanse og/eller risikoforståelse) (9 %)
- Feilhandling knyttet til dårlig/mangelfull design (7 %)

Tabell 3 gir en oversikt over i hvilken fase/arbeidsoperasjon hydrokarbonlekkasjene oppstod. Omlag 40 % oppstod under vanlig drift, og de øvrige under oppstart, nedstengning/nedblødning, vedlikehold/testing og modifikasjoner.

Tabell 3 Fase/arbeidsoperasjon hydrokarbonlekkasjene oppstod. N=37 hendelser.

Hendelser	Oppstart	Nedstengning/ nedblødning	Vanlig drift	Vedlikehold/ testing	Modifikasjoner	Sum
Antall	8	7	15	5	2	37
Andel [%]	22	19	40	14	5	100 %



Figur 6 Prosentvis fordeling av utløsende årsaker identifisert i selskapsinterne granskninger av hydrokarbonlekkasjer. N=36 granskninger.

Resultatene antyder at en stor del av lekkasjene inntreffer i perioder som relativt sett utgjør en begrenset andel av tiden, men hvor arbeidsoperasjonene avviker fra det daglige og kanskje er mer komplekse (type oppstart og nedstengning). I en tilsvarende gjennomgang fra HSE (HSE, 2008) som omfatter 595 hydrokarbonlekkasjer på britisk sektor for periode 2001–2007, er det funnet at flest lekkasjer (53 %) inntreffer under normal drift mens øvrige lekkasjer har inntruffet i andre faser slik som oppstart etter en nedstengning (12 %) og oppstart av utstyr etter vedlikehold (eng.: ”reinstatement”) (9 %).

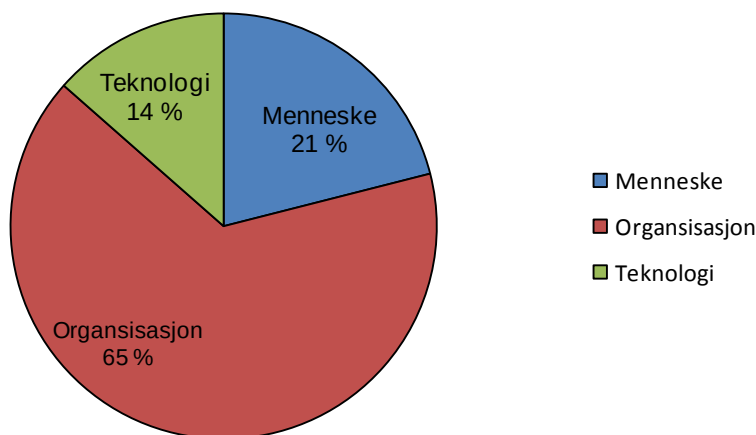
Merk at prosentfordelinga i Tabell 3 viser til *når* lekkasjen inntraff, selv om årsaken til lekkasjen kan ha blitt introdusert i en tidligere fase. Dette betyr at selv om operatøransatte i stor grad er ansvarlig for oppstart, drift og nedstegning av prosessanlegget, samt klargjøring for vedlikehold, kan årsaken til en lekkasje under oppstart skyldes feil gjort av entreprenøransatte under vedlikehold og modifikasjoner, mens en lekkasje i drift for eksempel kan skyldes feil gjort av utstyrsleverandør i forbindelse med design eller utprøving av utstyret, osv. Noen eksempler fra de gjennomgåtte hendelsene illustrerer dette:

- Under oppstart åpnet en ventil utilsiktet og påfølgende trykkstøt medførte gasslekkasje i en trykkutjevningsslinje. Hendelsen skyldtes primært at en i byggefasen hadde speilvendt en magnetventil.
- Under drift oppstod det en stor kondensatlekkasje fra en flens. Lekkasjen skyldtes en feil/misforståelse i forbindelse med mekanisk ferdigstilling hvor reinstallert flens ikke ble skikkelig tiltrukket.
- Under drift oppstod en hydrokarbonlekkasje som følge av erosjon i rørstykke nedstrøms en reguleringsventil. Lekkasjen skyldtes primært at feil type ventil var spesifisert i design.

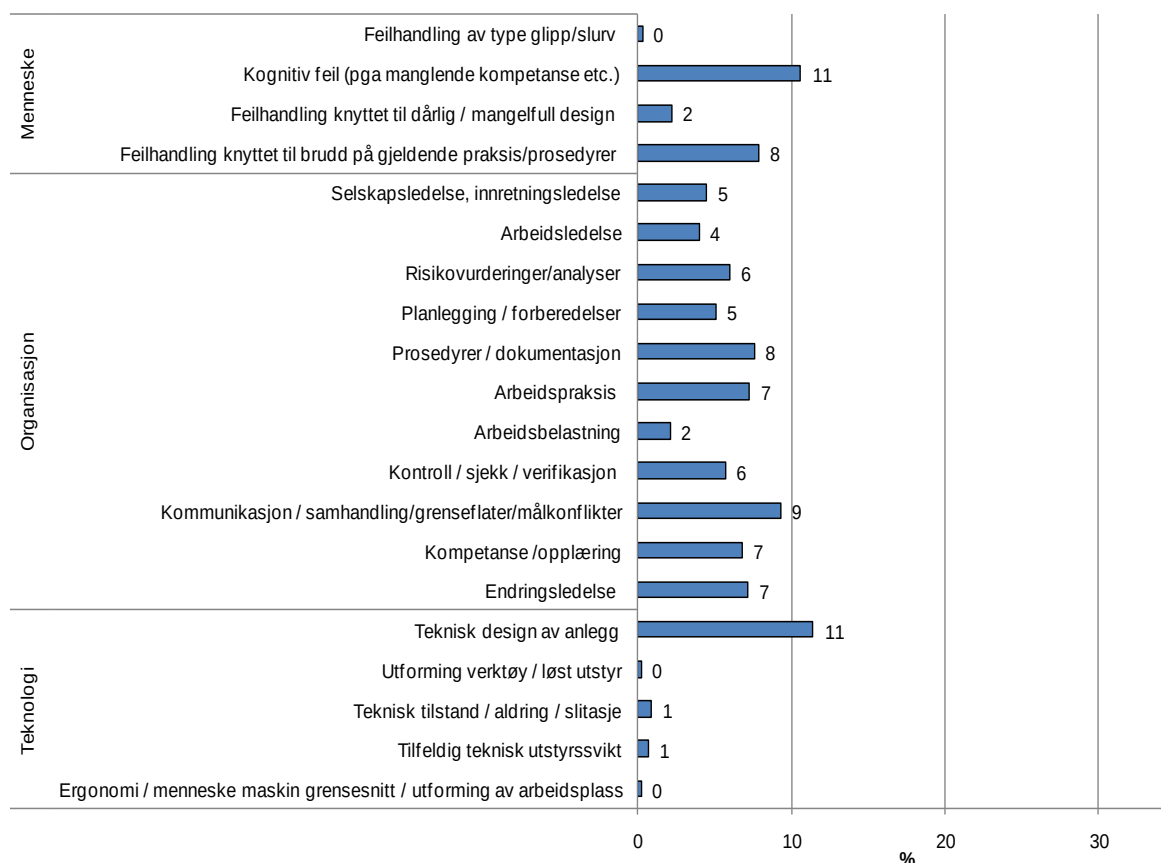
Økende bruk av entreprenøransatte er en trend på norsk sokkel (se for eksempel RNNP Hovedrapport 2009, Tabell 7, side 28), noe som imidlertid er vanskelig å finne igjen i granskningene, da disse har begrenset fokus på personer og selskap ved beskrivelse av årsaker. Dette er for så vidt positivt i forhold til ikke å peke på syndebukker, men *kan* være en ulempe ved identifikasjon og utarbeidelse av målrettede tiltak. Dette er nærmere diskutert i delkapittel 0.3.2.

0.2.2 Bakenforliggende årsaker

Basert på de gjennomgåtte selskapsinterne granskningsrapportene er det foretatt en klassifisering av bakenforliggende årsaker i henhold til kategoriene M, T og O som vist i Figur 7 og Figur 8.



Figur 7 Bakenforliggende årsaker identifisert fra selskapsinterne granskninger fordelt på menneske, organisasjon og teknologi. N= 36 granskninger.



Figur 8 Prosentvis fordeling av bakenforliggende årsaker basert på selskapsinterne granskninger av hydrokarbonlekkasjer. N= 36 granskninger.

Siden bakenforliggende årsaker knytter seg til omstendigheter og betingelser som er til stede forut for selve lekkasjen, er det naturlig at organisatoriske forhold spiller en stor rolle. I vår gjennomgang ser vi at organisatoriske faktorer utgjør så mye som 65 % av de definerte bakenforliggende årsakene og at de er fordelt på en rekke kategorier. Viktige bidragsytere er funnet å være:

- Mangelfull planlegging/forberedelse eller mangelfulle risikovurderinger/analyser (11 %)
- Mangelfull kommunikasjon/samhandling/grenseflater/målkonflikter (9 %)
- Manglefulle prosedyrer/dokumentasjon (8 %)
- Mangelfull arbeidspraksis (7 %)

Fra Figur 8 ser vi at ingen enkeltårsak peker seg ut som dominerende. For kategorien O utgjør mangler i planlegging/forberedelser og risikovurderinger/-analyser altså 11 % av årsakene. Det å ha et bevisst forhold til risiko både før og i gjennomføring av aktiviteter er en grunnleggende forutsetning for sikker arbeidspraksis. Dette innebærer å identifisere hva som kan gå galt, mulige konsekvenser og aktuelle kompenserende tiltak. Risikovurderinger/-analyser drøftes nærmere i delkapittel 1.10. For kategoriene T og M er de to hyppigste bakenforliggende årsakene funnet å være:

- Teknisk design av anlegg (11 %)
- Kognitiv feil som følge av manglende kompetanse eller risikoforståelse (11 %)

Merk at manglende kompetanse som enten kan knyttes direkte opp mot en feilhandling eller som en mer generell faktor, utgjør omtrent 18 % av de bakenforliggende årsakene. Videre ser en at feilhandlinger som kan knyttes opp mot brudd på gjeldende prosedyrer og generelt mangelfulle prosedyrer/-dokumentasjon til sammen utgjør omtrent 16 % av de bakenforliggende årsakene.

Under OLF sitt Gasslekkasjeprojekt (GaLeRe) jobbet seks arbeidsgrupper fram til våren 2004 med temaene kompetanse og adferd, prosedyrer, prosessikkerhet, ventiler, flenser og rør, korrosjon samt rapportering og statistikk. OLF har i ettertid utarbeidet [retningslinjer for ventilteknikk, for arbeid med flenser og for arbeid med såkalte ”fittings og small bore systemer”](#) med tilhørende undervisningsmaterie-riell for sertifisering av utførende personell. Basert på funn knyttet til bakenforliggende årsaker, synes Gasslekkasjeprojektets fokus på en generell kompetanseheving hos utførende personell samt forbedring av prosedyreverket fornuftig.

De mest sentrale årsakene til hydrokarbonlekkasjer, når utløsende og bakenforliggende enkeltårsaker vurderes samlet, er:

- Teknisk design av anlegg (T)
- Feilhandling knyttet til brudd på gjeldende praksis/prosedyrer (M)
- Teknisk tilstand/aldring/slitasje (T)
- Kognitive feil knyttet til manglende kompetanse (M)

Som nærmere diskutert i delkapittel 0.8 er det flere eksempler på at uheldig design har ført til lekkasjer. For eksempel kan en ventil ha vært dårlig merket eller en pumpe med høy trykkklasse kan ha vært koblet til et lavtrykkssystem. Slike feil forklares i granskninger gjerne med manglende kompetanse og/eller risikoforståelse selv om de kunne vært unngått med en annen design. Det er med andre ord slik at uheldig design og mangelfull kompetanse kan virke forsterkende på hverandre.

Dersom en basert på granskningene skal plassere de viktigste årsakene i forhold til nivå (dvs. individ, gruppe, organisasjon, bransje eller myndigheter), kan en for ”teknisk design av anlegg” konkludere med at majoriteten av årsakene ligger på innretningsnivå. Selv om overordna designprinsipper er nedfelt gjennom regelverk og standarder, antyder granskningene at uheldige lokale løsninger ofte er utløsende i forhold til lekkasjehendelser. Eksempel kan være manglende nivåmåling på en trykktank, uheldig ventilvalg ut fra gitte prosessbetingelser eller vanskelig tilkomst for inspeksjon. En har imidlertid også hatt hendelser hvor utstyr som brukes på tvers av petroleumsvirksomheten har hatt uheldig design. For eksempel var en viss type strupeventil sårbar i forhold til at ventilspindelen kunne skrus for langt inn og forringe tetningsevnen til ventilen, noe som i ett tilfelle medførte ventilkollaps. Når det gjelder årsakene ”feilhandling knyttet til brudd på gjeldende praksis/prosedyrer” og ”kognitiv feil pga manglende kompetanse” er begge disse i stor grad relatert til individ og muligens gruppenivå¹⁴ på innretningene, og inkluderer stort sett feilhandlinger som kan knyttes til utførende personell. Eksempler her kan være ”operatør lekkasjetestet ventil med for høyt differensialtrykk” (prosedyrebrudd), ”områdeansvarlig anså lekkasjetest med nitrogen som unødvendig” (prosedyrebrudd) eller ”kontrollromsoperatør valgte å legge produksjon fra nystartet brønn direkte på rørledning før en hadde tilstrekkelig kontroll med mengde faste partikler i brønnstrømmen” (kognitiv feil / mangelfull kompetanse).

Gjennomgangen av granskningene viser at hendelser i begrenset grad årsaksforklares med feil og mangler på ledelsesnivå. Menneskelige feilhandlinger på dette nivået er sjelden eller aldri påpekt og i de tilfeller selskaps- eller innretningsledelse er trukket fram er det gjerne i forhold til manglende involvering. Dette kan skyldes flere forhold slik som sammensetning av granskningsgruppene, lite fokus på ledelse og dessuten hvordan årsakskategoriene er definert. Det skal i denne sammenheng påpekes at når en ser på bakenforliggende organisatoriske årsaker (se Figur 8) kan flere av disse, slik som for eksempel mangelfulle risikovurderinger/-analyser, mangelfull planlegging/forberedelse, mangelfulle prosedyrer/dokumentasjon og mangelfull kommunikasjon/samhandling indirekte knyttes til mangler på ledelsesnivå.

¹⁴ Her tenker vi arbeidspraksis på skift og arbeidslagsnivå.

0.2.3 Sammenligning mellom selskapsinterne granskninger og Ptil-granskninger

Vi har sammenlignet hvordan årsaker¹⁵ forklares i granskninger fra hendelser (5 stk) som både Ptil og selskapet har gransket (jfr. Tabell 4). Dette for å identifisere eventuelle forskjeller mellom hva som vektlegges basert på hvem som har gransket og deres nærhet til innretningen. Det kan for eksempel tenkes at de selskapsinterne granskningsgruppene, som kjenner mulighetene og begrensningene som ligger i egen virksomhet godt, tar mer hensyn til dette enn uavhengige granskninger fra tilsynet. Eksempler på slike føringer kan være ressurs- og personelltilgangen i organisasjon eller generell motvilje mot å gjøre tekniske utbedringer som medfører produksjonsstopp eller forsinkelser.

Fra Tabell 4 ser vi at for de fem aktuelle hendelsene forklares bakenforliggende årsaker omtrent likt. Når det gjelder de utløsende årsakene er det noe større forskjeller; Ptil har en større andel årsaker knyttet til menneskelige forhold enn selskapene (33 vs. 17 %), og tilsvarende mindre til teknologiske forhold (55 vs. 68 %). En detaljert gjennomgang indikerer at disse ulikhetene i all hovedsak skyldes forskjeller i hvor detaljert (antall) utløsende årsaker er beskrevet, noe som igjen påvirker vektinga mellom dem. Sammenligningen er basert på et begrenset antall granskede hendelser og det kan derfor være verdt å legge større vekt på samsvaret mellom Ptil og selskapene sine granskninger enn forskjellene, spesielt i forhold til bakenforliggende årsaker.

Tabell 4 Prosentvis fordeling over type utløsende årsak og bakenforliggende årsak beskrevet i selskapsinterne granskningsrapporter (N=5 granskninger) og granskninger utført av Ptil (N=5 granskninger) for de samme hendelsene

	Utløsende årsak		Bakenforliggende årsak	
	Selskap	Ptil	Selskap	Ptil
Menneske	17	33	7	12
Teknologi	68	55	16	16
Organisasjon	15	12	77	72
Sum	100	100	100	100

0.2.4 Forhold som kan påvirke hvordan årsaker forklares

Flere vitenskapelige artikler og rapporter omhandler ulike granskningsmetodikk og andre forhold som vil påvirke resultatene til en granskningsgruppe. I Thunem et al. (2009) trekkes blant annet følgende forhold fram:

- Granskningsrapportens omfang og innhold som kan ha sammenheng med hendelsens alvorlighetsgrad.
- Granskningsteamets kompetanse og erfaring med gransking og ulykkesmodeller, organisasjons- og sikkerhetsteori.
- Tidsaspektet i analysen. Dersom tidsperioden som analyseres er for kort vil en ofte ikke få frem kulturelle aspekter, rammebetingelser og beslutninger tatt på et tidlig tidspunkt som har vært avgjørende for hendelsen.
- Utfordringene med å forklare kompleksiteten og dynamikken i organisasjonen. I de fleste ulykkesmodeller er det en utfordring å inkludere kompleksiteten og dynamikken i organisasjonene inn i modellene.

Som diskutert over vil også selve klassifiseringsskjemaet ha betydning samt hvordan de ulike kategoriene av årsaker tolkes og vektlegges av granskerne.

Selv om granskninger tilstrebes å skulle være rasjonelle og objektive, har det blitt påpekt at også mer ikke-rasjonelle og praktiske forhold kan ha betydning for hvilke årsaker og tiltak man kommer fram til

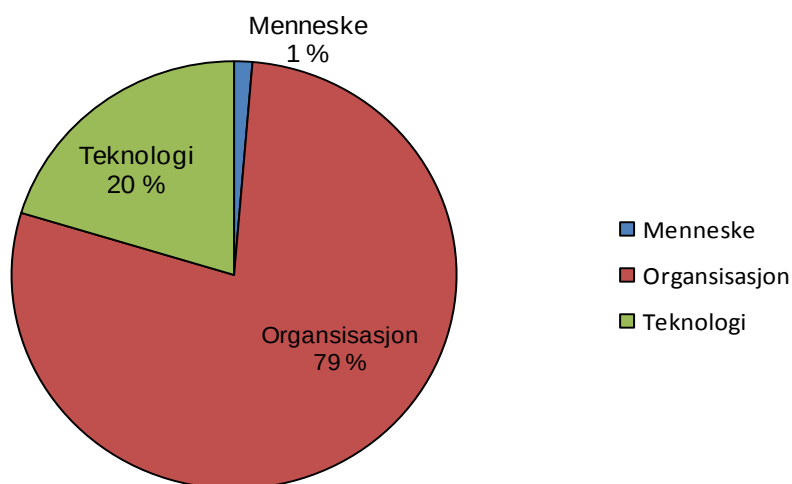
¹⁵ Petroleumsstilsynets granskninger er i all hovedsak innrettet mot å avdekke årsaksforholdene og det foreslås ikke tiltak slik de selskapsinterne granskningsgruppene gjør. Derfor sammenlignes kun årsakskategoriseringene.

(Lundberg et al., 2010). En viktig begrensning kan f. eks. være at man unngår å diskutere årsaker hvor det ikke er lett å finne gode og praktisk gjennomførbare tiltak. Andre begrensninger kan blant annet ligge i granskernes erfaringsbakgrunn ("what you fix depends on what you can find"), tilgjengelige ressurser ("what you fix depends on what you can afford to find"), og forventet motstand fra omgivelsene ("what you fix depends on what you dare to find"). Det siste punktet kan for eksempel påvirke i hvilken grad granskningene søker å forklare hendelser med mangler på ledelsesnivå¹⁶.

0.3 Tiltak for å redusere hydrokarbonlekkasjer

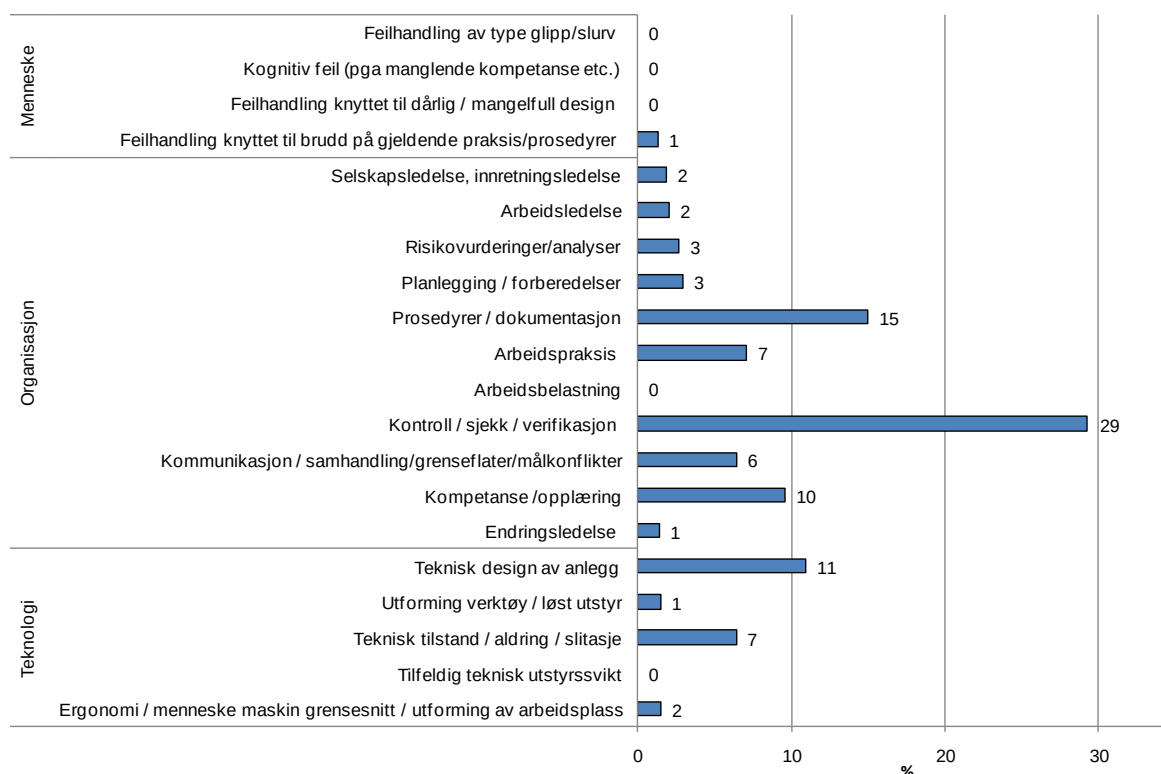
0.3.1 Tiltak registrert i granskingsrapporter

Basert på de gjennomgåtte selskapsinterne granskingsrapportene er det foretatt en klassifisering av identifiserte tiltak i henhold til MTO-kategoriene. Av tiltakene som er beskrevet i granskingsrapportene er 79 % klassifisert som å være av organisatoriske karakter, 20 % er teknologiske og 1 % av menneskelig karakter. Det bør i denne sammenheng bemerkes at tiltak som retter seg inn mot kompetanseheving og opplæring er klassifisert under organisasjon ("kompetanse/opplæring/risikoforståelse"). Det bør også bemerkes at tiltakene ikke er vektet i forhold til forventet ressursbruk for å få dem gjennomført (for eksempel vil det kreve langt mer "å oppdatere og komplettere systemhåndbøker" enn "å skifte defekt transmitter").



Figur 9 Tiltak foreslått i selskapsinterne granskninger fordelt på menneske, organisasjon/operasjon og teknologi. N= 36 granskninger.

¹⁶ De engelske betegnelsene/beskrivelsene er hentet fra Lundberg et al. (2010).



Figur 10 Prosentvis fordeling av foreslåtte tiltak i selskapsinterne granskningsrapporter. N=36 granskninger

De hyppigste registrerte tiltakene er:

- Kontroll/sjekk/verifikasjon (29 %)
- Prosedyrer/dokumentasjon (15 %)
- Teknisk design (11 %) og teknisk tilstand etc. (7 %)
- Kompetanse/opplæring (10 %)

Av Figur 10 ser vi altså at ”kontroll/sjekk/verifikasjon” (29 %) er det klart hyppigste foreslåtte enkelt - tiltaket. Vi har kategorisert dette tiltaket som organisatorisk selv om resultatet av en ”kontroll/sjekk/verifikasjon” ofte kan være av teknisk eller menneskelig karakter. Det er vanskelig fra granskningsrapportene å si noe om hvor stor del av disse tiltakene som faktisk munner ut i konkrete endringer, da mottatte Synergirapporter i stor grad gjentar tiltakene uten eksplisitt å beskrive hva som er gjennomført av eventuelle endringer. Manglende gjennomsiktighet i forhold til hvordan/hvorvidt foreslåtte tiltak faktisk er implementert kan begrense læringseffekten¹⁷ fra hendelsene, noe som blant annet er påpekt av Tinmannsvik og Øien (2010).

En fellesnevner for flere av tiltakene klassifisert under ”kontroll/sjekk/verifikasjon” og for så vidt også andre kategorier, er at de i mange tilfeller er lite konkrete. Dette gjelder spesielt for mindre granskninger hvor tid og ressursbruk er begrenset. Tiltak som for eksempel ”ledelsen må ta eierskap til handover-kvaliteten”, ”en må sikre at løsninger som velges i design er egnet for alle faser”, ”en må sikre god erfaringsoverføring” og ”en må ha økt fokus på risiko i forbindelse med rutinejobber” er alle fornuftige tiltak, men de krever i stor grad videre bearbeiding for å kunne ut i konkrete endringer. En generell observasjon er derfor at petroleumsvirksomheten har en utfordring i forhold til å spesifisere tydelige og målrettede tiltak.

Fra Figur 9 ser vi at bare 1 % av tiltakene er klassifisert under kategorien ”menneske”. Som diskutert over har dette en viss sammenheng med at tiltak rettet inn mot opplæring og kompetanseheving er klassifisert under organisasjon. Videre fra Figur 10 ser vi at kategoriene er definert på en slik måte at tiltak rettet inn mot å redusere sannsynligheten for menneskelige feilhandlinger, enten i form av bedre

¹⁷ Se for øvrig delkapittel 1.9 hvor læring tas opp som tema.

design, bedre prosedyrer eller styrking av kompetanse, lett kan falle i kategoriene organisasjon og teknologi. Samtidig kjenner vi til at både operatørselskaper og entreprenørselskaper har iverksatt større adferdsbaserte sikkerhetsprogram siden 2000, som i stor grad har inkludert entreprenøransatte. I granskningsrapportene er det imidlertid få tiltak rettet mot entreprenør/leverandør (jfr. Figur 11).

Tilsvarende som for identifisering av årsaker vil sammensetningen av granskningsgruppen selvsagt også påvirke de tiltak en kommer fram til. Vår gjennomgang av selskapsinterne granskninger viser at et stort flertall av tiltakene er rettet mot organisatoriske forhold (79 %), særlig forhold som omhandler kontroll/verifikasjon, prosedyrer/dokumentasjon og kompetanse. Det synes med andre ord lettere å peke på strukturelle forhold, opplæring og verifikasjoner enn å identifisere spesifikke tekniske tiltak og konkrete endringer i arbeidspraksis. Også i andre rapporter stilles det spørsmål ved om granskingsgruppene har et for smalt fokus. Thunem et. al. (2009) påpeker for eksempel at snevert fokus i analysene ofte medfører at kulturelle aspekter som får utvikle seg over tid og aspekter ved rammebetingelser ikke kommer frem (jf delkapittel 0.2.4.) Samsvar mellom årsaker og tiltak er nærmere diskutert i delkapittel 0.7.

Det kan derfor være grunn til å se nærmere på sammensetningen av de grupperingene som skal identifisere og konkretisere tiltak. En kan her se for seg at det i etterkant av granskningene settes ned bredt sammensatte grupper som involverer entreprenøransatte og operatøransatte med god kjennskap til det spesifikke anlegget, ledere med beslutningsmyndighet samt personer med kjennskap til alle selskapets prosessanlegg som kan bidra med erfaringsoverføring mellom anleggene samt innspill tilbake til design.

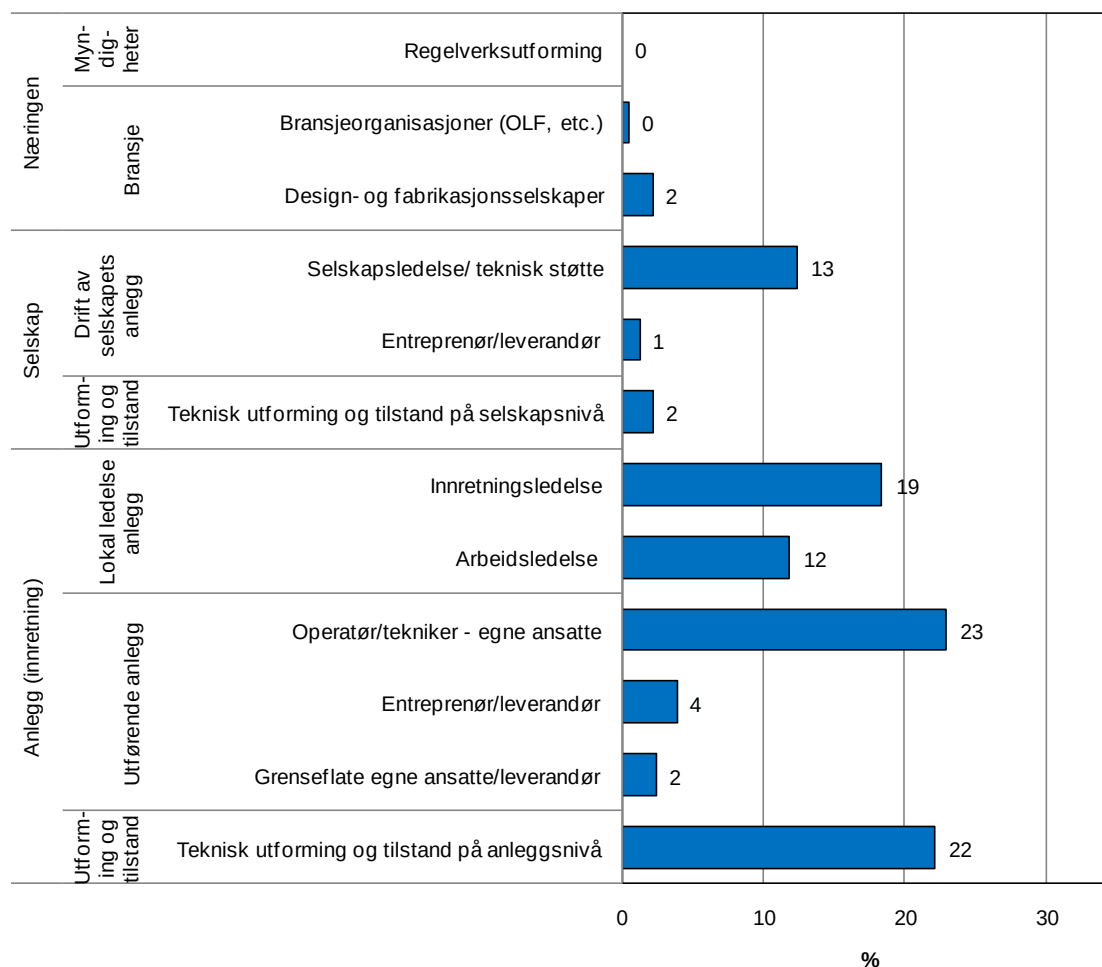
I større skala kan en se for seg at det etableres et industriforum hvor operatørselskapene sammen med entreprenører, leverandører og engineering-selskap går gjennom aktuelle granskninger og hvor en i fellesskap utarbeider målrettede tiltak mot innretningene, mot selskapene og mot industrien, og hvor en sikrer erfaringsoverføring tilbake til design både i forhold til nybygg og modifikasjoner.

0.3.2 Nivåer tiltakene i granskningene er rettet inn mot

Tiltakene foreslått i granskningsrapportene er klassifisert ut fra hvem/hva tiltaket er rettet inn mot (jfr. Figur 11) og resultatene er oppsummert i Tabell 5. Opplysninger om hvem/hva tiltaket berører er ikke alltid klart og entydig beskrevet i granskningsrapportene. Eksempler på dette er "ledelse", "sentrale aktører", "analyseledere", "relevant personell". Vår klassifisering er derfor basert på skjønn ut fra tilgjengelig informasjon i granskningsrapportene.

Tabell 5 Prosentvis fordeling over hvem/hva tiltak i selskapsinterne rapporter berører. N=36 granskningsrapporter.

<i>Næringen</i>	3
<i>Selskap</i>	16
<i>Innretning</i>	81
<i>Sum</i>	100



Figur 11 Prosentvis fordeling over hvem/hva tiltak foreslått i selskapsinterne granskningsrapportene berører. N= 36 granskningsrapporter

Få tiltak er rettet mot bransje- og myndighetsnivå, noe som kan ha sammenheng med at granskerne kanskje i begrenset grad føler de har påvirkning på beslutninger som fattes på et høyere nivå enn på gransknings- og selskapsnivå.

Tiltak rettet mot selskapsledelse/teknisk støtte utgjør omtrent 12 %. Det skal bemerkes at tiltak som antas å gjelde hele selskapet er registrert i denne kategorien og derfor ikke nødvendigvis gjelder selskapsledelsen spesielt. Mange av tiltakene i denne kategorien omfattet f.eks. teknisk støtte og stabsfunksjoner. Videre ser vi at tiltak rettet mot innretningsledelse og arbeidsledelse lokalt til sammen utgjør omtrent 30 %. Eksempler på slike tiltak kan være "gjennomgå arbeidsprosessen for arbeidstiltatelsesmøtet", "få på plass bedre disiplin med tanke på å følge etablert isoleringsplan", "ledelsen må ta eierskap til hand-over kvaliteten" og "sikre erfaringsoverføring fra tidligere tilløp/ulykker på innretningen". Et fellestrekk for mange av disse tiltakene synes å være at de er lite konkrete i forhold til hvordan ønsket effekt skal oppnås og igjen kan en kanskje stille spørsmål ved granskningenes fokus og om grupperingene som skal komme fram til optimale tiltak involverer riktig kompetanse fra ulike selskap og organisasjonsnivå.

Som en ser av Figur 11 er majoriteten av tiltak rettet inn mot egne ansatte, mens relativt få tiltak er rettet inn mot entreprenør/leverandør, og i de tilfeller slike tiltak er registrert er de gjerne knyttet til revisjoner og gjennomganger. Eksempler på dette er "gjennomfør en revisjon hos modifikasjonskontraktør av hele endringsledelsesprosessen" og "gjennomgå [leverandørens] organisasjon med tanke på å vurdere dennes evne til å levere effektive vedlikeholds- og inspeksjonstjenester". Siden en, som diskutert i delkapittel 0.2.1, ser en økende grad av outsourcing av sentrale drifts- og vedlikeholdstjenester og siden såpass mange lekkasjer kan spores tilbake til mangelfull design (latente feil), er det

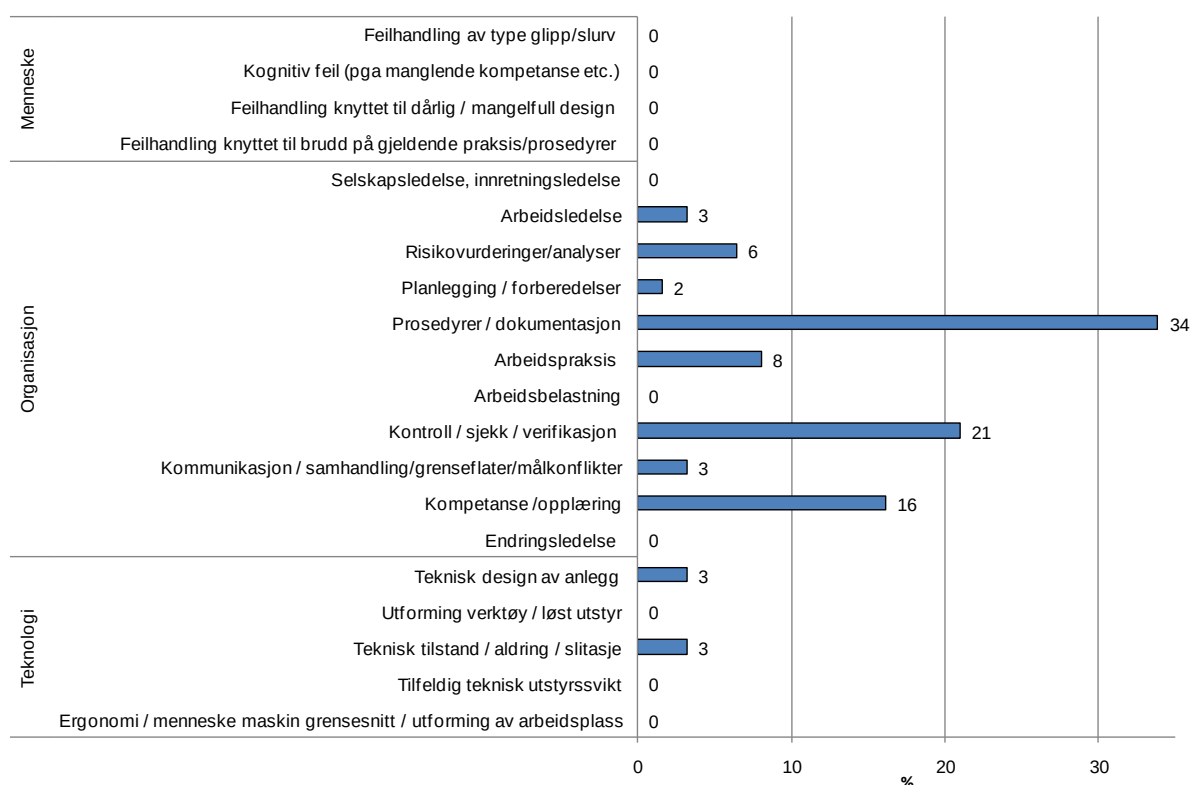
uansett grunn til å sette spørsmålstegn ved hvorfor så få tiltak retter seg inn mot entreprenør/-leverandør og design- og fabrikkasjonsselskaper. Som diskutert i delkapittel 0.3.1 kan det derfor være verdt å se nærmere på sammensetningen av gruppene som skal identifisere og konkretisere tiltak.

Omlag halvparten av tiltakene er rettet mot forhold i den ”spisse enden” dvs. driftsoperatør /tekniker og teknisk utforming og tilstand på anleggsnivå. I forhold til at 48 % av de utløsende årsakene relateres til teknologi (jfr. Figur 5) kan andelen tiltak rettet inn mot teknisk utforming og tilstand av anleggene synes lav. Dette kan skyldes økonomiske og praktiske føringer – det er generelt enklere å utarbeide en ny prosedyre enn å modifisere et system i drift. Økt grad av haleproduksjon og økte produksjonskostnader kan kanskje også tenkes å påvirke motivasjonen til å gjennomføre tekniske modifikasjoner. Uansett og som diskutert videre i delkapittel 0.8, viser mange granskninger at økt fokus på, og en mer offensiv holdning hos selskapene til å spesifisere konkrete tekniske tiltak som fjerner den iboende risikoen, er ønskelig. Det kan også være verdt å vurdere hvorvidt HRA¹⁸ relaterte metoder slik som oppgaveanalyse (se blant annet Kirwan 1994) og økt teknisk robustgjøring av anleggene (Khan og Amyotte 2002, Kjellen 2007), i større grad bør tas i bruk for kritiske systemer.

0.4 Sentrale tiltak iverksatt hos operatørselskapene

Som en del av studien ble det sendt ut likelydende brev fra Ptil til sju operatørselskaper med innretninger i drift med forespørsel om å gi en kort beskrivelse av de tiltak som selskapenes egne fagfolk vurderer å være de viktigste bidrag til risikoreduksjon knyttet til hydrokarbonlekkasjer i perioden 2002–2010 (jfr. delkapittel 0.1.3.4.) Fire av sju operatørselskaper besvarte henvendelsen fra Ptil og totalt ble 56 tiltak innrapporter. Antall tiltak fra hvert selskap varierer. Ett av de fire selskapene står for halvparten av tiltakene.

Figur 12 viser hvordan de 56 tiltakene prosentvis fordeler seg i forhold til vårt klassifiseringsskjema. Merk at tiltakene ikke er normalisert per selskap men representerer alle foreslåtte tiltak.



¹⁸ HRA: engelsk forkortelse for *Human Reliability Assessment* som er et samlebegrep på metoder som i all hovedsak har tre hovedformål: (1) For et gitt system å identifisere hvilke menneskelige feilhandlinger som kan inntreffe, (2) vurdere sannsynligheten for at disse feilhandlingene kan skje og (3) identifisere hvordan en kan redusere eller fjerne muligheten for disse feilhandlingene (Kirwan, 1994).

Figur 12 Prosentvis fordeling over type tiltak fire operatørselskaper har oppgitt å være deres viktigste bidrag til risikoreduksjon knyttet til hydrokarbonlekkasjer i perioden 2002-2010 (N=56 tiltak).

Det oppgis flest tiltak innenfor følgende kategorier:

- prosedyrer/dokumentasjon (34 %)
- kontroll/sjekk/verifikasjon (21 %)
- kompetanse/opplæring (16 %)

Det kan kommenteres at dette delvis samsvarer med de foreslåtte tiltakene fra granskningene (jfr. Figur 10). Disse tre gruppene av tiltak er også blant de hyppigst foreslåtte tiltakene fra granskningene, selv om prosentandelene er noe ulike.

Eksempler på tiltak i kategorien ”prosedyrer/dokumentasjon” er:

- ”Klarere retningslinjer/mer fokus på risiko knyttet til perioden mellom revisjonsstansaktiviteter og aktiviteter knyttet til oppstart av anlegg ift. barrierer.”
- ”Krav til design og arbeid med flenser og fitting/tubing har blitt bedre spesifisert i NORSOK L-002 og NORSOK L004.”¹⁹

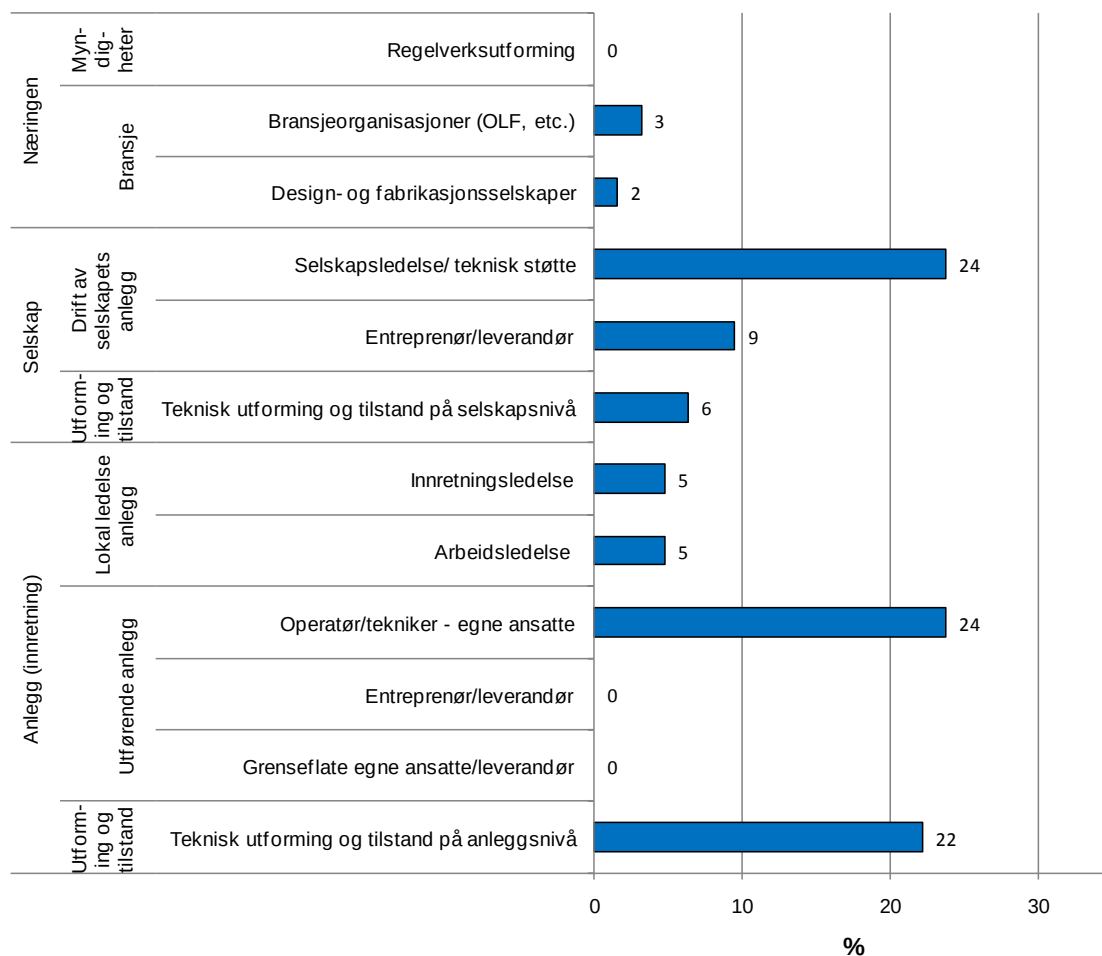
Type tiltak innenfor kategorien ”kontroll/sjekk/verifikasjon” er av en litt annen karakter her enn tiltak innenfor denne kategorien oppgitt i granskningsrapportene. Her gjenspeiler tiltakene faste ”kontroll/sjekk/verifikasjons”-rutiner som implementeres, som for eksempel:

- ”Lekkasjesøkerunde der områdetekniker går runder i områder for sjekk av HC lekkasjer. Dekker alle områder i løpet av en planlagt periode.”
- ”Intensivt inspeksjonsprogram av HC-rør for å avdekke korrosjonsutsatte rør på et tidlig tidspunkt.”
- ”Design og installasjonsverifikasjon ved bruk av høykompetent tredjepart, for kritiske prosjekter/utstyr.”

”Arbeidsbelastning” er verken nevnt som tiltak i granskningsrapportene eller i tiltakene oppgitt i tilbakemeldingen fra selskapene. Det er i tilsyn fra Ptil pekt på kapasitetsutfordringer på driftsleder, vedlikeholdsleder og fagansvarlig offshore stillinger, uten at dette altså tilsynelatende reflekteres i konkrete tiltak hos operatørene. Det er få tiltak på ”kommunikasjon/samhandling/grenseflater/målkonflikter”. Videre er det et forholdsvis beskjedent antall tekniske tiltak som er nevnt. Bedre teknisk design og bedre kontroll med den tekniske tilstanden kan oppnås indirekte gjennom flere av de øvrige tiltakene, eksempelvis bruk av bedre designprosedyrer og inspeksjonsprogram. Det kan imidlertid også være et resultat av at de tiltak som foreslås som diskutert tidligere begrenses til enkle tiltak en vet er realistiske og gjennomførbare basert på kostnads- og ressursbruk.

Tilsvarende som for tiltakene beskrevet i granskningsrapportene, har tiltakene mottatt fra de fire operatørselskapene blitt klassifisert i nivåer ut fra hvem/hva de er rettet inn mot (Figur 13).

¹⁹ Regelverket henviser til standarder, bla ulike NORSOK standarder (www.standard.no/petroleum) som er utarbeidet av fagfolk i petroleumsvirksomheten og som gir en retledning for hvordan regelverket skal operasjonaliseres og regelverkskrav kan innfris.

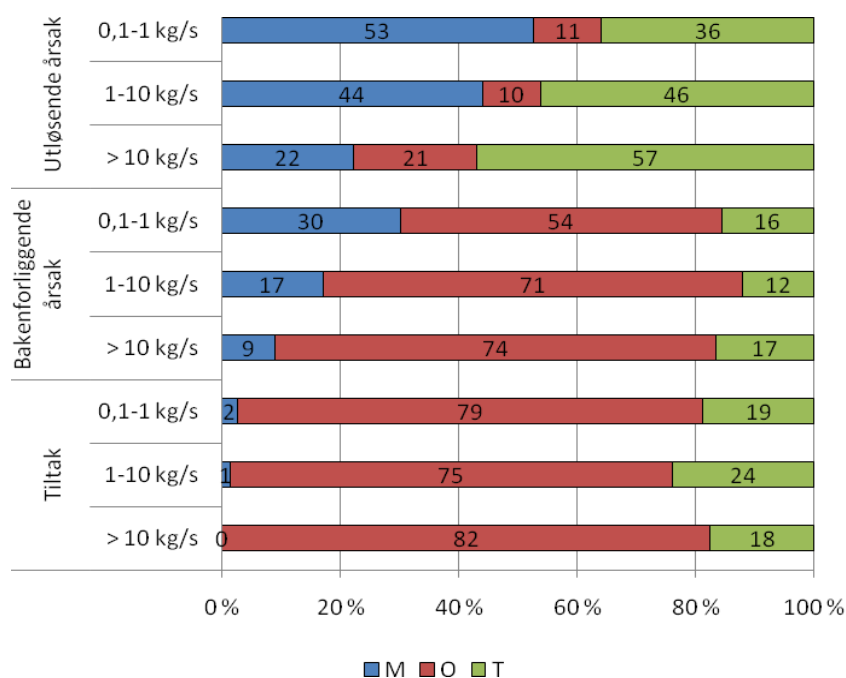


Figur 13 Prosentvis fordeling over hvem/hva tiltak berører som fire operatørselskaper har oppgitt å være deres viktigste bidrag til risikoreduksjon knyttet til hydrokarbonlekkasjer i perioden 2002-2010. N= 56 tiltak.

Merk at kun omtrent 6 % av tiltakene som operatørene har beskrevet er rent tekniske (se Figur 12), mens nesten 30 % av tiltakene i Figur 13 er rettet inn mot teknisk utforming og tilstand enten på innretnings- eller på selskapsnivå. Dette henger først og fremst sammen med at mange av tiltakene innenfor kategorien "kontroll/sjekk/verifikasjon" retter seg mot sjekking av innretningenenes tekniske tilstand (se punktliste over) uten at de konkret medfører tekniske endringer.

0.5 Sammenheng mellom hydrokarbonlekkasjestørrelser og årsaker/tiltak

Selskapsinterne granskninger fra hendelser med ulik alvorlighetsgrad på lekkasjen er sammenlignet. Lekkasjestørrelsen er oppgitt i 30 av de 36 granskningene og delt inn i tre kategorier; 0,1-10 kg/s, 1-10 kg/s og større enn 10 kg/s.



Figur 14 Prosentvis fordeling over type utløsende årsak, bakenforliggende årsak og tiltak beskrevet i selskapsinterne granskningsrapporter etter lekkasjens størrelse (N=30 granskninger, hvorav 13 med lekkasjestørrelse 0,1-1 kg/s, 11 med 1-10 kg/s og seks større enn 10 kg/s)

Det er relativt store forskjeller i hvordan utløsende årsaker forklares avhengig av alvorlighetsgraden på hendelsene og da spesielt med hensyn til fordelingen mellom M og T. Andelen som forklares med menneskelige årsaker er 22 % i de mest alvorlige hendelsene (> 10 kg/s) og hele 53 % i de minst alvorligste hendelsene (0,1-1 kg/s). Motsatt ser vi at tekniske utløsende årsaker utgjør 36 % for de minste lekkasjene og hele 57 % for de største lekkasjene. Hvorfor de alvorligste lekkasjene i større grad har tekniske årsaker er vanskelig å si bestemt. Det *kan* imidlertid ha fysiske forklaringer, som at når et rør sprekker eller en slange rives av, og en stor lekkasje oppstår, er dette gjerne forårsaket av utstyrssvikt.

Når vi ser på bakenforliggende årsaker er organisatoriske faktorer dominerende, men også her ser vi en tendens til at bidraget fra menneskelig svikt øker noe med avtagende alvorlighetsgrad på lekkasjene. Igjen er dette vanskelig å forklare, men det *kan* ha sammenheng med at slike lekkasjer ofte oppstår før, under eller etter at noen har ”skrudd” og dermed er muligheten for deteksjon og gjenvinning før hendelsen eskalerer større. En kan også tenke seg til at det er enklere, rent politisk, å forklare de minste lekkasjene med menneskelig svikt enn de aller største, men dette blir uansett bare spekulasjoner. En annen mulig forklaring kan være at for de største lekkasjene gjennomføres generelt mer omfattende granskninger som i større grad kanskje går inn på hvorvidt systemdesign kan ha påvirket hendelsesforløpet.

I forhold til tiltak, ser vi at disse fordeler seg forholdsvis likt mellom M, T og O uavhengig av størrelsen på lekkasjen. Dette *kan* tyde på at type tiltak som settes inn i noe begrenset grad er avhengig av alvorlighetsgraden på lekkasjen.

Det bør bemerkes at antall hendelser i hver lekkasjekategori er begrenset. Spesielt i kategorien for lekkasjer over 10 kg/s har det (heldigvis) vært relativt få lekkasjer i perioden 2002-2009; totalt 6 prosesslekkasjer på faste innretninger (RNNP 2010, Figur 29, s 68). Fire av disse seks inngår i vårt gjennomgåtte materiale. I tillegg har vi inkludert én lekkasje på landanlegg og én lekkasje knyttet til lasting til skytteltanker (dvs. totalt seks lekkasjer større enn 10 kg/s). Gjennomgående for disse hendel-

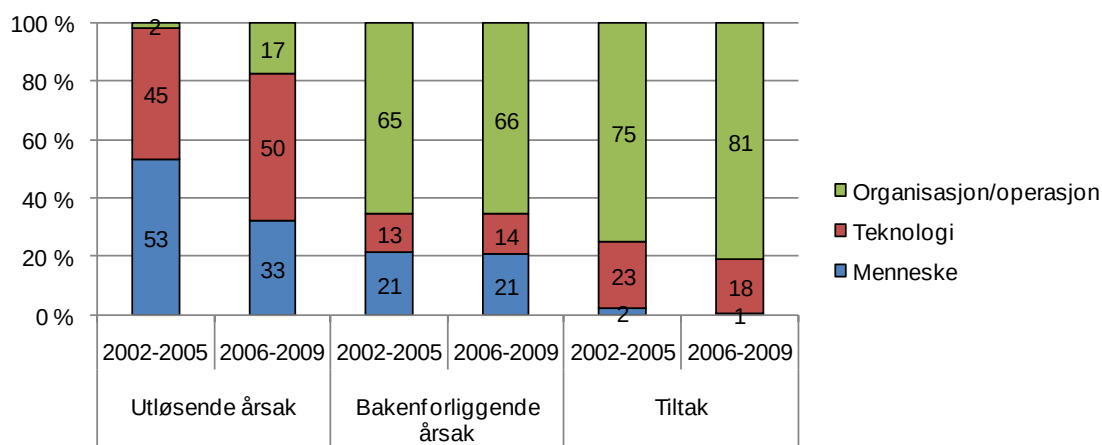
sene er at de har tekniske årsaker eller at tekniske forhold i kombinasjon med menneskelige feilhandlinger har ført til lekkasje.

0.6 Utvikling over tid – Endringer i årsaks- og tiltaksbildet

Type årsaker og tiltak beskrevet i granskningsrapportene er sammenlignet i perioden 2002-2005 og 2006-2009 for om mulig å undersøke om det er vesentlige forskjeller i hvordan årsaker forklares og valg av tiltak.

I de to tidsperiodene er det små forskjeller i hvordan bakenforliggende årsaker forklares og fordeler seg på M, T og O nivåene (jfr. Figur 15). Det samme gjelder foreslåtte tiltak i de to periodene. Det er ikke grunnlag i dataene for å peke på enkeltårsaker eller enkelttiltak hvor det har vært betydelige endringer gjennom perioden. Det er heller ikke grunnlag for, basert på gjennomgått hendelser, å si at granskningsmetodikken har endret seg nevneverdig gjennom perioden.

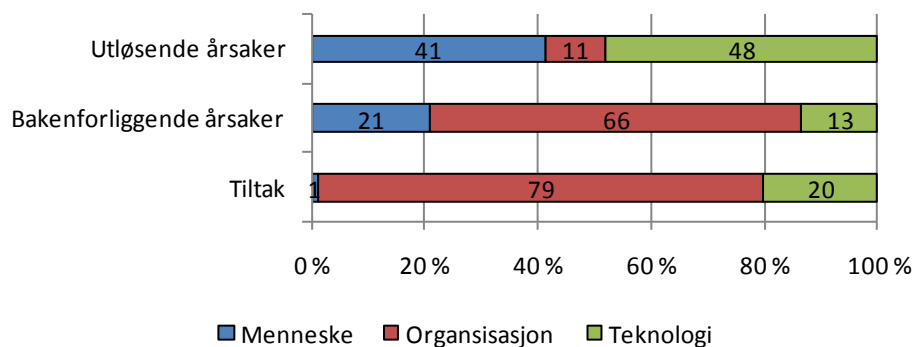
Når det gjelder utløsende årsak kan resultatene tolkes som om det har skjedd en viss endring i andelen som forklares med M og O mellom periodene, mens andelen årsaker som forklares med teknologiske forhold er omtrent lik. Som vi ser har andelen menneskelig svikt gått noe ned mens organisatoriske forhold har økt noe. Forklaringen på dette er uklar. Det kan skyldes en kompetanseheving hos utførende personell, men kan også skyldes et generelt økt fokus i petroleumsvirksomheten og fra myndighetenes side på organisatoriske forhold i de seinere år og dermed en tendens til i noe større grad å forklare menneskelige (feil)handlinger med organisatoriske forhold. Sammenligningen er basert på et begrenset antall hendelser i de to tidsepokene, noe som også kan påvirke resultatene.



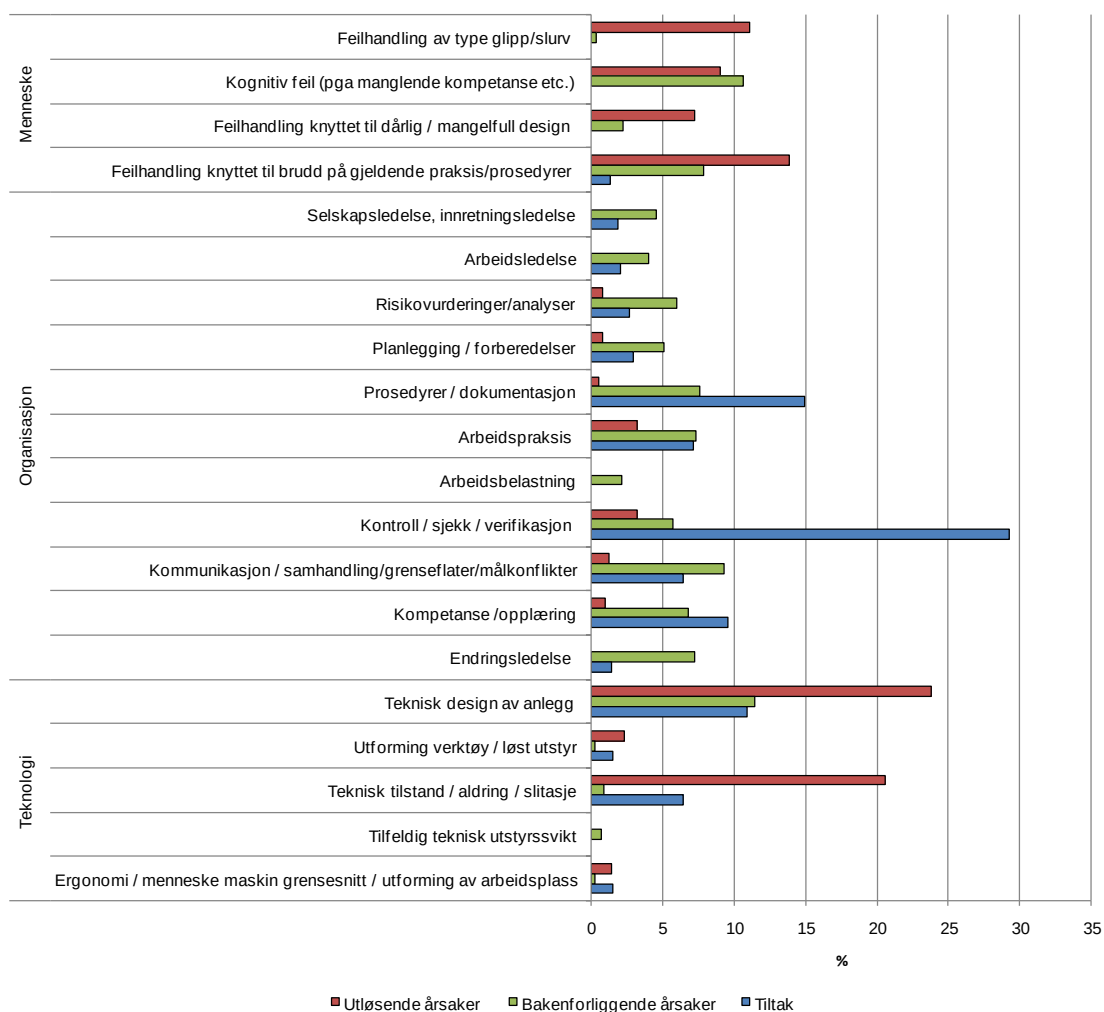
Figur 15 Prosentvis fordeling over type utløsende årsak, bakenforliggende årsak og tiltak beskrevet i selskapsinterne granskningsrapporter i perioden 2002-2005 (N=15 granskninger) og 2006-2009 (N=21 granskninger).

0.7 I hvilken grad er det samsvar mellom identifiserte årsaker og tiltak?

Et sentralt spørsmål som vi ønsker å belyse i denne studien er i hvilken grad det er samsvar mellom identifiserte årsaker og de tiltakene som er beskrevet i granskningene. **Figur 16** og **Figur 17** viser en sammenstilling av identifiserte årsaker (direkte og bakenforliggende) og resulterende tiltak for de 36 selskapsinterne granskningene.



Figur 16 Oversikt over identifiserte årsaker (direkte og bakenforliggende) og resulterende tiltak for hovedgruppene M, T og O (N=36 granskninger).



Figur 17 Sammenstilling av identifiserte årsaker (utløsende og bakenforliggende) og resulterende tiltak for de selskapsinterne granskningene (N=36)

I forhold til spørsmålet om hvorvidt det er godt samsvar mellom identifiserte årsaker og resulterende tiltak kan en gjøre seg noen refleksjoner:

- Fra Figur 17 ser en at kategorien av tiltak som er klassifisert som ”kontroll/sjekk/verifikasjon” er svært hyppig representert (nærmere 30 %) når en sammenligner direkte med bidraget fra årsaker som kan knyttes opp mot manglende planlegging, analyser, kontroller og verifikasjoner (omtrent 14 % som bakenforliggende årsak). Slike tiltak *kan* resultere i endringer av både teknisk og organisatorisk karakter, som bedre inspeksjonsrutiner eller en ny prosedyre

som forbyr jobbing på trykksatte systemer. Som tidligere diskutert er det imidlertid grunn til å tro at mange tiltak ikke munner ut i konkrete endringer, noe som delvis kan skyldes at det som er sjekket/verifisert i ettertid er funnet ok, men også det faktum at tiltak i denne kategorien ofte er lite konkrete.

- Det er som tidligere antydnet, relativt få konkrete tekniske tiltak i forhold til den store andelen utløsende årsaker. Dette kan ha en rekke årsaker, knyttet til gjennomførbarhet, viljen til å gjøre større endringer og i den sammenheng selvfølgelig kostnader. Noe av dette er nærmere diskutert i delkapittel 0.8.
- Gapet mellom menneskelig feilhandlinger som en årsak og identifiserte tiltak for å bøte på dette er tilsynelatende stor. Dette gapet er delvis forklart i delkapittel 0.3.1, men viser uansett at kompetanse knyttet til menneskelige faktorer og design av brukervennlige løsninger gjerne kan styrkes i granskningsteamene (jf diskusjon i delkapittel 0.3.1 og 0.3.2). Dette kan også knyttes opp mot punktet over. En trenger vilje, men også kompetanse til å implementere nye og mer brukervennlige løsninger.
- Tiltak rettet inn mot forbedring av kompetanse og risikoforståelse utgjør kun 10 % av registrerte tiltak i granskningene, noe som rent umiddelbart kan synes lavt i forhold til at nesten 20 % av de bakenforliggende årsakene kan knyttes direkte opp mot dette (se diskusjon i delkapittel 0.2.2). Her har det gjennom OLFs GaLeRe prosjekt imidlertid vært gjort mye arbeid på bransjenivå og dessuten har tiltak blitt gjennomført på organisasjonsnivå hos selskapene (se delkapittel 0.4). Det er i denne sammenheng verdt å bemerke at mye er gjort i forhold til å utvikle generelle retningslinjer og prosedyrer (se blant annet Figur 12). Dette er bra, men kan ikke fullt ut kompensere for lokale forhold og hver enkelt innretnings særegenheter. Det er derfor viktig å tilpasse prosedyrene til lokale forhold ikke minst sett opp mot trenden med ambulerende vedlikeholdspersonell som nødvendigvis vil ha noe begrenset lokal anleggskompetanse.

0.8 Design som sentral årsaksfaktor

Av Figur 6 og Figur 8 i delkapittel 0.2 ser en at teknisk design av anlegget er funnet å være den viktigste utløsende årsak og dessuten den viktigste enkeltstående bakenforliggende årsak for de vurderte hendelsene. Dette temaet ble derfor valgt ut for nærmere diskusjon.

0.8.1 Design som generell årsak

Utenlandske studier (Kinnersley og Roelen, 2007), innenfor luftfart og kjernekraft indikerer at omtrent 50 % av ulykker har minst en av sine rotårsaker i design, hvor design er definert som prosessen eller fasen hvor utstyret i detalj spesifiseres for produksjon (dvs. fabrikasjon og utstyrsutprøving er ikke inkludert). Selv om slike studier kun gir en pekepinn og blant annet avhenger av hvor vidt en definerer begrepet design og hvor en setter grensen for hva som skal tilskrives utstyret og hva skal tilskrives den som opererer utstyret, er det naturlig ut i fra dette å anta at dårlig eller mangelfull design også er en viktig årsaksfaktor innenfor petroleumsindustrien (se under).

I (Kjellén, 2007) diskuteres to perspektiver på hvordan ulykker kan forebygges gjennom design. Første perspektiv er menneskeorientert og fokuserer på operatøren i den skarpe enden og hvordan design av arbeidsplassen kan optimaliseres for å forhindre feil og feilhandlinger som kan medføre ulykker. Eksempler her kan være marginer i prosessen som muliggjør manuell intervensjon i kritiske situasjoner, tilrettelegging for dobbel isolering ved inngrep i prosessen og god merking av prosessutstyr. Andre perspektiv er barriereorientert og fokuserer på å innarbeide barrierer som kan gripe inn i en hendelseskjede slik at avvik ikke får utvikle seg til en ulykke, både frekvens- og konsekvensreducerende barrierer. Eksempler her kan være nødavstengning på høyt nivå, gassdeteksjon og trykkavlastning av prosessen.

I dette delkapitlet vil vi først og fremst berøre det første perspektivet; hvordan design av utstyr og arbeidsplass påvirker og/eller medfører såkalte operatørfeil. Selv om dette på langt nær er et nytt område innenfor petroleumsindustrien (se for eksempel Oljedirektoratets YA 710 og Norsok Standard

S-002) kan en nok si at fagfeltet er mindre utforsket og på mange måter mer utfordrende enn design av fysiske barrierer, som har bidratt betydelig til å forhindre branner og eksplosjoner i offshoreindustrien (Kjellén, 2007).

0.8.2 Design som årsak til hydrokarbonlekkasjer

En stor del av hydrokarbonlekkasjene på norsk sokkel er knyttet til feil og feilhandlinger i interaksjonen mellom det tekniske utstyret og mennesket. Typiske eksempler er knyttet til inngrep i prosessanlegget, hvor utløsende årsak kan være at en ventil har blitt satt i feil posisjon, feil ventil har blitt operert, eller en flens har blitt feilaktig montert (Aven, Sklet og Vinnem, 2006).

Granskninger forklarer ofte menneskelig svikt i en eller annen form med manglende kompetanse, manglende prosess- og/eller risikoforståelse, manglende risikovurderinger/ analyser, prosedyrebrudd eller rett og slett forglemmelse/slurv hos operatøren. Implisitt forutsetter disse forklaringene at en er "prisgitt" det tekniske utstyret og at de avvik og feilhandlinger som inntreffer hovedsakelig skyldes dem som opererer utstyret.

En kan imidlertid også velge å se problemstillingen fra en annen side; Er det slik at utstyrs- og prosessdesign i noen tilfeller "innbyr" til feilhandlinger og hvis ja, hvordan kunne designen vært gjort annerledes? La oss se på noen konkrete hendelser hentet fra de gjennomgåtte granskingsrapportene:

.....

Ved lekkasjetesting etter bytte av hydraulisk styring for en manifoldventil åpnet ventilen utilsiktet og momentant. Dette førte til en kraftig trykkbølge og brudd i en 2" trykkutjevningsslinje som resulterte i en gasslekkasje med initiell rate 26 kg/s.

Påfølgende granskning av hendelsen viste at det i utprøvningsfasen ble avdekket at flere ventiler gikk motsatt vei i forhold til hva som var tiltenkt og at årsaken lå i hvordan hydraulikk ble tilført ventil-aktuator. For å rette opp dette ble magnetventilene ombygd. Som det sies i granskingsrapporten "Det er enklere å spille magnetventilen enn å bygge om koblingen mellom hydraulikkblokken og aktuatoren". Det sies videre i granskingsrapporten: "Hendelsen var primært forårsaket av at magnetventilen ble speilvendt i byggefasen uten at reservedeler på lager og dokumentasjon ble endret tilsvarende. Denne feilen lå da som en latent trussel."

I forbindelse med lekkasjetesting av brønnhodeventil ble en trykkutjevningsslinje overtrykket og en pakning røk. Pumpa som ble brukt til opptrykking under lekkasjetesten hadde trykkklasse 5000psi og var forbundet med et system med langt lavere operasjonstrykk. Dette i kombinasjon med en feilaktig stengt ventil på trykkutjevningsslinja, medførte overtrykk på lavtrykkssystem som fikk pakning til å ryke.

Etter fullført boreoperasjon skulle borepersonell blø av gjenværende gass i borerøret til testseparator. Operatør åpnet imidlertid feil ventil slik at gass fra riser ble sluppet ut til brennerbom og derfra til atmosfære istedenfor til testseparator. Ventilen som feilaktig ble åpnet var dårlig merket og var dessuten siste barriere mot atmosfære, noe som medførte en lekkasje til friluft.

.....

Felles for disse eksemplene og flere andre hendelser er at prosessanlegget er designet på en måte som gjør det mer sårbart for feilhandlinger i drift og som forutsetter spesiell operasjonell oppfølging eller varsomhet. Ved for eksempel å bygge om koblingen mellom hydraulikkblokken og aktuatoren i det første tilfellet over, ville trolig hendelsen vært unngått.

Figur 6 viser at for omtrent 30 % av de gjennomgåtte hendelsene er utløsende årsak knyttet til teknisk design/utforming av anlegget (eller tilhørende utstyr). For 41 % av de studerte hendelsene er menneskelig svikt i en eller annen form en utløsende årsak, og 7 % kan knyttes direkte til dårlig / mangelfull design. I sum tilsier dette at nærmere 40 % av de gjennomgåtte hendelsene har sammenheng med anleggets utforming og derfor i prinsippet kunne vært unngått med en annen design.

0.8.3 Re-design eller tilpasning

Gjennomgangen av granskingsrapporter og studien av foreslåtte og gjennomførte tiltak, indikerer at mindre designendringer foreslås, men at større ombygginger som koster tid og penger, sitter lengre inne. Gjennomgangen av tiltak (se Figur 10) indikerer dessuten at aksjoner ofte innebærer at eksiste-

rende systemer skal ”gjennomgås”, ”vurderes” og ”verifiseres” uten at denne studien har gått konkret inn på i hvor ofte dette faktisk fører til ombygginger. Videre ser en at identifiserte tiltak ofte går på tilpasning av prosedyrer og arbeidspraksis samt opplæring og bevisstgjøring av operatørene. Med andre ord har man en tendens til at operatørene må tilpasse seg eksisterende løsninger snarere enn at de tekniske systemene bygges om for å tilpasses brukeren. En kan derfor etterlyse en mer offensiv holdning fra virksomheten til heller å redesigne seg vekk fra dårlige løsninger enn å akseptere og tilpasse seg dem. Dette gjelder både design- og utprøvningsfasen hvor endringer kan påvirke ”framdrift og budsjett” og derfor nedprioriteres, og i drift hvor større endringer ofte vil kreve produksjonsstans. Med økt fokus på kostnader, haleproduksjon og tilhørende modifikasjoner av eksisterende innretninger, kan en forvente seg økt påtrykk mot å tilpasse seg eksisterende løsninger snarere enn å foreta kostbare ombygginger.

0.8.4 Robuste løsninger og kompleksitet

Med begrepet robuste løsninger forstår vi normalt at systemene er designet slik at de i liten grad er sårbar for feil og avvik og at risikoen knyttet til dem dermed er begrenset. Et eksempel kan være en rørledning bygget slik at den kan tåle maksimumstrykket fra alle tilstøtende kilder/brønner og dermed ikke kan overtrykkes. Et annet eksempel kan være en separator som er designet og opereres slik at når utløpet stenger uplanlagt, så har en ”god tid” til å få isolert tanken før den overfylles²⁰.

I forbindelse med modifikasjoner av eksisterende installasjoner, men også i forbindelse med nybygg, har en i den senere tid sett en tendens til at mer komplekse løsninger tas i bruk, og noen konkrete eksempler er:

- Bruk av instrumentert trykksikring istedenfor mekanisk beskyttelse (sprengblekk).
- Behov for å foreta styrt sekvensiell trykkavlastning pga begrensninger på fakkelsystemet (i motsetning til å kunne blåse ned alle prosessavsnitt samtidig).
- Subsea HIPPS²¹ løsninger istedenfor rørledninger som tåler trykket fra alle kilder.
- Integrerte kontroll-/ prosessnedstengnings-/ og nødavstegningssystemer, hvor systemgrensene i økende grad implementeres i software (istedenfor i hardware) og dermed er vanskeligere å verifisere.

I en tid hvor det, på grunn av nedbemanninger knyttet blant annet til haleproduksjon og omorganiseringer, uttrykkes bekymring rundt forvitring av lokal kompetanse på innretningene, er det kanskje grunn til å sette spørsmålstegn ved hvorvidt en utvikling mot mer komplekse systemer som krever økt operasjonell oppfølging og detaljert systemforståelse egentlig er ønskelig.

0.8.5 Noen avsluttende betraktninger knyttet til design

Petroleumsindustrien har de senere år hatt et betydelig fokus på organisatoriske forhold og ledelsens ansvar for ulykker. Dette er bra og nødvendig, men samtidig er det verdt å minne om at vi på langt nær har designet oss vekk fra all tekniske utfordringer. Vi har i dette delkapitlet diskutert design som en sentral årsak til hydrokarbonlekkasjer og hevder at mange lekkasjer kunne vært unngått med en annen og bedre design, samt en større vilje til tekniske endringer. Human Factors (HF)-tilnærmingen²² er en del av metodene og det teoretiske grunnlaget for å bedre samspeilet mellom mennesker, teknologi og organisasjon. Så langt har petroleumsindustrien i Norge hovedsakelig benyttet HF kunnskap/metoder i design av arbeidsplasser som kontrollrom og borekabiner. Det er imidlertid ingenting i veien for å

²⁰ Fra gjennomgåtte granskninger ser en eksempel på hendelser som indikerer at en har svært liten tid fra et avvik oppstår til en kritisk prosessstilstand inntreffer.

²¹ HIPPS (High Integrity Pressure Protection System) er et instrumentert sikringssystem med oppgave å isolere trykkilden (for eksempel ved å stenge ventiler eller stoppe en pumpe/kompressor).

²² Human factors (HF) "...is the scientific discipline concerned with the understanding of interactions among humans and other elements of a system, and the profession that applies theory, principles, data and methods to design in order to optimize human well-being and overall system performance." (International Ergonomics Association, 2000).

benytte denne innfallsvinkelen også i design av andre arbeidsplasser som er viktige sett fra et sikkerhetsmessig synspunkt. Et eksempel kan være å foreta operasjonelle gjennomganger av prosessanlegget for å avdekke hvorvidt ”piping og layout” inkludert merking av utstyr kan forbedres i forhold til å redusere sannsynligheten for å operere på feil system (som har vært årsak til lekkasjer). Det er en generell utfordring for petroleumsvirksomheten å fokusere på sikre løsninger og heller redesigne seg vekk fra dårlige løsninger snarere enn å akseptere og tilpasse seg dem. Det er også en utfordring å sikre god erfaringsoverføring tilbake til engineering- / fabrikkasjonnsselskaper for å forhindre at uheldige løsninger gjentar seg.

0.9 Betingelser for læring av tidligere hendelser

0.9.1 Bakgrunn for temaet

Et potensielt viktig innsatsområde for å redusere antallet hydrokarbonlekkasjer på norsk sokkel, er å bedre den organisatoriske læringen til selskapene. I vår gjennomgang av granskninger ser vi implisitt at samme type hendelser eller tilløp gjentar seg uten at dette på tilstrekkelig vis er kommunisert ut i organisasjonen og/eller reflektert i bedre ”planlegging/ forberedelser/analyser”, i endret ”arbeidspraksis” eller i bedre ”kontroll / sjekk / verifikasjon” (se pkt 1.2 Figur 8). Mangelfull læring av tidligere hendelser er med andre ord et underliggende felles multiplum for flere av de organisatoriske årsakskategoriene. Også andre studier underbygger det samme. I en gjennomgang av hydrokarbonlekkasjene på norsk sokkel i perioden fra 2002 til 2005 (Sklet et al. 2010), ble det for eksempel funnet at et flertall av dem kan knyttes opp mot feil i forbindelse med installasjon av flenser og bolter, isolering/blinding og ventiler i feil posisjon. Dette årsaksbildet har ikke forandret seg vesentlig de senere årene (Haugen et al. 2011). Viktige spørsmål å stille seg da blir hvordan man kan unngå at de samme feilene gjentas og stadig fører til lekkasjer, og hvordan vi bedre kan lære av de hendelsene (hydrokarbonlekkasjene) som har skjedd.

Det finnes flere definisjoner på læring og de fleste av dem innbefatter endring i atferd av mer eller mindre varig karakter (Weick & Sutcliffe, 2007; Schiefloe, 2003). Sett i en organisatorisk sammenheng kan læring forstås som nye, felles utviklede ferdigheter i en virksomhet, som kommer til syne i måten man jobber sammen på (Argyris & Schön, 1996). Når det gjelder lekkasjer kan dette dreie seg om arbeidsmåter i alle faser i arbeidsprosessene, både i planlegging, utførelse og kvalitetssjekk. Slike ferdigheter kan også omfatte måten beslutninger fattes på.

To viktige, generelle betingelser for læring i denne sammenhengen er 1) at man har god informasjon som grunnlag for forbedringer og 2) at denne informasjonen senere blir brukt for å endre handlingsrepertoaret og arbeidsmåtene. I det følgende vil det diskuteres noen utfordringer ved tre sentrale informasjonskilder som blir brukt som grunnlag for læring i petroleumsvirksomheten i dag; granskninger, hendelsesdatabaser og indikatorer, etterfulgt av noen vurderinger av hvordan denne typen informasjon kan utnyttes i læringsøyemed.

0.9.2 Sentrale informasjonskilder for læring

0.9.2.1 Granskninger

Gjennom granskninger av en ulykke eller hendelser er siktemålet å kartlegge hva som har skjedd, hvorfor det skjedde og hvordan lignende hendelser kan unngås i framtiden (Tinmannsvik et al., 2004). Det ligger med andre ord en klar læringsmotivasjon i det å gjennomføre granskninger.

Forskjellige ulykkesmodeller benyttes i granskninger. Når det gjelder hydrokarbonlekkasjer brukes både ”Prosessmodellen”, som framstiller hendelsesforløpet grafisk i flytskjema, ”Energimodellen”, hvor både barrierer som har sviktet og fungert analyseres, og ”Dominomodellen”, hvor man søker å avdekke bakenforliggende og direkte/utløsende årsaker²³. Ofte benyttes elementer av disse modellene

²³ Se Hovden et al. (2004) for beskrivelser av Prosessmodeller (for eksempel Hendrick & Benner, 1987), Energimodeller (for eksempel Reason, 1997) og Dominomodellen (Heinrich, 1931)

samtidig, noe som kan bidra til at man får et mer ”komplett” bilde av relevante årsaksforhold som har hatt betydning. Dette kan danne basis for å identifisere gode og virkningsfulle tiltak.

Vår gjennomgang av granskninger har imidlertid illustrert et forbedringsområde når det gjelder konkretisering av tiltak som foreslås (jfr. delkapittel 1.3.1), for eksempel knyttet til kontroll- og verifikasjon. Tiltaksforslag som eksempelvis inneholder formuleringer som ”økt fokus på” og ”en må sikre at” vil kreve videre bearbeiding og kan ”lukkes” på ulike måter, med ulik ressursinnsats og også effekt.

Et supplement til tradisjonelle ulykkesmodeller som benyttes i granskninger kan være modeller som også omfatter vurderinger av systemfaktorer og rammebetingelser²⁴, og hvordan ulykker kan oppstå som et resultat av komplekse, ikke-lineære sammenhenger (Thunem et al. 2009). Slike modeller kan frambringe en annen type kunnskap om årsaker og årsakssammenhenger. Et eksempel er ”Pentagonmodellen”, hvor forhold som sosiale relasjoner, samhandling, kultur, struktur og teknologi inngår, og hvor man ser på de komplekse sammenhengene mellom slike forhold for å forklare ulykker. Modellen ble anvendt i årsaksanalysen etter gassutblåsningen på Snorre A i 2004 (Schiefløe & Vikland, 2005). Her beskrives hvordan både formelle og uformelle sikkerhetsbarrierer ble svekket over tid, som et resultat av et samspill mellom blant annet hyppige organisatoriske endringer, økt mengde styrende dokumentasjon, økende grad av administrative oppgaver for ledere og liten kontakt med nettverk utenfor plattformen.

Hovden et al. (2011) beskriver noen forhold som bidrar til læring av granskninger. I selve granskningsprosessen anses det som viktig at granskningen er uavhengig, at mandatet omfatter alle nivåer (operativt nivå, ledelse, selskap, tilsynsmyndigheter), at granskningsteamet omfatter relevant fagkunnskap og kunnskap om granskningsmetodikk og at ansvar/straff ikke er en del av mandatet. Selve granskningsrapporten kan bidra til læring gjennom at den gir spesifikke, men ikke for preskriptive anbefalinger, at den gir en detaljert beskrivelse av hendelsen og at den publiseres raskt etter hendelsen. I oppfølgingsfasen anses det som viktig for læring at tiltak utvikles i et samarbeid mellom de berørte aktørene (operatøransatte på ulike organisatoriske nivå og eventuelle entreprenører), at tilsynsmyndigheter verifiserer at tiltak iverksettes og at aktørene har en læringskultur (se for øvrig delkapittel 0.3.1). Vi vil spesielt framheve at oppfølgingsfasen er avgjørende for læring og utviklingen av en arbeidspraksis som kan redusere risikoen for gasslekkasjer. Ettersom arbeidspraksis best kan forstås i sammenheng den utføres i, blir det sentralt at et bredt spekter av aktører inkluderes i oppfølgingsfasen, både operativt personell, ledelse og kontraktører (se for øvrig delkapittel 0.9.3).

0.9.2.2 Hendelsesdatabaser

Et sentralt element i aktørenes sikkerhetsstyringssystemer er personellets rapportering av uønskede hendelser som registreres i databaser og gjøres til gjenstand for statistiske analyser. Et viktig siktemål er at man gjennom dette blir i stand til å se trender og utviklingstrekk og dermed kan prioritere ressurser og ulykkesforebyggende innsats. Rapporteringen omfatter også tilløp og nesten-ulykker, gjerne omtalt som ”gratisleksjoner” fordi de kan innebære signaler om mer grunnleggende svakheter som kan utbedres før faktiske skader skjer²⁵. Læring er altså et sentralt siktemål også med registrering av hendelser.

På bakgrunn av registrerte hendelser, utarbeides det blant annet indikatorer (”Key performance indicators”) på sikkerhetsområdet, også når det gjelder hydrokarbonlekkasjer (jfr. 1.9.2.3). Disse benyttes som en del av sikkerhetsstyringen og for å overvåke utvikling over tid. Resultatene gjøres tilgjengelig og får oppmerksomhet, spesielt på ledernivå. Generelt er det slik at ”det som måles også blir gjort noe med”, eller genererer forbedringsaktiviteter (Zwetsloot, 2009). Databasene er også lett tilgjengelig for søk for mange brukere i flere av selskapene. Annen relevant dokumentasjon knyttes også ofte til hendelsesrapportene, som granskninger, bilder av hendelsene, status på tiltak etc. En slik samling av informasjon gjør databasene til en potensielt meget nyttig utgangspunkt for diskusjon og praksisendring.

²⁴ Rammebetingelser er definert som forhold som påvirker de praktiske muligheter en organisasjon, organisasjonsenhet, gruppe eller individ har til å holde storulykkesrisiko og arbeidsmiljørisiko under kontroll (Rosness et al., 2009).

²⁵ Se f.eks. Lamvik et al.(2008) for en diskusjon av rapportering av tilløp og ”isfjellmodellen” som denne praksisen bygger på

Det er imidlertid også knyttet betydelige utfordringer til bruk av hendelsesdatabasene. Når det gjelder registreringen, er det mange ulike årsakskategorier som kan benyttes, særlig knyttet til bakenforliggende årsaker. Noen av disse kategoriene kan ha et tvetydig innhold og ha overlapp med andre kategorier. Samtidig har mange mulighet til å registrere hendelser i selskapene, gjerne begrunnet med at de som har førstehånds kunnskap om hendelsene også er de som har de beste forutsetningene for å registrere relevant informasjon. En uheldig konsekvens kan imidlertid være ulike tolkninger og bruk av årsakskategorier, noe som kan redusere nytteverdien for senere analyser. Kategorisering av årsaksforhold knyttet til de større og mer alvorlige hendelsene vil normalt være kvalitetssikret i større grad.

Selskapene bruker generelt mye ressurser på å innhente informasjon og sitter også med et meget stort datamateriale. I vår gjennomgang av granskninger ser vi at dette materialet gjerne benyttes for å belyse hvorvidt tilsvarende hendelser har skjedd før, altså retrospektivt. Dette ser ut til å være et nyttig supplement i granskingsprosessene. Det synes imidlertid å være en større utfordring å benytte dette materialet også forebyggende. Vi vet for eksempel lite om hvor godt operatørene og ledelsen offshore kjenner "historien", dvs. om det er gjentakende hendelser av samme type på den enkelte innretning og hvilke tiltak som er gjennomført. Mengden av informasjon kan bli en hemsko i seg selv i forhold til forebygging: "Well-organized and well used incident reporting systems [...] are already beginning to grow so large that it is not possible to see the wood for trees." (Hale, 2002). Dette representerer en særlig utfordring for de som har ansvar for erfaringsoverføring på en gitt innretning. Dataene krever til dels mye manuell bearbeiding og søk i fritekst dersom en ønsker å studere underliggende årsaker til svikt og avvik. I tillegg krever aktiv bruk av hendelsesdatabasene ressurser, samt praktisk kompetanse og kunnskap om de mulighetene og begrensningene som dataene innebærer. Hvorvidt dette er tilgjengelig i operative miljøer og ute på innretningene, vil kunne variere.

0.9.2.3 Indikatorer

En annen informasjonskilde som potensielt kan være svært nyttig er indikatorer eller enkle måltall som kan gi varsel om at risikoen for hydrokarbonlekkasjer er økende på et landanlegg eller en innretning offshore. Det har vært en relativt intens jakt på gode prosessindikatorer, både innen praktiker- og forskningsmiljøer²⁶ (Hopkins, 2009).

I RNNP benyttes flere *tekniske* indikatorer for risikoen for storulykker, blant annet basert på tekniske barrieredata og hendelsesfrekvenser for gasslekkasjer (Vinnem, 2010). Det finnes gode "steg-for-steg" framgangsmåter for hvordan man kan utvikle denne typen prosessindikatorer i industrien (se f. eks. HSE 2006).

Det har vist seg vanskeligere å utvikle gode indikatorer for *organisatorisk* sikkerhet. Organisasjoner kan forstås som sosiale strukturer og -prosesser i konstant endring. Det å "fange" hvordan slike strukturer og prosesser påvirker risikoen for gasslekkasjer er en stor utfordring, og det å utvikle indikatorer og akseptkriterier tilsvarende vanskelig. Det er imidlertid gjort en stor innsats for å utvikle indikatorer også på dette området. Innen det som kan benevnes som *sikkerhetsklimatradisjonen*²⁷ benyttes det spørreskjema som inneholder sikkerhetsrelaterte spørsmål om blant annet ledelse, risiko og sikkerhetssystemer, arbeidspress og kompetanse²⁸. Man ser så på hvilke statistiske sammenhenger som finnes mellom disse dataene og sikkerhetsrelatert atferd eller ulykker. Sikkerhetsklimamål kan dermed fungere som sikkerhetsindikatorer, gitt at man klarer å påvise gode sammenhenger med uønskede hendelser. Det har imidlertid vært vanskelig å få etablert slike sammenhenger (Clarke, 2006) og enkelte

²⁶ Harms-Ringdahl (2009: 481) beskriver sikkerhetsindikatorer som observerbare mål som gir innsikt i sikkerhet, et fenomen som er vanskelig å måle direkte.

²⁷ Et eksempel på en definisjon på sikkerhetsklima er "...the shared perceptions with regard to safety policies, procedures and practices." (Zohar, 2003:125).

²⁸ Spørreskjemaundersøkelsen som gjennomføres annet hvert år i regi av RNNP omfatter også en rekke utsagn som omhandler disse temaene, og som brukes som mål på sikkerhetsklima. Eksempler er "Min leder setter pris på at jeg påpeker forhold som har betydning for HMS", "Jeg har fått tilstrekkelig opplæring innen sikkerhet" og "Rapporter om ulykker eller farlige situasjoner blir ofte "pyntet på".

(f. eks. Haukelid, 2008) mener at denne typen komplekse, sosiale fenomen vanskelig kan forklares ved hjelp av enkle årsaks-virkningssammenhenger, slik man prøver på i sikkerhetsklimatradisjonen.

Det finnes likevel studier som viser at sikkerhetsklima målt ved hjelp av spørreskjema kan være nyttig som indikator (Tharaldsen et al. 2008, Zohar 2010). I to norske undersøkelser er det f. eks. funnet sammenhenger mellom sikkerhetsklima og hydrokarbonlekkasjer på offshore innretninger (Vinnem et al., 2010; Kongsvik et al., 2011). Begge studiene viser at innretninger med mer negative sikkerhetsklima hadde flere lekkasjer over 0,1 kg/s enn innretninger hvor sikkerhetsklimaet var mer positivt. Videre viser studiene at sikkerhetsklimamålene hadde en sterkere sammenheng med lekkasjer enn utvalgte tekniske indikatorer. Dette illustrerer at sikkerhetsklimaindikatorer kan brukes som en av flere informasjonskilder for å monitorere risikoen for hydrokarbonlekkasjer, og en av flere kriterier for å bestemme hvor man bør sette inn preventive tiltak.

Selv om det innen risikoanalysetradisjonen har vært størst fokus på hvordan tekniske forhold påvirker risiko forbundet med hydrokarbonlekkasjer, er det også gjort en betydelig innsats for å inkludere organisatoriske faktorer. Flere risikomodeller som innbefatter organisatoriske faktorer er utviklet i en norsk sammenheng, for eksempel ORIM (Øien, 2001), BORA (Aven et al., 2006) og RISK OMT (Nyheim et al., 2010). Gjennom disse arbeidene er det identifisert en rekke viktige organisatoriske forhold som kan ha betydning for risikoen for hydrokarbonlekkasjer, som ledelse, kommunikasjon, kompetanse, arbeidsbelastning og endringsledelse. Imidlertid er slike faktorer i liten grad inkludert i de kvantitative risikoanalysene (QRAer etc.). Dette kan blant annet ha bakgrunn i de betydelige ressursene som må legges inn i ”skreddersøm” av indikatorene for ulike situasjoner og innretninger, og også i oppdatering av dem med jevne mellomrom. Det gjenstår å se hvorvidt mer generiske modeller som RISK OMT lettere kan inkluderes i de løpende risikovurderingene som gjøres på innretningene.

På bakgrunn av at en betydelig andel av hydrokarbonlekkasjene har bakgrunn i organisatoriske forhold (Sklet et al., 2010), kan det være et viktig tiltak for næringen også å videreutvikle og ta i bruk indikatorer på dette området. Det er f. eks. utviklet et rammeverk for indikatorer basert på ”resilience engineering”²⁹ (Hollnagel et al., 2006; Øien et al., 2010), som kan gi informasjon om viktige organisatoriske forhold, inkludert læring av hendelser.

Indikatorer som sikkerhetsmål får ofte stor oppmerksomhet i organisasjonen, noe som også innebærer en fare for ”tunnelsyn” og at andre viktige forhold blir oversett. Slik sett står man i fare for at indikatorer kan fungere som en avledning eller et ”decoy”-fenomen (Turner & Pidgeon 1997). De bør derfor benyttes med varsomhet og i kombinasjon med andre informasjonskilder som forteller noe om risiko og risikoutvikling.

0.9.3 Utvikling av læringsevnen

Vi har pekt på noen utfordringer og forbedringsområder knyttet til læring fra granskninger, hendelsesdatabaser og indikatorer gir. Hvorvidt læring *faktisk* skjer avhenger imidlertid av hvordan denne informasjonen senere blir brukt for å endre handlingsrepertoaret og arbeidsmåtene.

I denne sammenhengen kan det skilles mellom enkel- og dobbelkretslæring (Argyris & Schön, 1978). Enkeltkretslæring innebærer å justere/forbedre en etablert arbeidspraksis, for eksempel ved å innføre en ekstra kontroll av nye pakninger som settes inn i flenser. Dobbeltkretslæring innebærer å innføre en ny praksis som fjerner mer grunnleggende årsaker til uønskede hendelser, f.eks. gjennom å innføre en ny designfilosofi som reduserer antallet flenser og mulige lekkasjepunkter. Informasjonskildene som er presentert over vil kunne gi grunnlag for enkeltkretslæring, dvs. i vår sammenheng endringer i praksis som kan medføre hydrokarbonlekkasjer. De gir med andre ord grunnlag for å stille spørsmålet ”*Gjør vi tingene riktig?*”. Samtidig kan de i teorien også danne grunnlag for dobbeltkretslæring, dvs. at man endrer mer grunnleggende forhold ved sammenhengen hvor praksisen utøves. Informasjonskildene kan slik også gi grunnlag for å stille spørsmålet ”*Gjør vi de riktige tingene?*”. Dette vil

²⁹ Resilience er definert som "...the ability of systems to anticipate and adapt to the potential for surprise and failure (Hollnagel et al. (2006:4). Resilience engineering beskrives som et paradigme for sikkerhetsledelse (ibid:6).

imidlertid være betydelig mer krevende og fordre større ”refleksjonsrom” enn tilfellet er i dag. For å få til en ytterligere reduksjon i antallet lekkasjer vil det imidlertid være behov for å stille denne typen mer grunnleggende spørsmål. Hvordan kan man så legge til rette for det?

Flere har pekt på at organisatorisk læring er vanskelig, og at vi har begrenset kunnskap om hvorfor prosessindustrien ikke lærer av tidligere hendelser (for eksempel Zwetsloot, 2009). Mer grunnleggende er det pekt på at store, komplekse organisasjoner med mange aktører vanskeliggjør læring, og at det kan være ”løse koblinger”³⁰ mellom beslutningstakere, problemer og løsninger (Perrow, 1999; Bye & Fenstad, 2008). Organisatorisk læring krever kontinuitet, noe som er utfordrende på innretninger som involverer flere skift og mange aktører plassert både on- og offshore.

Kompleksiteten kan være noe av bakgrunnen for at næringen benytter enveiskanaler i relativt stor utstrekning når informasjon fra granskninger, hendelsesdatabaser og indikatorer formidles til de ansatte. Kanaler som intranett, nyhetsbrev, oppslagstavler og e-post er rasjonelle i den forstand at man når mange med begrenset ressursinnsats. Slike kanaler har imidlertid noen klare begrensninger når det gjelder læring, særlig på dobbeltkrets nivå, fordi dette i større grad krever felles refleksjoner og toveis-kommunikasjon.

Læring på dobbeltkrets nivå krever blant annet en forståelse av hvorfor endring er nødvendig og hvordan dette praktisk kan gjøres. Samtidig krever det enighet blant aktørene om hva som er viktig, dvs. en parallell eller kompatibel forståelse blant deltakerne. Dette fordrer at man faktisk møtes og diskuterer utfordringer.

I en krevende operativ hverdag kan en strategi være å utnytte eksisterende møteplasser på en bedre måte, som HMS-møter og faglige nettverksmøter. Disse kan tilrettelegges på en slik måte at man ikke begrenser seg til ren formidling av informasjon, men at man også legger til rette for diskusjoner rundt spørsmål som: Er man enige i informasjonen som kommer fram? Hvorfor er situasjonen slik? Hva bør vi gjøre annerledes?

Det eksisterer også strukturerte verifikasjonsmetoder hvor operasjonelle forhold vurderes og som også inkluderer en tilrettelagt læringsprosess. Et eksempel er ”Operasjonell tilstand sikkerhet” som har hydrokarbonlekkasjer som fokusområde (Sklet et al., 2010). Her vurderes ulike organisatoriske forhold³¹ opp mot definerte krav gjennom strukturerte intervjuer av ansatte og andre datakilder (inkludert de som er diskutert over). Resultatene presenteres på flere måter, hvorav den viktigste er et arbeidsmøte som inkluderer et bredt utvalg av ansatte, både ledere på ulike nivå, operatører og kontraktører. Hensikten med arbeidsmøtet er å utvikle kunnskap og konkrete tiltak i fellesskap med utgangspunkt i resultatene. Selv om denne typen metoder krever ekstra ressurser, kan det argumenteres med at de gir et godt forankret grunnlag for praksisendringer som kan redusere risikoen for hydrokarbonlekkasjer (Kongsvik et al., 2010).

0.10 Risikovurderinger og -analyser

I de selskapsinterne granskningene som omfattes av denne studien, utgjør mangler i risikovurderinger/-analyser og planlegging/forberedelser til sammen 11 % av de bakenforliggende årsakene (jfr. Figur 8). De samme kategoriene utgjør samtidig 6 % av tiltakene (jfr. Figur 10). Sammen med tidligere tilsyn som Ptil har gjennomført med dette som tema, gjør dette at det er grunnlag for å belyse metodene og verktøyene som benyttes i risikovurderinger og -analyser nærmere.

Det å forstå og ha et bevisst forhold til risiko er en grunnleggende forutsetning for at aktiviteter kan gjennomføres på sikker måte. Dette gjelder både risikoen som er direkte forbundet med gjennomføringen av en aktivitet og de *endringene* som aktiviteten kan medføre. Det eksisterer en rekke struk-

³⁰ Perrow (1999) skiller mellom tette og løse koblinger. Løse koblinger i et system beskriver en situasjon hvor endringer i en delkomponent i liten grad påvirker andre delkomponenter.

³¹ De forholdene som vurderes er: Arbeidspraksis, Kompetanse, Prosedyrer og dokumentasjon, Kommunikasjon, Arbeidsbelastning og Fysisk arbeidsmiljø, Ledelse og Endringsledelse.

turerte metoder for risikovurderinger, både når det gjelder vurderinger i forkant av konkrete jobber (SJA³² o.l.), vurderinger knyttet til drift og vedlikehold (HAZID, HAZOP³³ o.l.) og for større, overordnede analyser (QRA, TRA³⁴ o.l.). Den felles hensikten med slike metoder er å identifisere hva som kan gå galt, vurdere hvilke konsekvenser dette eventuelt kan medføre og vurdere hvilke tiltak man må iverksette for å forhindre at noe kan gå galt. Sammen med den generelle fagkompetansen personellet besitter, er intensjonen risikovurderinger og -analyser skal bidra til en bedre risikoforståelse. Det å forstå risikoen som er forbundet med en aktivitet krever videre at alle involverte har en god forståelse av sin egen rolle og hvilke konsekvenser eget arbeid kan ha for helheten (Vinnem et al., 2010).

Det gjøres mye innsats på ulike nivå i næringen for å vurdere risiko. Likevel er det rom for forbedringer når det gjelder hvordan næringen planlegger, gjennomfører og bruker ulike typer risikoanalyser/-vurderinger. Overordnet kan det være utfordringer relatert til blant annet:

- Formidling (av resultater, anbefalinger og forutsetninger)
- Forståelse (av innhold, metode og rekkevidde for analysene)
- Forankring (involvering i analysene)

Når det gjelder formidling, er det viktig at det er god sammenheng mellom de ulike analysene som gjøres på ulike nivå – fra TRA, HAZID/HAZOP til SJA. Antakelsene og forutsetningene i de overordnede analysene skal sjekkes ut når det gjøres analyser av operasjoner og aktiviteter i en driftsfase. I hvilken grad dette gjøres vil kunne avhenge av flere forhold, f. eks. om resultatene fra QRA/TRA er lett tilgjengelig og om informasjonen er tilpasset for bruk av utførende personell. Formidling til entreprenører og leverandører kan være spesielt krevende på bakgrunn av blant annet turnover, ulike systemer og rutiner. Kjennskap til risikoanalysemetodikk kan også være en generell utfordring. De kvantitative analysene er gjerne skrevet av risikoeksperter som benytter et språk og en terminologi som ikke nødvendigvis er godt kjent blant operasjonelt personell. Er forståelsen svak vil det også være vanskelig å oppnå forankring og anerkjennelse av nytteverdien av risikoanalysene. Et forhold som særlig har betydning for forankring og eierskap, er at relevant personell involveres i utarbeidelsen av analyser. I tillegg vil det være av betydning at det illustreres en god sammenheng mellom styringssystemer (som arbeidstillatelsessystemet) og analysene.

Det gjennomføres en rekke tiltak i næringen som kan bidra til bedre formidling, forståelse og forankring av risikovurderinger/-analyser. Dette omfatter blant annet bruk av risikokart, sammendragsrapporter, kurs, rullering av personell som utfører analysene etc. Ut fra den betydningen risikoanalyser og -vurderinger kan og bør ha for å forebygge lekkasjer, kan det imidlertid være hensiktsmessig å utvikle felles tiltak på næringsnivå for å forbedre formidling og forståelse av resultater fra risikovurderingene. Det bør også ses på om det er behov for å gjøre mer *grunnleggende* endringer i måten noen av risikovurderingene/-analysene gjøres på. Et eksempel er utformingen av QRA/TRA, som i dag ikke fungerer godt nok som støtte for vurderingene som gjøres i ”normal” drift, inkludert vurderinger av storulykkesrisiko. Tilsvarende bør det diskuteres hvordan vurderingene som gjøres i forkant av arbeidsoperasjoner (SJA o.l.), i nødvendig grad inkluderer risiko for storulykker.

0.11 Oppsummering og konklusjoner

0.11.1 Hovedresultater

Vi har i dette kapitlet presentert resultatene fra en dokumentgjennomgang som har omfattet analyse av 42 granskningsrapporter. Det er dessuten foretatt en gjennomgang av en rekke vitenskapelige artikler og rapporter knyttet til temaet hydrokarbonlekkasjer, som er benyttet for å underbygge og supplere resultatene. Formålet med gjennomgangen har vært å identifisere sentrale årsaksfaktorer, se disse opp mot identifiserte tiltak, og basert på dette peke på utfordringer for bransjen i forhold til å redusere

³² Sikker Jobbanalyse.

³³ HAZID står for Hazard identification, mens HAZOP står for Hazard and operability analysis.

³⁴ QRA står for Quantitative risk analysis, mens TRA står for Total risikoanalyse.

antall hydrokarbonlekkasjer. Det understrekes at studien ikke er uttømmende. Andre forhold, og forhold som er dekket i studien, har opplagt et potensial i seg for videre arbeid.

Følgende fem kategorier av direkte/utløsende årsaker er funnet å være de viktigste i vår gjennomgang:

- Forhold ved teknisk design av anlegg (24 %)
- Teknisk tilstand/aldring/slitasje (21 %)
- Feilhandling knyttet til brudd på gjeldende praksis/prosedyrer (14 %)
- Feilhandling av type glipp/slurv (11 %)
- Kognitive feil (manglende kompetanse og/eller risikoforståelse) (9 %)

Fordelt på kategoriene M, T og O viser gjennomgangen at 48 % av de direkte årsakene er teknisk, 41 % er menneskelig, mens bare 11 % er klassifisert som organisatoriske.

Når det gjelder bakenforliggende årsaker er bildet noe annerledes. Her er 65 % organisatoriske, 21 % er menneskelige og 14 % er tekniske. Her er det ingen enkeltårsaker som dominerer bildet. De fire hyppigste bakenforliggende årsakene er imidlertid funnet å være:

- Forhold ved teknisk design av anlegg (11 %)
- Kognitive feil som kan knyttes opp mot manglende kompetanse eller manglende risikoforståelse (11 %)
- Mangelfull planlegging/forberedelse eller mangelfulle risikovurderinger/analyser (11 %)
- Mangelfull kommunikasjon/samhandling/grenseflater/målkonflikter (9 %)

Dersom en ut fra granskningene ser utløsende og bakenforliggende årsaker i sammenheng og skal plassere de viktigste rent hierarkisk, kan en generelt si at disse ligger på individ, gruppe og innrettingsnivå. Tekniske årsaker knytter seg som oftest til lokale forhold på innretningene mens menneskelige årsaker i stor grad retter seg inn mot førstelinje personell. For organisatoriske årsaker er bildet mer nyansert, men en generell observasjon er at feil og mangler på ledelsesnivå i liten grad benyttes til å årsaksforklare hydrokarbonlekkasjer.

Vi har i liten grad observert endringer i hvordan hydrokarbonlekkasjer årsaksforklares i perioden (2002–2009). I forhold til bakenforliggende årsaker ser vi ingen utvikling, mens i forhold til utløsende årsak kan det se ut som at andelen lekkasjer som forklares med menneskelig svikt har gått noe ned mens organisatoriske forhold har økt noe. Dette kan skyldes tilfeldigheter, men kan også skyldes en kompetanseheving hos utførende personell og/eller et generelt økt fokus i petroleumsvirksomheten og fra myndighetenes side på organisatoriske forhold i de seinere år. Et generelt inntrykk er imidlertid at årsaksbildet er relativt stabilt.

Vårt inntrykk fra gjennomgang av granskningene er at det jevnt over er en helhetlig tilnærming til å forklare årsaker. Når *utløsende* årsaker vurderes, ser vi at teknologiske og menneskelige forhold dominerer, mens organisatoriske forhold representerer den største andelen av bakenforliggende årsaker. En generell observasjon er derfor at årsaksbildet er nyansert, riktignok med kommentar om at feil og mangler på ledelses- og bransjenivå er lite vurdert. Et mulig forbedringsområde diskutert i delkapittel 0.9, er å vurdere nærmere hvordan de ulike MTO faktorene spiller sammen og eventuelt påvirker hverandre. Erfaringer fra storulykker og nylig fra granskningen av Deepwater Horizon³⁵ viser at flere individuelle feil, unnlater og uheldige forhold gjerne opptrer samtidig, noe som i kombinasjon med en rekke ulike aktører gir et svært bredt og omfattende årsaksbilde.

³⁵ Det vises her til presidentkommisjonens granskningsrapport (2011) av Deepwater Horizon hendelsen hvor 11 menneskeliv gikk tapt og over 4 millioner fat olje strømmet ukontrollert ut i Mexicogulven. Rapporten konkluderer med at ulykken var en konsekvens av flere individuelle feil og unnlater fra BP, Transocean og Halliburton og dessuten at aktuelle myndigheter manglet både autoritet, nødvendige ressurser og faglig ekspertise til å kunne bidra til å forhindre ulykken.

Av tiltakene som er beskrevet i granskningsrapportene er 79 % klassifisert som å være av organisatoriske karakter, 20 % er teknologiske og 1 % av menneskelig karakter. De hyppigste registrerte tiltakene er:

- Kontroll/sjekk/verifikasjon (29 %)
- Prosedyrer/dokumentasjon (15 %)
- Teknisk design (11 %) og teknisk tilstand etc. (6 %)
- Kompetanse/opplæring/risikoforståelse (10 %)

En generell observasjon er at svært mange tiltak er av organisatorisk karakter, mens relativt få tiltak er av teknisk og menneskelig karakter. Det er med andre ord ikke stor grad av samsvar mellom identifiserte årsaker, spesielt utløsende årsaker, og tiltakene som er spesifisert. En annen viktig observasjon når det gjelder tiltak er at disse ofte er lite konkrete og krever stor grad av videre bearbeiding for å kunne ut i konkrete endringer.

I forhold til at 48 % av de utløsende årsakene relateres til teknologi kan andelen tiltak rettet inn mot teknisk utforming og tilstand av anleggene synes lav. En del tiltak som vi har klassifisert som organisatoriske (av type "kontroll/sjekk/verifikasjon") kan ha munnet ut i tekniske forbedringer, og det kan derfor være interessant å se nærmere på andel tiltak som faktisk medfører konkrete endringer og eventuelt se på effekten av disse endringene.

I forhold til hvem tiltakene er rettet inn mot ser vi at få tiltak er rettet mot bransje- og myndighetsnivå, mens tiltak rettet mot selskapsledelse/teknisk støtte utgjør en relativt stor andel. Omlag halvparten av tiltakene er rettet mot forhold i den spisse enden dvs. operatør /tekniker og teknisk utforming og tilstand på anleggsnivå. Få tiltak er rettet inn mot andre enn operatøransatte. Siden en ser en økende grad av "outsourcing" av sentrale drifts- og vedlikeholdstjenester og siden såpass mange lekkasjer kan spores tilbake til mangelfull design, er det uansett grunn til å stille spørsmål ved hvorfor så få tiltak retter seg inn mot entreprenører, leverandører og engineering-selskap.

Det er vanskelig å vurdere effekten av tiltakene uten å gå konkret inn hos operatørselskapene og se nærmere på om og hvordan disse er gjennomført. På generell basis kan det imidlertid bemerkes at tiltak som går på opplæring, bedre prosedyrer og til en viss grad ulike verifikasjoner og sjekker, vil medvirke til å redusere risikoen, mens en ideelt sett bør strekke seg etter tiltak som fjerner risikoen helt. Hvorvidt dette overhodet er praktisk mulig vil selvsagt variere, men vår gjennomgang antyder uansett et potensial for større fokus på slike tiltak.

0.11.2 Noen utfordringer for petroleumsindustrien

Basert på resultatene i denne studien ønsker vi å trekke fram noen sentrale utfordringer som bransjen står overfor i forhold til å redusere antall hydrokarbonlekkasjer.

Petroleumsindustrien bør ha en mer offensiv holdning i forhold til å redesigne seg vekk fra mangelfulle tekniske løsninger snarere enn å akseptere og tilpasse seg dem.

Flere av de gjennomgåtte hendelsene (nærmere 40 %) kan på en eller annen måte knyttes til dårlig eller mangelfull design og kunne derfor i teorien vært unngått med andre mer robuste tekniske løsninger. Istedenfor tiltak å la "skriv en ny prosedyre" eller "øk kompetansenivået", bør industrien i større grad utfordres på å identifisere tiltak som eliminerer muligheten for menneskelige feilhandlinger. I forhold til at nærmere halvparten av utløsende årsaker kan knyttes til tekniske forhold synes det generelt å være en underrepresentasjon av konkrete tekniske tiltak. Selv om tiltak for å kompensere for uheldig utforming/design kan være økt lokal kompetanse og installasjonsspesifikke/lokale instruksjoner, er det viktig å påpeke at slike tiltak kun vil redusere risikoen, de fjerner ikke rotårsaken.

Industrien har en utfordring i forhold til å sikre læring og erfaringsoverføring og på en systematisk og effektiv måte bruke informasjon fra hendelsesdatabaser og andre kilder i forebyggende arbeid.

Et forhold som ikke framgår eksplisitt av årsakskategoriene og klassifiseringen av årsaker, men som gjentar seg i mange granskninger er mangelfull læring av tidligere hendelser. Det samles inn betydelige mengder informasjon som kan utnyttes bedre i læringsøyemed. Vi har pekt på noen forbedringsområder når det gjelder kvaliteten på informasjonen som genereres gjennom granskninger, hendelsesdatabaser og indikatorer. Like viktig er det hvordan denne typen informasjon blir anvendt for læringsformål. Bruk av enveiskanaler som intranett, nyhetsbrev etc. har klare begrensninger. Det ligger et potensial i både å utnytte eksisterende møteplasser bedre og benytte mer strukturerte læringsmetoder for praksisendringer. Hendelsesdatabaser som f.eks. Synergi kan utgjøre en god kilde for læring og erfaringsoverføring, men det krever at kategoriseringen er tilpasset formålet og at databasene er bygget opp relatert til aktiviteter og med en konsistent bruk av årsakskoder og knytninger. Dette kan det være grunnlag for å se videre på.

Industrien har et betydelig forbedringspotensial i forhold til å definere presise og konkrete tiltak.

En gjennomgang av spesifiserte tiltak i granskningsrapportene tyder på at industrien har en generell utfordring i forhold til å spesifisere tydelige og konkrete tiltak. Noen aspekter det kan være verdt å se nærmere på er blant annet:

- Sammensetning av granskningsgruppene i forhold til kompetanse. Stikkord er detaljkunnskap om innretningen, kunnskap om menneskelige faktorer og design samt deltakelse fra leverandør/entreprenør i granskningsgruppene.
- Granskningsgruppenes mandat; er det tilstrekkelig vilje og kraft til å foreslå større tekniske endringer (se over)?
- En kan se for seg at det i etterkant av granskningene settes ned bredt sammensatte grupper som involverer entreprenøransatte og operatøransatte med god kjennskap til det spesifikke anlegget, ledere med beslutningsmyndighet, samt personer med kjennskap til alle selskapets prosessanlegg som kan bidra med erfaringsoverføring mellom anleggene samt innspill tilbake til design.
- En kan også se for seg at det etableres et industriforum hvor operatørselskapene sammen med entreprenører, leverandører og engineering-selskap går gjennom aktuelle granskninger og hvor en i fellesskap utarbeider målrettede tiltak mot innretningene, mot selskapene og mot industrien, og hvor en sikrer erfaringsoverføring tilbake til design både i forhold til nybygg og modifikasjoner.
- Fokuser mer på at en granskning ikke er avsluttet før endelige tiltak er identifisert og besluttet. Det er i denne sammenheng viktig med økt gjennomsliktighet i forhold til hvorvidt foreslått tiltak virkelig gjennomføres samt en kritisk evaluering av hvorvidt disse tiltak har hatt ønsket effekt.

Industrien har et betydelig forbedringspotensial i forhold til vurderinger og analyser av risiko.

Petroleumstilsynet mener at næringen i regi av OLF bør iverksette et prosjekt, med involvering og bred deltakelse fra alle partene ((inkludert entreprenører og underleverandører), med den hensikt å utvikle en eller flere nye metoder/verktøy som kan brukes til å gi et bedre grunnlag for å analysere, vurdere og styre storulykkesrisikoen i driftsfasen av et anlegg. Formålet med et slikt prosjekt bør være at en i større grad ser på risikovurderingsprosessen(e) samlet, og at leveransene fra prosjektet bidrar til å skape et bedre fundament for å styre storulykkesrisikoen i driftsfasen. Prosjektet bør inkludere en vurdering og synliggjøring av eksisterende analysers begrensninger og anvendelsesområder, herunder hvordan en kan integrere sentrale forhold i de overordnede analysene (QRA/TRA) med SJA og AT systemet og forhold knyttet til selve arbeidsutførelsen. Prosjektet bør dernest identifisere behov for andre og mer formålstjenelige metoder og verktøy for å styre risikoen i driftsfasen, samt vurdere hvordan en bedre kan utnytte eksisterende systemer og verktøy. Det er Petroleumstilsynets oppfatning at prosjektet bør inkludere omfattende forskningsaktiviteter innenfor relevante områder/tema. Det bør likevel sikres en tilstrekkelig grad av involvering av relevante brukergrupper gjennom hele prosjektet.

Referanser:

Argyris, C. & Schön, D. A. (1978). *Organizational Learning: A Theory of Action Perspective*. Addison-Wesley, Reading, MA.

Argyris, C. & Schön, D. A. (1996). *Organizational Learning II: Theory, method and practice*. Addison-Wesley, Reading, MA.

Aven, T., Sklet, S. & Vinnem, J.E. (2006): Barrier and operational risk analysis of hydrocarbon releases (BORAResult): Part I. Method description, *Journal of Hazardous Materials*, Volume 137, Issue 2, September 2006, side 681-691.

Bye, R. & Fenstad, J. (2008). Safety on an edge – A possible organized trade-off between long-term safe work performance and regularity in production processes. Tsu-Mu Kao, Zio E., Ho V. (red.) *International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management*. Hong Kong, Edge Publication Group Limited

Clarke, S. (2006). The relationship between safety climate and safety performance: a meta-analytic review. *Journal of Occupational Health Psychology*, 11, 315-327.

National Commission (2011). *DEEP WATER – The Gulf Oil Disaster and the Future of Offshore Drilling*. Report to the President, National Commission on the BP Deepwater Horizon Oil Spill and Offshore Drilling, Januar 2011.

Hale, A. (2002). Conditions of occurrence of major and minor accidents. 2me séance du séminaire “Le risque de défaillance et son contrôle par les individus et les organisations.” 6-7 novembre, Gif sur Yvette.

Harms-Ringdahl, L., (2009). Dimensions in safety indicators. *Safety Science* 47, 481-482.

Haugen, S., Vinnem, J. E. & Seljelid, J. (2011). Analysis of Causes of Hydrocarbon Leaks from Process Plants. SPE European Health, Safety and Environmental Conference in Oil and Gas Exploration and Production held in Vienna, Austria, 22–24 February 2011.

Haukelid, K. (2009). Theories of (safety) culture revisited – an anthropological approach. *Safety Science*, 46, 413-426.

Heinrich, H. W. (1931). *Industrial Accident Prevention – A scientific approach*. New York: McGraw-Hill.

Hendrick, K., Benner, L. (1987). *Investigating accidents with STEP*. Marcel Dekker Inc., New York.

Hollnagel, E., (2008): Investigation as an impediment to learning. In: Hollnagel, E., Nemeth, C., Dekker, S. (Eds.), *Remaining Sensitive to the Possibility of Failure*. Resilience Engineering Series. Ashgate, Aldershot, UK.

Hollnagel, E., Woods, D. D. & Leveson, N. (2006). *Resilience engineering. Concepts and precepts*. Ashgate, Aldershot, UK.

Hopkins A. (2009). Thinking about process safety indicators. *Safety Science*, 47, 460-465.

Hovden, J., Sklet, S., Tinmannsvik, R. K. (2004). I etterpåklokskapens klarsyn: Granskning og læring av ulykker. I: Lydersen, S. (red.): *Fra flis i fingeren til ragnarok. Tjue historier om sikkerhet*. Trondheim: Tapir Akademisk Forlag.

Hovden, J., Størseth, F. & Tinmannsvik, R. K. (2011). Multilevel learning from accidents – Case studies in transport. *Safety Science*, 49 (1), 98-105.

HSE (2006). *Developing process safety indicators. A step-by-step guide for chemical and major hazard industries*. Health and Safety Executive.

HSE (2008). *Offshore hydrocarbon releases 2001-2008*, Health and Safety Laboratory, RR672, 2008
International Standards and recommended practices, Aircraft accident and incident investigation, annex 13 to the convention on international civil aviation, July 2001
<http://www.iprr.org/Manuals/Annex13.html>

- Kinnersley, S. & Roelen, A. (2007). The contribution of design to accidents. *Safety Science* 45, 31-60.
- Kirwan, B. (1994). *A guide to practical human reliability assessment*. Taylor&Francis.
- Khan, F.I. & Amyotte, P.R. (2002). Inherent safety in offshore oil and gas activities: a review of the present status and future directions. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 15, 279–289.
- Kjellen, U. (2007). Safety in the design of offshore platforms: Integrated safety versus safety as an add-on characteristics. *Safety Science* 45, 107-127.
- Kongsvik, T., Almklov, P. & Fenstad, J. (2010). Organisational safety indicators: Some conceptual consideration and a supplementary qualitative approach. *Safety Science*, 48, 1402-1411.
- Kongsvik, T., Johnsen, S.Å.K. & Sklet, S. (2011). Safety climate and hydrocarbon leaks: An empirical contribution to the leading-lagging indicator discussion. Accepted for publication in *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*.
- Lundberg, J., Rollenhagen, C. & Hollnagel, E. (2010). What you find is not always what you fix – How other aspects than causes of accidents decide recommendations for remedial actions. *Accident Analysis and Prevention*, 42, 2132-2139.
- Lundberg, J., Rollenhagen, C. & Hollnagel E., (2009): What-You-Look-For-Is-What-You-Find – The consequences of underlying accident models in eight accident investigation manuals. *Journal of Safety Science* 47, side 1297-1311.
- Marathon Oil (2010). Investigation Report: Far Grimshader – Songa Dee Collision on the 18th of January 2010, datert 23.2.2010.
- Oljedirektoratet, (2002). Utvikling i risikonivå på norsk sokkel, Fase 2 rapport – 2001
- Oljedirektoratet, (2003). Utvikling i risikonivå på norsk sokkel, Fase 3 rapport – 2002.
- Petroleumstilsynet (2004). Utvikling i risikonivå på norsk sokkel, Fase 4 rapport – 2003.
- Petroleumstilsynet (2005). Utvikling i risikonivå på norsk sokkel, Fase 5 rapport – 2004.
- Petroleumstilsynet (2006). Utvikling i risikonivå på norsk sokkel, Fase 6 rapport – 2005.
- Petroleumstilsynet (2007). Utvikling i risikonivå på norsk sokkel, Fase 7 rapport – 2006.
- Petroleumstilsynet (2008). Utvikling i risikonivå på norsk sokkel, hovedrapport – 2007.
- Petroleumstilsynet (2009). Utvikling i risikonivå på norsk sokkel, hovedrapport – 2008.
- Petroleumstilsynet (2010). Utvikling i risikonivå på norsk sokkel, hovedrapport – 2009.
- Perrow, C. (1999). *Normal Accidents: Living with High-Risk Technologies*. Princeton, University Press.
- Reason, J. (1997). *Managing the Risks of Organizational Accidents*. Aldershot: Ashgate.
- Rosness, R., Blakstad, H.C. & Forseth, U. (2009). *Rammebetingelsers betydning for storulykkesrisiko og arbeidsmiljørisiko – En litteraturstudie*. Rapport SINTEF A11777. Trondheim: SINTEF Teknologi og samfunn.
- Safetec (2009). Regresjonsanalyser av hydrokarbonlekkasjer mot andre indikatorer i RNNP – Norsk sokkel, Dok. no. ST-02320-2, Januar 2009
- Schiefloe, P. M. (2003). *Mennesker og samfunn. Innføring i sosiologisk forståelse*. Bergen: Fagbokforlaget.
- Schiefloe, P. M. & Vikland, K. M. (2005). Årsaksanalyse etter Snorre A-hendelsen 28.11.2004. Stavanger: Statoil.
- Schiefloe, P. M. & Vikland, K. M. (2007). Når barrierene svikter. Gassutblåsningen på Snorre A, 20.11.2004. *Søkelys på arbeidslivet*, 24 (2), 207-225.
- Sklet, S., Ringstad, A.J., Steen, S.A., Tronstad, L., Haugen, S., Seljelid, J., Kongsvik, T. & Wærø, I., (2010). Monitoring of human and organizational factors influencing the risk of major accidents. Paper for the SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production. Rio de Janeiro, Brazil, 12–14 April 2010.

Statoil (2009). Safety critical failures, health safety, security and the environment (HES), Guideline GL0114, 01.11.2009, Final Ver. 2.

Tharaldsen, J., Olsen, E. & Rundmo, T., 2008: A longitudinal study of safety climate on the Norwegian Continental Shelf. *Safety Science*, vol. 46, no. 3, 427-439.

Thunem, A.P.J., Kaarstad, M. & Thunem, H.P.J. (2009). Vurdering av organisatoriske faktorer og tiltak i ulykkesgranskning, rapportnummer IFE/HR/F-2009/1406, Halden.

Tinmannsvik, R. K., Sklet, S. & Jersin, E. (2004). Granskningsmetodikk: Menneske – teknologi – organisasjon. En kartlegging av kompetansemiljøer og metoder. Sintef-rapport STF38 A04422. Trondheim: Sintef Teknologi og Samfunn.

Tinmannsvik, R.K. & Øien K. (2010) Kartlegging av læring og oppfølging av uønskede hendelser hos vedlikeholdsentreprenørene – særlig med tanke på forebygging av storulykker. Rapport for Ptil.

Turner, B.A. & Pidgeon, N. F. (1997). *Man-Made Disasters* (2nd edition). Butterworth Heinemann: Oxford.

U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board (2007). *Investigation Report. Refinery Explosion and Fire, BP Texas City*.

Vinnem, J.E. (1998). Risk levels on the Norwegian Continental shelf, Preventor rapport 19708-03, Bryne, 25.8.1998

Vinnem, J.E. (2006). On the analysis of operational barriers on offshore Petroleum installations, presented at PSAM8, New Orleans, 14-19 May, 2006

Vinnem, J.E., Seljelid, J., Aven, T. & Sklet, S. (2006). Analysis of barriers in operational risk assessment – a case study, presented at ESREL2006, Estoril, 18-22 September, 2006

Vinnem, J.E. (2008). On the risk to personnel in the offshore industry, presented at PSAM9, 18-23 May 2008, Hong Kong

Vinnem, J.E., Seljelid, J., Haugen, S., Sklet, S. & Aven, T. (2009) Generalized methodology for operational risk analysis of offshore installations, *Proc. IMechE, Part O: J. Risk and Reliability*, 2009, **223**(O1), 87-97

Vinnem, J.E. (2010) Risk indicators for major hazards on offshore installations, *Safety Science* **48** (2010), pp. 770-787

Vinnem, J.E., Kongsvik, T., Fenstad, J., Antonsen, S., Hølvold, T., Simonsen, O. R. & Heldal, F. (2010). *Risikovurderinger – gjennomføring, oppfølging og bruk i drift, vedlikehold og modifikasjoner*. Rapport 200584-07. Bryne: Preventor

Vinnem, J. E. (2010). Risk indicators for major hazards on offshore installations. *Safety Science*, 48, 770-787.

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. *RESS*, 95, 1142-1153.

Wackers, G. (2006). *Vulnerability and robustness in a complex technological system: Loss of control and recovery in the 2004 Snorre A gas blow-out*. Working paper no. 42/2006. Oslo: Center of Technology, Innovation and Culture, Universitetet i Oslo.

Weick, K. E., Sutcliffe, K. M. (2007). *Managing the unexpected. Resilient performance in an age of uncertainty*. San Francisco: Jon Wiley & Sons.

Yin, R.K. (1994). *Case study research. Design and methods*. Thousand Oaks, California: Sage.

Yin, R.K. (2003). *Applications of case study research*. Thousand Oaks, California: Sage.

Zohar D. (2003). *Safety climate: conceptual and measurement issues. I: Quick JC, Tetrick LE (red.) Handbook*

of occupational health psychology. Washington, DC: American Psychological Association

Zwetsloot, G.I.J.M. (2009). *Prospects and limitations of process safety performance indicators. Safety Science* 47, 495–497.

Øien, K. (2001). *Risk indicators as a tool for risk control. Reliability Engineering and System Safety* 74, 129-145.

Øien, K., Massaiu, S., Tinmannsvik, R. K &, Størseth, F. (2010). *Development of Early Warning Indicators based on Resilience Engineering. Paper presented at PSAM 10, June 7-11 2010, Seattle, USA.*

Zohar, D. (2010). *Thirty years of safety climate research: Reflections and future directions. Accident Analysis and Prevention*, 42, s. 1517-1522.