



SINTEF Teknologi og samfunn
Sikkerhet og pålitelighet

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: S P Andersens veg 5
7031 Trondheim
Telefon: 73 59 27 56
Telefaks: 73 59 28 96

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

SINTEF RAPPORT

TITTEL

Risiko og beslutningsprosesser i forbindelse med LNG-anlegget i Risavika i Sola kommune

FORFATTER(E)

Jørn Vatn, NTNU

OPPDRAGSGIVER(E)

Lyse

RAPPORTNR.	GRADERING	OPPDRAGSGIVERS REF.	
SINTEF A10107	Åpen	Asbjørn Folvik	
GRADER. DENNE SIDE	ISBN	PROSJEKTNR.	ANTALL SIDER OG BILAG
Åpen	978-82-14-04715-8	504165	47
ELEKTRONISK ARKIVKODE		PROSJEKTFØRER (NAVN, SIGN.)	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.)
RapportRisikoLyseLNGEndelig.doc		Jørn Vatn	Erik Jersin
ARKIVKODE	DATO	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.)	
	2009-05-15	Lars Bodsberg, forskningssjef	

SAMMENDRAG

SINTEF har bistått Lyse i arbeidet med dialog om risikoen ved LNG-anlegget, og gitt faglige innspill i forhold til risikoanalyser. En egen rapport er utarbeidet med utgangspunkt i dialogprosessene, mens denne rapporten presenterer det viktigste arbeidet i forbindelse med risiko og beslutninger om risiko. Dersom de gjennomførte risikoanalysene av anlegget legges til grunn, så er individrisikoen for tredjepart godt inne i "grønt område" i forhold til risikoakseptkriteriene. Denne risikoen er også svært lav i forhold til grunnrisikoen som vi alle er utsatt for. Når det gjelder storulykkesrisikoen (samfunnsrisikoen) så er denne i "gult område" i forhold til de risikoakseptkriteriene som er valgt (ALARP-området), dvs. at risikoreducerende tiltak må iverksettes så langt det er mulig. Risikoen i gult område skyldes i hovedsak nærheten til fergeterminalen som ligger like ved LNG-anlegget. Lyse har identifiserer risikoreducerende tiltak som kan bringe risikoen ned mot grønt område i forhold til valgte risikoakseptkriterier. Noen av disse tiltakene er vedtatt implementert, mens andre tiltak fortsatt er under utredning. Tiltakene bør gjennomføres så langt dette er mulig i henhold til ALARP prinsippet.

Arbeidet med risikoreduksjon pågår fortsatt hos Lyse, og vil være en viktig del av sikkerhetsarbeidet i hele anleggets levetid. Rapporten peker på en del svakheter i analyser osv som krever videre analysearbeid, og evt vurdering av nye tiltak. Slikt arbeid pågår. Det er derfor vanskelig å fastslå hvilket risikobilde som fremstår når anlegget skal settes i drift. SINTEF foreslår å benytte et risikoregister i risikostyringen for å sikre at forhold som kommer opp, blir behandlet og fulgt opp. Noen viktige punkter i et slikt register over risikoforhold for oppfølging er lagt ved til slutt i denne rapporten.

Rapporten diskuterer også ulike aspekter knyttet til risikoakseptkriterier.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Sikkerhet	Safety
GRUPPE 2	Risiko	Risk
EGENVALGTE	Bruk av risikoakseptkriterier	Use of risk acceptance criteria
	Beslutningsprosesser	Decision processes
	LNG – Flytende naturgas	LNG - Liquefied Natural Gas

FORORD

SINTEF er engasjert av Lyse for å bistå i dialogen om risiko i forbindelse med LNG-anlegget som bygges i Risavika. Som en del av oppdraget har vi også deltatt i en fagdiskusjon om kvalitet på risikoanalyser, kriterier for beslutninger om risiko osv. Vi er to ansatte ved NTNU som har fått lov til å jobbe i prosjektet, som har vært utfordrende på mange måter. Britt-Marie Drottz Sjöberg har hatt ansvar for dialogprosessen, mens jeg har hatt ansvar for diskusjonen om risikoanalysene. Herværende rapport oppsummerer viktige punkt fra den delen jeg har hatt hovedansvar for. Takk til Lyse som har gitt oss muligheten til å delta i dette spennende arbeidet, og takk til Britt-Marie for arbeidet med dialogprosessene.

Denne rapporten ble ferdigstilt i desember 2008 og sendt til Lyse for kommentering. Siden nyttår har arbeidet med risikoreduserende tiltak kommet videre. Dette arbeidet er imidlertid ikke reflektert i foreliggende rapport og det henvises til Lyse sine hjemmesider for å følge status i sikkerhetsarbeidet (www.lyse.no).

Trondheim, 2009-05-15

Jørn Vatn

INNHOLDSFORTEGNELSE

FORORD.....	2
LISTE AV OBSERVASJONER	4
BAKGRUNN.....	5
1 INNLEDNING	6
1.1 Storulykkesforskriften.....	6
1.2 SINTEFs rolle i forhold til risikoevalueringer	7
1.3 Forutsetninger og begrensninger	8
2 RISIKOAKSEPTKRITERIER	9
2.1 Risikoakseptkriterier for individrisiko	9
2.2 Risikoakseptkriterier for samfunnsrisiko	11
2.3 Lokasjonsbaserte kriterier	13
2.4 Dimensjonerende ulykkeslast.....	14
2.5 Videre diskusjon.....	15
3 RISIKOBILDET	16
3.1 Individrisiko for tredjeperson.....	17
3.2 Skipstrafikken.....	18
3.3 Risiko knyttet til fergeterminalen – storulykkesrisiko	19
3.4 Terrortrussel og vilde handlinger	21
4 RISIKOSTYRING.....	22
4.1 Tiltak identifisert og vedtatt implementert med utgangspunkt i risikoanalysen	22
4.2 Andre risikoreduserende tiltak	22
4.3 Oppfølging i driftsfasen	23
4.4 Etablering av risikoregister	23
5 KONKLUSJON	25
REFERANSER	26
VEDLEGG A – DISKUSJON OM BRUK AV RISIKOAKSEPTKRITERIER.....	28
A1 - Hvem har satt, og hvem bør sette risikoakseptkriteriene.....	28
A2 - Følsomhetsanalyse mht valg av risikoakseptkriterier.....	30
A3 – Akseptkriterier kun i forhold til konsekvens.....	31
VEDLEGG B – RISIKOREGISTER	32
VEDLEGG C – ENKEL RISIKOANALYSE FOR SKIPSKOLLISJON	36
C1 – Relevante risikoscenarioer	36
C2 - Ulykkesfrekvenser - kollisjon	37
C3 – Sannsynlighet for at en kollisjon gir lekkasje	40
C4 – Scenario med umiddelbar antennelse (brannscenario).....	41
C5 – Scenario uten antennelse (lekkasjesenario).....	44
C6 – Tiltak	46
C7 – Diskusjon.....	47

LISTE AV OBSERVASJONER

I rapporten er det oppsummert viktige observasjoner/konklusjoner. For lettere å kunne søke etter disse er sidetall angitt nedenfor. Observasjonene i ”tekstboksene” må sees i sammenheng med teksten foran i rapporten.

Observasjon 1 Valg av risikoakseptkriterier for individrisiko	11
Observasjon 2 Valg av risikoakseptkriterier for samfunnsrisiko	13
Observasjon 3 Risiko for enkeltpersoner	18
Observasjon 4 Storulykkesrisiko	21
Observasjon 5 Lyse har satt risikoakseptkriterier	28

BAKGRUNN

I Risavika i Sola kommune bygger nå Skangass og Lyse et LNG anlegg for nedkjøling og lagring av naturgass levert fra Kårstø. Nedkjølt naturgass (LNG) skal distribueres ved hjelp av skip og lastebiler. Flere naboer og personer som arbeider i Risavika har uttrykt tvil med hensyn til om sikkerheten ved anlegget er tilstrekkelig ivarettatt. Det har også vært en heftig debatt i media i Stavangerregionen om LNG-fabrikken, og personer fra sikkerhetsmiljøet ved Universitetet i Stavanger har markert seg sterkt i denne saken. Lyse har gjennomført risikoanalyser for å beskrive risikobildet knyttet til anlegget. Disse analysene har vært grunnlag for godkjenningprosesser både av Direktoratet for sivilt beredskap (DSB) og Sola kommune. Diskusjonen om risiko er utfordrende, og Lyse har derfor engasjert SINTEF til å bistå i den videre prosessen med risikokommunikasjon. Vårt arbeid har vært todelt. Den første delen av arbeidet er dokumentert i rapporten "LNG-anlegget i Risavika - Kommentarer og synspunkter fra risikoanalytikere, bedriftsnaboer, brannvesen og beboere i Tananger". Den andre delen av arbeidet er å bistå Lyse i diskusjonen om kvalitet av gjennomførte risikoanalyser, behov for nye analyser, og hvordan risikobildet kan formidles til personer som ikke har risikofaglig bakgrunn. På vår hjemmeside (www.sintef.no/LyseLNG) finnes mer informasjon om prosjektet. Vårt arbeid startet i april, og ble avsluttet ved utgangen av 2008.

Målet med SINTEFs prosjekt er å bedre dialogen mellom berørte parter i fbm med bygging av LNG-anlegget i Risavika. Følgende delmål ble etablert for arbeidet:

- Gjennomføre gruppediskusjoner med berørte parter for å få fram relevante trussel-scenarioer
- Gjennomføre gruppediskusjon spesielt med risikoanalysemiljøet i Stavanger, som har vært kritisk til prosessen så langt, for å etablere konkrete forslag til hvilke deler av analysene som bør forbedres, endres eller lignende
- Beskrive risikoen for de identifiserte trusselscenarioene ved å hente fram resultat fra eksisterende analyser, evt komplettere analysene
- Utarbeide presentasjonsmateriale som synliggjør risikobildet
- Følge opp og delta i debatter om risikoen knyttet til LNG-anlegget.

1 INNLEDNING

1.1 Storulykkesforskriften

Det er brann- og eksplosjonsvernloven med underliggende forskrifter som kommer til anvendelse på denne typen anlegg. Her inngår den såkalte storulykkesforskriften¹, som underliggende forskrift, i forhold til storulykkesproblematikk. Godkjenningsprosessen for LNG-anlegget i Risavika følger derfor den prosessen som storulykkesforskriften skisserer. Det er Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) som fører tilsyn med etterlevelsen av denne forskriften, og kan fatte nødvendige vedtak og fastsette vilkår for å gjennomføre forskriften i forhold til LNG-anlegget. Storulykkesforskriften har som formål å forebygge storulykker der farlige kjemikalier inngår, samt begrense de konsekvenser slike storulykker kan få for mennesker, miljø og materielle verdier, og gjennom dette sikre høy grad av beskyttelse på en enhetlig og effektiv måte.

I tillegg til sentrale myndigheter er også lokale myndigheter i Sola involvert i godkjenningsarbeidet i forhold til reguleringsplan, byggeforskrifter osv.

I debatten om anlegget har det blitt reist kritikk mot så vel lokale som sentrale myndigheter. Blant annet har Vinnem (2008) skrevet en egen granskningsrapport hvor han er svært kritisk til godkjenningsprosessen. Kritikken kommer også fram i rapporten fra dialogprosessen som SINTEF har gjennomført, se Sjöberg (2008). Vår rolle i denne saken er ikke å ta stilling til den kritikken som har kommet, om det har vært formelle saksbehandlingsfeil eller lignende. I denne rapporten vil vi imidlertid kommentere og diskutere forhold og argumenter som er kommet opp og som er av prinsipiell natur. Vi vil heller ikke på disse områdene konkludere, fordi vi mener det er behov for en diskusjon i fagmiljøene vedrørende mange av de problemstillinger som er reist. Derfor har SINTEF tatt initiativ til et fagseminar som DSB planlegger hvor det legges opp til en bredere prinsipiell debatt.

I det følgende refereres noen av de sentrale punktene i storulykkesforskriften med spesiell relevans for arbeidet vi har vært involvert i. I storulykkesforskriftens § 5 (Virksomhetens plikter) heter det: *"Den som er ansvarlig for virksomheten, skal sørge for at virksomheten gjennom systematisk arbeid treffer alle nødvendige tiltak for å forebygge storulykker og begrense konsekvensene for mennesker, miljø og materielle verdier"*.

Videre heter det blant annet i § 9 (Sikkerhetsrapport): *"1. Virksomheten skal utarbeide en sikkerhetsrapport for å dokumentere at a) det er etablert og iverksatt et systematisk arbeid for å forebygge og begrense konsekvensene av storulykker i samsvar med vedlegg III, b) risikoen for en storulykke er identifisert, og at nødvendige tiltak er truffet for å redusere sannsynligheten for at slike ulykker inntreffer og begrense konsekvensene av storulykke for mennesker, miljø og materielle verdier, c) tilstrekkelig sikkerhet og pålitelighet er innarbeidet i planlegging, bygging, drift og vedlikehold av anlegg og infrastrukturer tilknyttet drift forbundet med risiko for storulykker innen virksomheten, d) det er utarbeidet interne beredskapsplaner og at det foreligger tilstrekkelige opplysninger som gir grunnlag for å utforme eksterne beredskapsplaner med henblikk på å treffe nødvendige tiltak ved en storulykke, og e) relevante myndigheter er meddelt tilstrekkelige opplysninger for å kunne ta beslutninger om plasseringen av nye virksomheter eller utvikling av eksisterende virksomheter."*

Det er verdt å merke seg at storulykkesforskriften ikke gir eksplisitte føringer for hvilke typer analyser som skal gjennomføres. Forskriften sier heller ikke noe om hva som er "sikkert nok", men benytter begreper som " redusere sannsynlighet", "begrense konsekvens", "tilstrekkelig

¹ Forskrift om tiltak for å forebygge og begrense konsekvensene av storulykker i virksomheter der farlige kjemikalier forekommer, se <http://www.lovdata.no/ltavd1/lt2005/t2005-1-09-70.html?Framework=normalt>

sikkerhet” osv. Det gis heller ingen eksplisitte referanser til nasjonale eller internasjonale standarder som skal benyttes som utgangspunkt for å etablere sikkerhetsrapporten.

I Norge er det to standarder for risikoanalyse som synes relevant å benytte:

- NORSOK STANDARD – Z-013N: Risiko- og beredskapsanalyse
- Norsk Standard: NS 5814:2008 (Krav til risikovurderinger)

Begge disse standardene legger til grunn at det skal etablere såkalte risikoakseptkriterier før analysene starter for å ha noe å vurdere risikoen opp mot. Det sies ingenting i disse standardene om *hvem* som skal fastsette risikoakseptkriteriene. I for eksempel Storbritannia er det myndighetene som fastsetter risikoakseptkriteriene, men i Norge har vi med noen unntak liten tradisjon for at myndighetene fastsetter risikoakseptkriterier. Derfor er det vanlig at det er virksomhetene som fastsetter risikoakseptkriteriene, også i situasjoner hvor en eventuell ulykke kan ramme tredjeperson². Vi vil senere i rapporten diskutere problemstillingen nærmere, men i første omgang foreta diskusjonen ut fra at virksomheten selv, dvs Lyse, har fastsatt risikoakseptkriterier. Kriteriene som er satt er identiske med de som benyttes av myndighetene i Storbritannia. Fra tilsynsmyndighetene (DSB) er det ikke reist kritikk mot de valgte risikoakseptkriteriene. Det kan føres argumenter for at andre prinsipper enn bruk av risikoakseptkriterier og risikoanalyser kan benyttes når avveininger om risiko skal foretas. Dette vil også bli diskutert senere i rapporten.

1.2 SINTEFs rolle i forhold til risikoevalueringer

I arbeidet med å oppnå tillatelse til å starte bygging av LNG-anlegget, og senere idriftsettelse har Lyse lagt til grunn et regime hvor risikoakseptkriterier først er etablert, og deretter benyttes disse kriteriene i risikoevalueringen med utgangspunkt i resultatene fra risikoanalysen. En slik tilnærming er svært vanlig i Norge, og er i overensstemmelse med de to standardene for risikoanalyse som det ble henvist til tidligere. Når vi i denne rapporten uttrykker oss om risiko er det derfor viktig å skille mellom:

- Uttalelser om risikoakseptkriteriene
- Uttalelser om risikobildet fremkommet fra risikoanalysene

Risikoakseptkriteriene representerer det normative, dvs verdivalgene som legges til grunn. Det er Lyse som har satt disse. Vi vil i denne rapporten kommentere disse verdivalgene, men SINTEF som sådan uttrykker ikke noe verdivalg i denne sammenhengen. Når det gjelder uttalelser om risikobildet så kan vi uttale oss om rimeligheten av ulike analyseresultater, valgt analysetilnærming, hvor godt analysene er dokumentert osv. Det er imidlertid viktig å understreke at vi ikke har foretatt en såkalt tredjepartsverifikasjon³ av analysene. I dette prosjektet er vi engasjert for å bistå i kommunikasjon av risiko. Derfor kommer vi også i denne rapporten med uttalelser om risiko. Disse uttalelsene må da forstås i relasjon til valgte kriterier, og ikke som et uttrykk for om SINTEF mener risikoen er akseptabel eller ikke.

² Førsteperson er personer som er direkte involvert i aktiviteten ved at de arbeider på anlegget. Andreperson er de som ”Nyter godt av aktiviteten”. For et transportsystem kan det være reisende, her vil andreperson være de som benytter seg av Skangass/Lyse sine produkter. Tredjeperson er personer som indirekte blir berørt av aktiviteten, for eksempel naboer eller personer som krysser en toglinje dersom det er snakk om en transportvirksomhet.

³ En tredjepartsverifikasjon er en uavhengig gjennomgang av en risikoanalyse av en part som ikke har vært involvert i arbeidet med å utvikle risioanalysene. Ofte engasjerer myndighetene en tredjepart for å foreta en kvalitetssikring av utførte risikoanalyser.

1.3 Forutsetninger og begrensninger

SINTEF har i dette prosjektet ikke foretatt en uavhengig granskning av de analyser som utføres for å dokumentere at sikkerheten ved LNG-anlegget er ivaretatt. Gjennom arbeidet med dialogprosessene har det kommet fram mange momenter i forhold til kvalitet, mangler, urimelige antagelser osv i risikoanalysene. Vi har i denne rapporten belyst en del av disse, men vi har ikke belyst alle momenter som har kommet fram. Vi har i vårt arbeid ikke foretatt noen gjennomgang av hva som har skjedd i arbeidet med LNG-anlegget før april 2008. Vi tar derfor ikke stilling til ”historien”; men har hatt hovedfokus på risikobildet slik det nå fremstår, og hva som er viktig for å få så høy sikkerhet som mulig ved anlegget.

2 RISIKOAKSEPTKRITERIER

I dette kapitlet gis en innføring i tenkningen bak bruk av risikoakseptkriterier, og vi gjengir og diskuterer også Lyse sine risikoakseptkriterier. Risikoakseptkriterier er definert som kriterier som legges til grunn for beslutning om akseptabel risiko (NS 5814). All virksomhet er forbundet med risiko, og man aksepterer derfor en viss risiko. I Norge er det i hovedregelen virksomhetene selv som setter disse kriteriene, og vanlig praksis er å sette kriteriene i samme størrelsesorden som den risikoen man historisk har erfart. Dette betyr at risikoakseptkriterier kan variere som funksjon av egenart ved den virksomhet som vurderes. Vi understreker også at det i risikoanalysemiljøet i Norge er en diskusjon om hvorvidt risikoakseptkriterier skal benyttes i det hele tatt. SINTEFs vurdering er at det ikke er ensidig bruk av risikoakseptkriterier som gir gode beslutninger om risiko. Risiko skal identifiseres og løftes fram som en viktig del av beslutningsprosessen, men en skjematisk bruk av risikoakseptkriterier er uheldig. I og med at NS 5814 har såpass sterkt fokus på bruk av risikoakseptkriterier velger vi imidlertid å diskutere ulike aspekter av risikoakseptkriterier. I diskusjonen nedenfor starter vi med å diskutere individrisiko, deretter diskuteres samfunnsrisiko (storulykkesrisiko).

2.1 Risikoakseptkriterier for individrisiko

Som en start på diskusjonen om risikoakseptkriterier starter vi med å referere til olje- og gass næringen. Her settes ofte risikoakseptkriterier i størrelsesorden $FAR^4 = 10$. For denne næringen vurderes det da som uakseptabelt dersom risikoen er høyere enn 10 forventet drepte per hundre millioner arbeidstimer utført. Her understrekes at et slikt kriterium er satt ut fra hva som er mulig å oppnå i olje- og gassnæringen. Andre virksomheter har langt høyere risiko og kan ikke operere med et så lavt risikoakseptkriterium. For eksempel har Utne (2007) analysert risikoen i forbindelse med sjøfiske i Norge. Her varierer risikoen fra $FAR = 19$ (store torsk- og reketrålere) til $FAR = 152$ (mindre sjarker). Det virker derfor helt urimelig å betrakte $FAR = 10$ som et absolutt akseptkriterium så lenge andre yrkesutøvere i Norge eksponeres for en risiko som er opptil 15 ganger høyere. $FAR = 10$ betyr en årlig dødssannsynlighet på 1.7×10^{-4} (0.17 ‰). I Storbritannia er det myndighetene (HSE) som setter akseptkriteriene. For første- og andreperson er grenseverdien for uakseptabel risiko satt til 10^{-3} og for tredjeperson 10^{-4} . Lyse har for første- og andreperson valgt å følge de krav som er satt i Storbritannia, mens kravet er noe strengere for tredjeperson. Vi ser at for første- og andreperson er verdien betydelig høyere enn det som olje- og gassnæringen opererer med, mens det er lavere enn risikoen de norske sjarkfiskerne er utsatt for. Det finnes også et annet internasjonalt prinsipp for å fastsette akseptkriterier, det såkalte MEM-prinsippet⁵ (se f.eks. EN 50126). Dette prinsippet tar utgangspunkt i en grunnrisiko, og uttrykker at ny aktivitet ikke må gi en tilleggsrisiko som er signifikant i forhold til grunnrisikoen i samfunnet. MEM-prinsippet opererer med at en tilleggsrisiko er uakseptabel dersom den for enkeltpersoner representerer en risiko som er større enn 10^{-5} per år. For å få en følelse med hva grunnrisikoen i samfunnet er, har vi i Tabell 1 listet opp ved hvilke skadesteder ulykker skjer i Norge, samt totalrisikoen for å dø i en ulykke:

⁴ FAR = Fatal Accident Rate (dødsrate). FAR angir forventet antall drepte per 100 millioner utførte arbeidstimer.

⁵ Minimum Endogenous Mortality

Tabell 1 antall drepte og tilhørende risiko fordelt over skadested (Kilde SSB 2005)

Skadested	Antall (per år)	Risiko (per år)
Bolig og boligområde	339.3	7.5×10^{-5}
Trafikkulykker	318.4	7.1×10^{-5}
Annen ulykke på gate/vei (ikke trafikkulykke)	5.3	1.2×10^{-6}
Barnehage/lekeplass	0.7	1.6×10^{-7}
Skole/skolegård	0.3	6.3×10^{-8}
Sykehus, helse- og pleieinstitusjon	59.7	1.3×10^{-5}
Idrettsanlegg	1.7	3.8×10^{-7}
Friluft, hav, sjø og vann	142.6	3.2×10^{-5}
Annet oppgitt sted	69.3	1.5×10^{-5}
Ukjent skadested	755.0	1.7×10^{-4}
Total	1692.3	3.8×10^{-4}
Drepte i storulykker	34.5	7.7×10^{-6}

Tallene er små, noe som betyr at det er svært liten sannsynlighet for å dø i en ulykke. Men dersom vi betrakter et helt liv (ca 80 år), ser vi for eksempel at totalsannsynligheten for å dø i en ulykke i løpet av livet er i underkant av 3%. Sannsynligheten for å dø i en trafikkulykke er 5 % i løpet av et helt liv. Dersom vi holder tallene i Tabell 1 opp mot MEM prinsippet ser vi at MEM prinsippet tillater en tilleggsrisiko på ca 3% i forhold til grunnrisikoen i Norge. Dette er en del strengere enn HSE i Storbritannia setter, hvor en tilleggsrisiko på 25% for tredjeperson aksepteres. Norsk Hydro har håndtert risiko ved landanlegg i Norge over svært lang tid, og det vil derfor også være av interesse å se hvilke verdier Norsk Hydro opererer med. Fra Hydros hjemmeside kan vi finne et overordnet dokument (<http://www.hydro.com/upload/7233/HSE.pdf>) som angir de risikoakseptkriterier (grenseverdier for uakseptabel risiko) som Hydro bruker (samme risikoakseptkriterier gjelder for hele konsernet):

- Risk exposed personnel (risikoutsatt personell): 10^{-3}
- Control rooms, etc.(kontrollrom mm): 10^{-4}
- Off site (tredjeperson): 10^{-5}

For tredjeperson ser vi at Hydros kriterier er på linje med MEM kriteriet, og altså noe strengere enn kravene fra HSE i Storbritannia. Det må også understrekes at akseptkriteriet som legges til grunn i seg selv ikke sier noe om hvilken risiko man blir eksponert for. Ofte vil det ikke ha noen betydning hvilke akseptkriterier som settes fordi det såkalte ALARP-prinsippet kommer inn som et tilleggsriterium. ALARP-prinsippet sier at selv om man har en risiko som er lavere enn grenseverdien for akseptabel risiko skal man søke å redusere risikoen ytterligere så langt dette er praktisk mulig.

ALARP

ALARP (As Low as Reasonably Practicable) sier at selv om risikoen er lavere enn det som er definert som uakseptabelt skal risikoreduserende tiltak implementeres. Dette prinsippet gjelder i det man ofte betegner som ALARP-området, eller gult område. Gult område spenner ofte over flere dekader og ofte vil dette være området man opererer innenfor. I en del sammenhenger benyttes begrepet 'tolerabelt' (eng: tolerable) om det gule området. En annen betegnelse er 'akseptabelt med betingelser', hvor disse betingelsene reflekterer behovet for å identifisere og implementere risikoreduserende tiltak så langt dette er mulig. Konkret betyr dette at man kan leve med risikoen i gult område under forutsetningene gitt ovenfor. I sammenheng med ALARP-prinsippet innføres ofte også et grønt område. Her vurderes risikoen så lav at det ikke er

nødvendig å iverksette ytterligere tiltak. Tabell 2 viser Lyse sine kriterier både for første/andre person og tredjeperson.⁶

Tabell 2 Lyse sine risikoakseptkriterier for individrisiko

Risikokategori	Individuell risiko (døds sannsynlighet per år)	
	1.person og 2.person	3.person ⁷
Uakseptabel	$> 10^{-3}$	$> 10^{-5}$
ALARP	10^{-6} til 10^{-3}	10^{-7} til 10^{-5}
Akseptabelt	$< 10^{-6}$	$< 10^{-7}$

Observasjon 1 Valg av risikoakseptkriterier for individrisiko

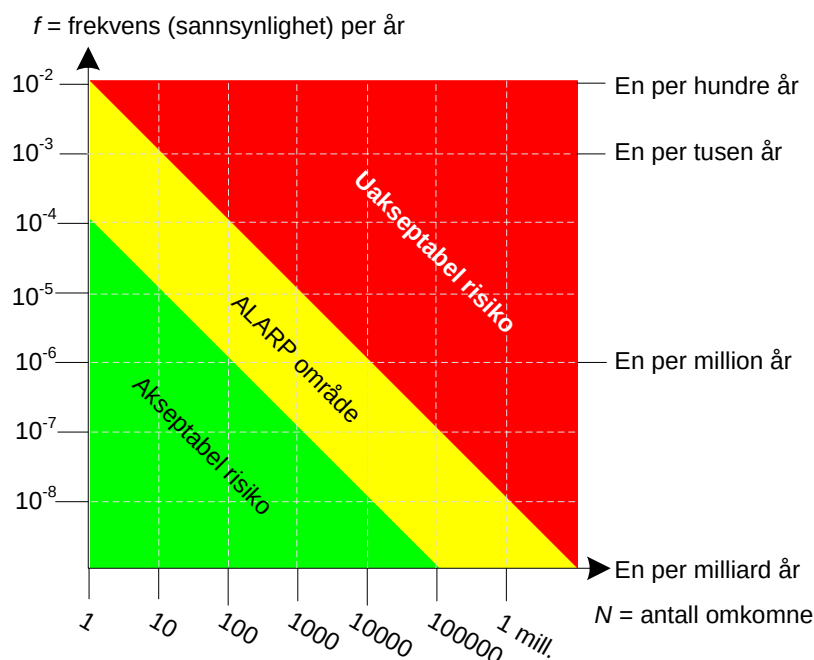
Lyse har satt sine risikoakseptkriterier for individrisiko noe strengere enn HSE i Storbritannia. Kravene er mer på linje med kravene som Hydro har satt.

2.2 Risikoakseptkriterier for samfunnsrisiko

Individrisikoen sier noe om risikoen for enkeltpersoner men kan ikke synliggjøre faren for storulykker. Derfor ønsker man også å synliggjøre storulykkespotensialet og evt sette kriterier knyttet opp mot store ulykker. Begrepet 'samfunnsrisiko' benyttes vanligvis for å beskrive storulykkesrisiko, og den vanligste måten å synliggjøre denne risikoen på er å vise såkalte f-N kurver, eller f-N diagrammer. En f-N kurve viser kumulativ frekvensen f av ulykker med N eller flere drepte som funksjon av N . Det er også vanlig å tegne inn rødt (uakseptabel risiko), gult (ALARP) og grønt (akseptabel risiko) område i et slikt diagram. Figur 1 viser Lyse sine risikoakseptkriterier for samfunnsrisiko. Vi ser at jo flere antall drepte en ulykke kan ha, jo lavere frekvens aksepteres. På høyre side i diagrammet er det vist forventet antall år mellom ulykker med N eller flere drepte, da disse verdiene kan være lettere å forholde seg til enn veldig små sannsynligheter.

⁶ I Storbritannia hvor man er mest eksplisitt på bruken av ALARP prinsippet er skillet mellom gult og grønt område kjenetegnet ved at i gult område skal tiltakskostnaden være urimelig høy sammenlignet med sikkerhetsgevinsten for at tiltaket ikke skal gjennomføres. I grønt område er det ikke noe krav om at kostnadene skal være urimelig store, en vanlig nytte/kost analyse er tilstrekkelig. I mange selskaper i Norge benyttes ikke begrepet "urimelig" kostnad i gult område, man benytter også her seg av "vanlige" nytte/kost analyser.

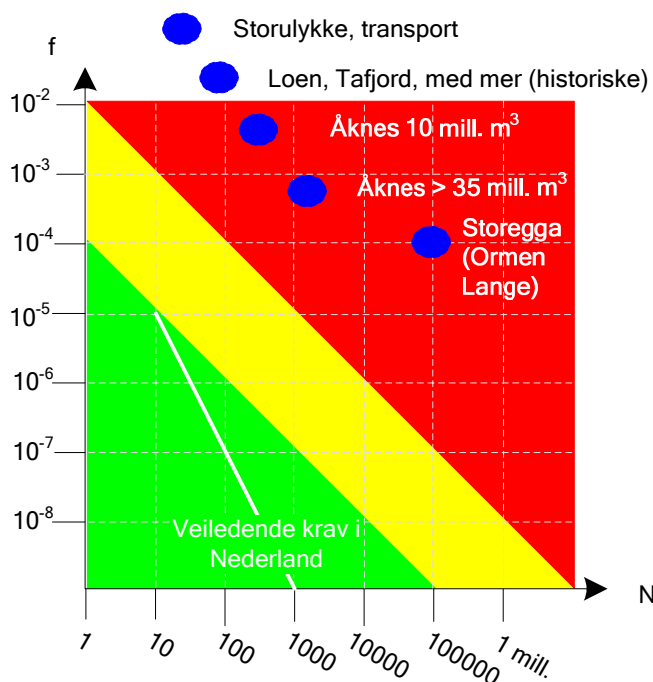
⁷ I den såkalte Advantica rapporten ble HSE kravene lagt til grunn også for tredjeperson. Gjeldende akseptkriterier i Lyse for tredjeperson er nå strengere enn HSE kravene på dette punktet.



Figur 1 Lyse sine risikoakseptkriterier for samfunnsrisiko

For å vurdere Lyse sine risikoakseptkriterier for samfunnsrisiko har vi i Figur 2 ført inn noen typiske storulykker i diagrammet. Hendelsene er noe grovt vurdert, men gir en indikasjon. Først har vi vist storulykker i transportsektoren. Eksempler på slike ulykker er Åstaulykken (18 omkomne), Sleipnerulykken (16 omkomne), og Namsosulykken (6 omkomne). Slike ulykker har inntruffet flere ganger i tiåret med skadeomfang opp til 25 drepte. Så er det vist store rasulykker i Norge. De største ulykkene har inntruffet når det er gått ras fra fjell ned i innsjøer eller fjorder og medført store flodbølger. Flere slike ras har inntruffet hvert hundreår med skadeomfang i størrelsesorden hundre drepte. De to Åknes scenarioene er hentet fra Blikra m.fl (2006) hvor mulige ras fra Åknes er vurdert. To scenarioer er risikovurdert, ett litt mindre ras, og ett større. Disse hendelsene er altså ikke erfart, men scenarioer man frykter i forbindelse med at det er observert utglidninger av partier i fjellet. Storegga scenariet er aktuelt fordi risikoen ble vurdert i forbindelse med utbyggingen av Ormen Lange feltet. For om lag åtte tusen år siden gikk det et stort undersjøisk skred som skapte en Tsunami-bølge på 10 til 20 meter og som, dersom den hadde inntruffet i dag, trolig ville tatt livet av mange titalls tusen innbyggere på Vestlandet og i Trøndelag. Det er svært vanskelig å vurdere frekvensen for et nytt slikt skred. I forbindelse med utbyggingen av Ormen Lange ble det vurdert som svært lite sannsynlig at aktiviteten ville kunne utløse et nytt skred. Pragmatisk har vi her satt frekvensen lik en på 10 000 ut fra at det har skjedd en slik hendelse i en 10 000 års periode. Når vi nå har vist disse hendelsene i diagrammet, ser vi at alle hendelsene kommer i rødt område. Dette betyr at risikoakseptkriteriene er satt betydelig strengere enn hva man historisk har erfart av storulykker i Norge. Nå er det åpenbart at mange virksomheter kan bidra til storulykkesrisikoen i Norge, og det er derfor urimelig at en virksomhet som Lyse kan ta "hele risikoen" som de da heller ikke gjør når vi ser på risikoakseptkriteriene. Vi ser av figuren at grenselinjen mellom rødt og gult område kun representerer i størrelsesorden en prosent av historisk storulykkesrisiko. Kriteriene synes i så måte rimelige.

Noen vil kanskje også hevde at det ikke er særlig relevant å legge naturhendelser til grunn, men at man evt kun bør legge menneskeskapte hendelser til grunn. Vi vil her ikke forfølge en slik diskusjon videre.



Figur 2 Noen typiske "storulykker" ført inn i f-N diagrammet

Det eksisterer også noe ulik praksis mht å fastsette akseptkriterier for storulykker i ulike land. For eksempel i en nederlandsk studie (Uijt de Haag m fl. 2008) er kriteriene satt i grønt område i forhold til Lyse sine krav, se Figur 2. Det bemerkes at det ikke eksisterer faste risikoakseptkriterier for samfunnsrisiko i Nederland, men verdiene som det refereres til her, er mer av veiledende karakter. Førsteforfatteren av artikkelen det her refereres til har opplyst at de veiledende kravene benyttes som et utgangspunkt for lokale beslutninger (lokale myndigheter kan justere på disse verdiene).

Observasjon 2 Valg av risikoakseptkriterier for samfunnsrisiko

Lyse har satt sine risikoakseptkriterier som vist i Figur 1 og disse vil ikke representere en signifikant økning i samfunnsrisiko for Norge dersom en sammenligner med andre hendelser med storulykkespotensial. I så måte virker kriteriene som er satt, rimelige. Kriteriene er også i samsvar med kravene HSE har satt i Storbritannia. I noen andre sammenhenger benyttes strengere krav enn de som Lyse har satt.

2.3 Lokasjonsbaserte kriterier

I Nederland opererer man med lokasjonsbaserte kriterier, eller såkalte risikokontur områder. Ideen her er at man beregner dødsrisiko ved ulike avstander fra et anlegg i form av sannsynlighet for å bli drept dersom man er eksponert utendørs et helt år ved den gitte lokasjonen. I Nederland er det satt en grenseverdi på 10^{-6} . Innenfor en risikokontur på 10^{-6} skal man ikke ha skoler, sykehus eller vanlig boligbebyggelse. Til en viss grad tillates å drive virksomhet innefor 10^{-6} konturen, men da skal det være særskilte grunner til dette, se (Uijt de Haag m fl. 2008).

Det er ikke helt åpenbart hvordan slike konturer skal benyttes i en beslutningssammenheng. Man kan se for seg flere tilnærminger:

1. Grenseverdier for hvor man vil tillate ulike typer virksomhet med hensyn til risikoen som virksomheten blir eksponert fra.

2. Grenseverdier for hvor man innenfor konturen kun vil tillate virksomheter å etablere seg dersom kompenserende tiltak iverksettes. Et slikt kompenserende tiltak kan være av konstruksjonsmessig art.
3. Grenseverdier hvor man ikke vil tillate aktivitet som kan utgjøre en risiko for anlegget som vurderes (her LNG-anlegget). Dette kan være begrunnet ut fra for eksempel risiko for at medfølgende aktivitet kan antenne en evt gasslekkasje. Et slikt område er betegnet "Sikringsfelt".

Lyse har ikke eksplisitt satt noen krav i forhold til perspektiv 1 og 2 ovenfor, men det er satt en grenseverdi på 10^{-5} . Innenfor 10^{-5} -konturen (sikringsfelt) er det begrensninger med hensyn til hvilken aktivitet som tillates.

Dersom vi ser på akseptkriteriene for individrisiko (Tabell 2) vil et 10^{-7} kriterium gi føringer for risikoer i "grønt" område fordi personer ikke vil oppholde seg 100% av tiden innenfor denne risikokonturen. Dersom man for eksempel vil tillate virksomhet mellom 10^{-7} og 10^{-5} konturene skal dette medføre at risikoreduserende tiltak vurderes, og disse skal etter ALARP kriteriet implementeres dersom kostnadene ikke er urimelig høye i forhold til hva sikkerhetsgevinsten er.

2.4 Dimensjonerende ulykkeslast

Et relatert begrep til risikoakseptkriterier er dimensjonerende ulykkeslast. NORSOK Z013N definerer den dimensjonerende ulykkeslast som *"den last som funksjonen/systemet skal kunne motstå i en nødvendig tidsperiode for at akseptkriteriene for risiko skal være tilfredsstillt"*. Dimensjonerende ulykkeslast kan defineres både for utstyr på LNG-anlegget, men også for f.eks bygninger i nærheten av anlegget. Her kan det være viktig å peke på fergeterminalen som ligger noen hundre meter fra LNG-anlegget. Et relevant spørsmål man kan stille er da hvilken ulykkeslast den skal kunne motstå. For å kunne gjøre dette i samsvar med definisjonen av begrepet må man da se på aktuelle risikoelementer, og så beregne hvilken belastning terminalen må kunne motstå uten at f.eks f-N kriteriet (se Figur 1) ikke overskrides. Dette vil kreve at man beregner frekvenser for ulike trykklast og temperaturlaster ved fergeterminalen ut fra de risikoscenarioer som er identifisert i den kvantitative risikoanalysen. En slik tilnærming er ikke lagt til grunn her. Prinsipielt oppnår man ikke noe ut over det som ligger i risikoanalysen og bruk av risikoakseptkriterier slik NORSOK Z013N definerer og bruker begrepet dimensjonerende ulykkeslast. Det kan imidlertid føres argumenter for at f.eks myndigheter setter krav til dimensjonerende ulykkeslast, for eksempel for ulike avstander fra virksomheter, avhengig av type virksomhet. I en nederlandsk studie (Uijt de Haag m.fl. 2008) er det vist at det er stor variasjon i beregningsmåter og resultater for risiko i en slik situasjon, og man har derfor i Nederland forsøkt å etablere standardiserte beregningsmåter som kan legges til grunn for for eksempel dimensjonerende ulykkeslast (og evt også avstander hvor man ikke får drive annen virksomhet). En tilsvarende tilnærming er også implementert i Storbritannia (HIPAP 2008) hvor hovedtilnærmingen beskrives kort i det følgende. En varmefflux på 4.7 kW/m^2 vil lede til alvorlig skade etter 30 sekunders eksponering for personer som ikke kan evakueres eller søke beskyttelse. En varmeeksponering høyere enn dette nivået betraktes derfor som uakseptabel. Med uakseptabelt menes her at frekvensen av slike hendelser skal være lavere enn 50 hendelser per million år. Tilsvarende innføres et eksplosjonsovertrykk på 7 kPa som en øvre grenseverdi med samme frekvensbetraktning. Dette betyr at disse deterministiske kravene også i realiteten er risikobaserte krav. Men i stedet for å uttrykke risikoen i form av dødssannsynligheter vil en slik konsekvensbasert tilnærming kreve at man gjør en frekvensvurdering (med basis i en risikoanalyse) for å verifisere at frekvensene er lavere enn 50 hendelser per million år for disse ulykkeslastene. I Norge er det så langt SINTEF kjenner til ikke noe arbeid på gang slik det er i Nederland og Storbritannia. I denne sammenheng henvises også til det planlagte seminaret i regi av DSB hvor ulike måter å tenke kriterier på er et viktig tema.

Se kapittel 3 og Vedlegg B for en diskusjon av manglende synliggjøring av ulykkeslaster i eksisterende analyser, og dertil videre arbeid.

2.5 Videre diskusjon

I vedlegg A foretas en videre diskusjon om bruk av risikoakseptkriterier. Her tas opp forhold som har vært framme i diskusjonen om LNG-anlegget i Risavika.

3 RISIKOBILDET

I dette avsnittet presenteres viktige deler av risikobildet slik det fremstår ut fra gjennomførte risikoanalyser. I tillegg foretas en vurdering av kvaliteten i analysene. Merk at mandatet for SINTEFs arbeid ikke har vært å foreta en systematisk gjennomgang av gjennomførte analyser. Det er derfor ingen tredjepartsverifikasjon som her presenteres. Det finnes per i dag to analyser som har foretatt en kvantifisering av risikobildet. Den første rapporten, den såkalte Advantica rapporten (Capra m.fl. 2007) var en tidlig konseptrisikoanalyse som ble lagt til grunn for tillatelsen Lyse⁸ fikk til behandling og oppbevaring av brannfarlig vare av DSB i desember 2007. Advantica sin rapport var en konseptanalyse i betydningen at den la et generell design for prosessanlegget for nedkjøling av gass til grunn. I august 2008 ble den andre kvantitative risikoanalysen fra Linde ferdigstilt (Linde, 2008). Denne analysen har tatt utgangspunkt i anlegget slikt det tenkes bygd. Ut fra dette representerer derfor Linde sin analyse et mer realistisk risikobilde enn Advantarapporten. Det må likevel bemerkes at ut fra analysen til Linde foregår det nå en prosess med å redusere risikoen fra de største risikobidragssystemene. Dette betyr at risikobildet hele tiden endrer seg i takt med at tiltak iverksettes, eller at det utføres supplerende analyser der det avdekkes behov for dette. I begge disse analysene presenteres to viktige dimensjoner av risiko:

- Risikokonturer for enkeltindivid
- Storulykkesrisiko ved f-N diagrammer

Risikokonturene for enkeltindivid representerer risikoen for enkeltpersoner dersom de (hypotetisk sett) oppholdt seg på en gitt lokasjon i et helt år. Slike kurver kan derfor si noe om risikoen for enkeltpersoner som oppholder seg i et boligområde i store deler av tiden. Hver kontur (kurve i diagrammet) representerer et sannsynlighetsnivå, typisk 10^{-4} , 10^{-5} osv. Merk at risikoakseptkriteriet satt for tredjeperson er 10^{-5} når det gjelder grensen mellom "gult" og "rødt" område. Tilsvarende er grenseverdien mellom "grønt" og "gult" område i følge risikoakseptkriteriene 10^{-7} . Grovt sett betyr det derfor at utenfor risikokonturen med sannsynlighet 10^{-7} er risikoen i grønt område mht individrisiko.

f-N diagrammer presenterer (storulykkes)risikoen i et diagram som vist i Figur 1.

Risikoberegninger i Linde (2008) sin studie er foretatt med beregningsverktøyet PHAST RISK utviklet av DNV. Dette verktøyet er ett av de mest brukte for slike beregninger. Beregningene i Advantica sin studie ble foretatt med beregningsverktøy utviklet av Advantica selv.

Da det er analysen til Linde som fanger opp det designet som er valgt, er det også derfor denne analysen som blir viktigst i vurderingene både når det gjelder arbeidet med risikoreduksjon i følge ALARP-prinsippet og ved den endelige godkjenning⁹ av DSB for å sette anlegget i drift. Som nevnt innledningsvis, har SINTEF ikke foretatt noen tredjepartsverifikasjon av disse analysene, men vil påpeke en del styrker og svakheter ved Lindes analyse. Noen av styrkene til rapporten er:

- Det presenteres en omfattende liste med antagelser som er lagt til grunn.
- Det presenteres risikobilde for ulike eksponerte grupper, og disse risikoelementene er brutt ned på de enkelte årsakene til ulykker (typisk ulike områder for lekkasjer). Dette har vært viktig for arbeidet med å identifisere risikoreduserende tiltak som nå kan bygges inn i designet på selve anlegget.

Noen viktige svakheter ved analysen er:

⁸ Formelt sett er det selskapet Skangass og ikke Lyse som har søkt og fått denne tillatelsen.

⁹ I tillatelsen fra DSB fra 2007 ble det stilt flere betingelser, bl annet at Sikkerhetsrapport i hht storulykkesforskriften skal aksepteres av DSB før anlegget settes i drift, og videre at oppdatert for ferdigstilt anlegg skal vise akseptable verdier/konklusjoner.

- De ulike risikoscenarioene er ikke eksplisitt synliggjort. For eksempel er det ikke mulig fra rapporten å se hvilke trykk- og temperaturlaster man kan forvente å få for de ulike risikoscenarioene for ulike avstander fra anlegget.
- Analysen presenterer kun individrisiko for ulike eksponerte grupper, men det er ikke mulig å lese fra rapporten hva storulykkesrisikoen er for de ulike gruppene. Indirekte kan man fra analysen lese seg til at det viktigste bidraget til storulykkesrisiko er knyttet til fergeterminalen.
- Det ligger ingen vurdering av hvordan lekkasjefrekvenser, påliteligheten av sikkerhetssystemer osv er påvirket av drift og vedlikehold mv. Det er her lagt generelle statistiske betraktninger til grunn. Det skal bemerkes at for slike typer analyser er det ikke vanlig å foreta slike vurderinger av hva som påvirker inngangsdata til modellene. Det er først når man starter etableringen av driftsprosedyrer, vedlikeholdsprogrammer osv at slike vurderinger tas inn. Da mange ulykker mer og mindre direkte kan skrives tilbake til dårlig eller mangelfullt vedlikehold (jf. Texas City ulykken, CSB 2006), blir det derfor viktig at dette punktet blir fulgt opp senere, se avsnitt 4.3.

Andre fagpersoner har også påpekt den manglende synliggjøringen av hvilke ulykkeslaster ulike risikoscenarioer representerer (jf. Brev til eierne av Lyse, 2008).

Lyse opplyser at de vil foreta en utdypende studie for å studere nærmere trykkklaster for de viktigste risikoscenarioene som er identifisert, for å øke kunnskapen på dette området. De forventede resultatene fra en slik studie kan benyttes både til å få en ekstra verifikasjon av storulykkesrisikoen i forbindelse med særlig fergeterminalen, men også for å vurdere evt ytterligere risikoreduserende tiltak.

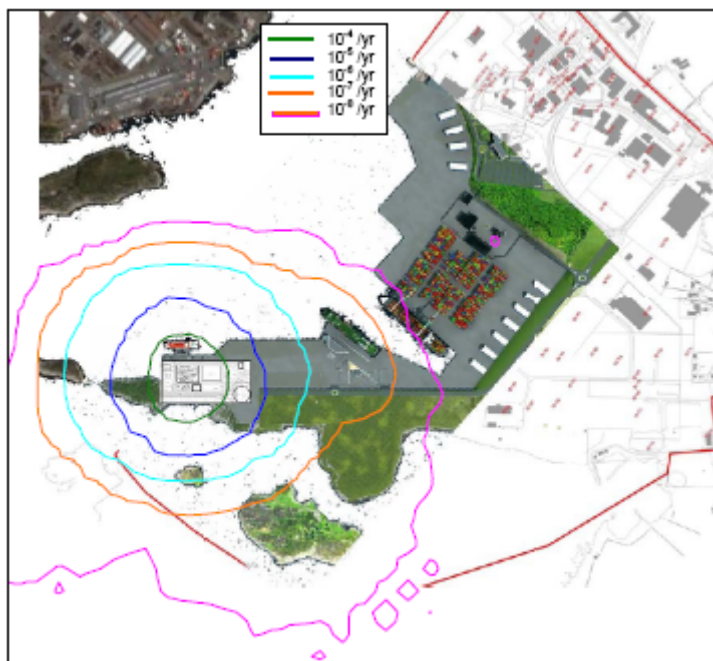
I diskusjonen av risiko i avsnittene som følger nedenfor, må det derfor understrekes at det her er lagt til grunn de analyser som eksisterer i dag. Etter hvert som prosjektet utvikler seg må man regne med at det kommer flere analyser, både på grunn av at det er risikoforhold man ønsker å utdype nærmere, og fordi man evt iverksetter risikoreduserende tiltak der effekten av disse synliggjøres.

Det er også viktig å merke seg at risikovurderinger av LNG anlegg og transport av LNG til sjøs er et område som er i utvikling internasjonalt. Et tema som mange har pekt på både internasjonalt, men også i forhold til anlegget i Risavika er at det ikke er tilgang til data fra utførte fullskalaforsøk med store utslipp med LNG til sjø. Modeller og beregningsverktøy er derfor for scenarioer med store utslipp basert på modeller som ekstrapolerer resultater fra forsøk med mindre utslipp. SANDIA, som er en viktig premissgiver på dette området i USA, har antydnet at det planlegges gjennomført forsøk med større utslipp av LNG til sjø for å få bedre trygghet i de modeller som i dag benyttes. Det er viktig å følge opp resultatene fra disse studiene når de foreligger, både mht å vurdere om det er behov for å oppdatere risikoanalysene i lys av ny kunnskap, men også å vurdere om resultatene har betydning for f eks beredskapsarbeid. Det understrekes at SINTEF i denne sammenheng ikke har foretatt noen detaljert gjennomgang av eksisterende forsøksresultater mht hvor relevant, evt lite relevant disse er i forhold til risikomodelleringene som er utført for anlegget i Risavika.

3.1 Individrisiko for tredjeperson

I Lindes risikoanalyse er det foretatt beregninger som viser risikokonturer. Disse konturene viser som tidligere nevnt, risikoen for enkeltpersoner dersom de (hypotetisk sett) oppholdt seg på en gitt lokasjon i et helt år. Figur 3 viser beregnet risiko for ulike områder nært LNG-anlegget. I forhold til risikoakseptkriteriene ligger fergeterminalen i gult område dersom man sammenligner med risikoakseptkriteriene for tredjeperson, se Tabell 2. Som følge av arbeidet med risikoreduksjon i forhold til ALARP prosessen er det identifisert risikoreduserende tiltak. Disse

tiltakene legges nå til grunn i det videre arbeidet med byggingen av anlegget. Tiltakene som er vedtatt implementert, gjør at individrisikoen for personer som arbeider ved fergeterminalen og for reisende, er svært nær grønt område¹⁰. Merk at for den enkelte passasjer som kun oppholder seg en svært liten andel av et år ved fergeterminalen, så vil risikobidraget være mye mindre enn 10^{-7} som er grenseverdien mellom gult og grønt i forhold til risikoakseptkriteriene. For boligområdene i Tananger og for boligområder sørøst for LNG-anlegget vil risikoen være i grønt område sammenlignet med risikoakseptkriteriene. Dersom vi sammenligner risikoen for tredjepersoner i boligområdene f.eks i Tananger, med grunnrisikoen vi alle er utsatt for (se Tabell 1), så utgjør risikoen fra LNG-anlegget godt under¹¹ en promille av grunnrisikoen.



Figur 3 Risikokonturer for individrisiko

Merk også at Advanticarapporten viste lav individrisiko for boligområdene dersom man sammenligner med grunnrisikoen.

Observasjon 3 Risiko for enkeltpersoner

Enkeltpersoner i Tananger eller Risavika er ikke utsatt for risiko i konflikt med de risikoakseptkriterier som er lagt til grunn. Det gjøres oppmerksom på at disse vurderingene er basert på de analyser som er gjennomført, og at de risikoreduserende tiltak som er vedtatt gjennomføres.

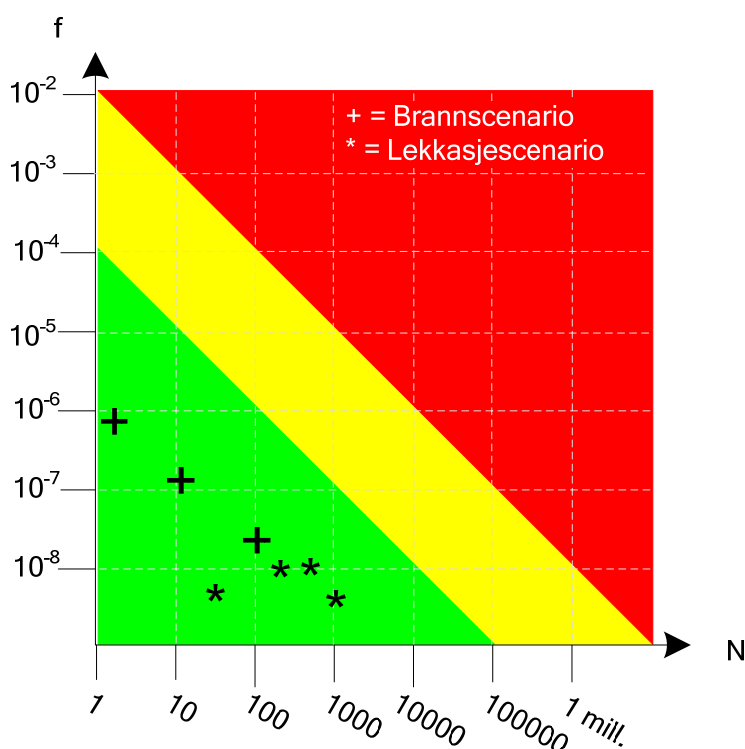
3.2 Skipstrafikken

I SINTEFs arbeid med dialogprosessen kom det fram bekymringer knyttet til skipstrafikken. Det ble tidlig gjennomført en risikovurdering av anløp av LNG-fartøy til Risavika (Wiik og Tveiten, 2006). Denne analysen har imidlertid blitt kritisert, blant annet fordi den ikke kvantifiserer risikobildet eksplisitt i forhold til risiko for tredjeperson. SINTEF har derfor foretatt en grov

¹⁰ Etter ALARP prosessen er man i grønt område for reisende og utearbeidere, mens man er svært nær grønt område for kontorarbeidere

¹¹ I følge beregnet risiko i Linde sin analyse så utgjør faktisk individrisikoen fra anlegget kun en million del av grunnrisikoen. Det er med andre ord svært lite risikobidrag fra anlegget når vi betrakter individrisiko.

konserverativ (pessimistisk) analyse av risiko knyttet til skipskollisjon ved utseiling med LNG skip fra Risavika. Figur 4 viser resultatet av en grov risikovurdering for dette scenarioet plottet i diagrammet som viser risikoakseptkriteriene for storulykke. Vurderingene som er foretatt, er vist i Vedlegg C. I analysene ble det lagt til grunn at det tillates innseiling av andre skip mens et LNG skip er på veg ut. I følge los Per Øhman vil det imidlertid ikke være tillat for andre skip å seile inn til Risavika når et LNG skip er på veg ut. Passeringsforbudet ved inn- og utseiling gjelder generelt for skip som kontrolleres fra Kvitsøy trafikksentral. Dette skulle tilsi at risikoen er lavere enn det som vises i Figur 4. Det skal imidlertid ikke utelukkes at det kan skje missforståelser osv, slik at det alltid vil være en viss sannsynlighet for at det likevel kan skje en ulykke. Ut fra opplysningene om restriksjoner i seilingen, vurderer SINTEF resultatene vist i Figur 4 som svært konservative. I forhold til risikoakseptkriteriene må derfor risikoen i forbindelse med utseiling fra Risavika for et LNG skip sies å være godt inne i grønt område.



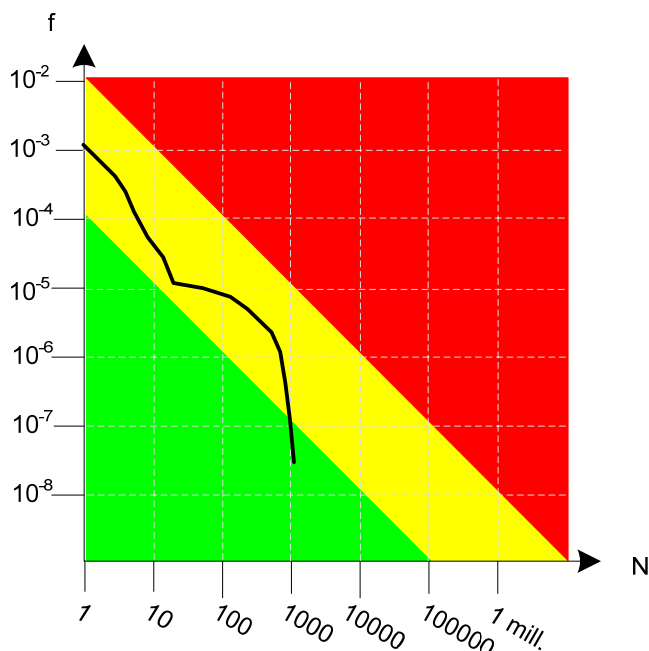
Figur 4 Grov risikovurdering av scenario med skipskollisjon ved utseiling fra Risavika

Det er også stilt spørsmål om risikoen knyttet til at et skip blir påkjørt av et annet mens det ligger og laster LNG. DNV har etter at SINTEF avsluttet sitt arbeid i 2009 gjennomført en risikoanalyse av dette scenarioet. Denne analysen er mer detaljert enn den SINTEF har utført for utseilings-scenarioet. Blant annet er det gjennomført eksplisitte beregninger av sannsynlighet for lekkasje ved en evt påkjørsel. Analysen fra DNV viser at risikobidraget ligger i "grønt område" (NDV 2009).

3.3 Risiko knyttet til fergeterminalen – storulykkesrisiko

I debatten om LNG-anlegget har mange fremhevet at fergeterminalen er uheldig plassert i forhold til risikoen den eksponeres for fra LNG-anlegget. Risikoanalysen bekrefter dette ved at fergeterminalen ligger i "gult" område, både når vi ser på risikokonturene og storulykkesrisikoen. SINTEF har ikke hatt som mandat å analysere hvorfor fergeterminalen er plassert der den ligger. I dialogmøtene har det derimot kommet fram argumenter om at dette skyldes manglende oversikt,

uklare ansvarslinjer og manglende koordinering. Vinnem (2008) peker også på slike forhold i sin rapport. SINTEF vil heller ikke gå inn i en diskusjon om juridiske og forvaltningsmessige problemstillinger her, men kun vurdere situasjonen slik den nå foreligger med fergeterminalen plassert der den ligger. Som utgangspunkt for en diskusjon viser Figur 5 beregnet storulykkesrisiko slik den fremstilles i risikoanalysen til Linde (20008).



Figur 5 f-N diagram for storulykkesrisiko (Linde 2008)

Bidraget til "knekket" i området $N = 10$ til $N = 1000$ skyldes i hovedsak fergeterminalen. Kurven ligger omtrent "midt i gult" område og er i så måte innefor akseptabelt område i forhold til valgte risikoakseptkriterier. Men ut fra en ALARP tenkning er det påkrevd med et systematisk arbeid for å redusere risikoen ytterligere. Lyse har allerede identifisert flere tiltak for å redusere risikoen. Tiltakene som foreløpig er vurdert, er tiltak som er direkte rettet inn mot prosessanlegget (for nedkjøling av gass) og eksportsystemene til skip/lastebiler. De viktigste tiltak er:

- En automatisk nedstengning av lastesystemene for båt/bil ved deteksjon fra gassdetektorer. I utgangspunktet var det foreslått at kontrollromsoperatørene skulle stenge ned ved alarm fra gassdetektorene. Dette var i analysen forventet å ta ti minutter. Dersom gassdeteksjonssystemet fungerer, forventes det at eksportpumpene kan stenges i løpet av 15-30 sekunder. Tiltaket representerer derfor en signifikant reduksjon i eventuelle utslippsmengder.
- Overvåking med videokamera som kan se en gass-sky. Det finnes i dag videoteknologi som kan "se" en gass-sky, og følge denne. Dette gjør at man får en ekstra barriere mht nedstegning. Riktignok vil responstiden bli noe lenger enn responstiden for gassdetektorene, men totalt vil likevel videokamera representere en ekstra sikkerhetsgevinst. Videokameraet kan også benyttes til å "følge" en gass-sky, og er derfor også et viktig tiltak i en beredskapsstrategi.
- Fjernstyrte brannpumper. Det legges nå opp til å benytte brannpumper som kan fjernstyres fra kontrollrommet. Sammen med videokamera forventes derfor at skadebegrensning kan foregå mye mer effektivt.
- Økt bruk av passiv brannbeskyttelse på hydrokarbon- tanker i prosessanlegget.

Totalt sett så er disse tiltakene vurdert til å kunne halvere risikoen i Figur 5. Tiltakene vil imidlertid ikke kunne bringe storulykkesrisikoen helt ned i grønt område. Et tiltak som utredes er bruken av brannpumper for å kunne styre en eventuell gass-sky som driver fra LNG-anlegget mot fergeterminalen. Det er ikke urimelig å forvente at dette tiltaket vil kunne bringe risikoen ned i grønt område. Se diskusjon i avsnitt 4.2 for ytterligere risikoreduserende tiltak. Merk at siden foreliggende rapport ble ferdigstillet i desember 2008 er arbeidet med risikoreduserende tiltak videreført. Resultatene fra dette arbeidet er ikke vist i lista ovenfor. Det henvises til Lyse sine hjemmesider (www.lyse.no) for ytterligere informasjon etter hvert som dette foreligger.

Observasjon 4 Storulykkesrisiko

Ut fra diskusjonen ovenfor representerer fergeterminalen en utfordring i forhold til storulykkesrisiko. Med de tiltak som er identifisert og vedtatt iverksatt, så kan risikoen halveres ut fra de vurderinger som er foretatt. Lyse vurderer også tiltak med aktiv bruk av brannpumper mellom LNG-anlegget og fergeterminalen. Et slikt tiltak kan trolig bringe risikoen ned i grønt område. Uten et slikt tiltak vil risikoen ligge i nedre del av det gule området. Det understrekes at det er pekt på at risikoanalysen til Linde ikke synliggjør eksplisitt ulykkeslaster. Lyse har derfor besluttet å foreta en ny analyse som ser spesifikt på dette forholdet. Det må derfor foretas en ny vurdering når disse resultatene foreligger.

3.4 Terrortrussel og villedede handlinger

SINTEF har ikke gjennomført noen systematisk analyse av faren for terror eller andre villedede handlinger mot anlegget. Ved analyse av slike forhold er det vanlig å adressere tre viktige forhold:

- Vilje til å gjennomføre et angrep (intensjon)
- Ferdighet og kunnskap til å gjennomføre et angrep (evne)
- Ressurser til å gjennomføre et angrep (kapasitet)

En av grunnene til at det heldigvis er få terrorangrep eller villedede handlinger i vår del av verden, er at kombinasjonen av forholdene ovenfor sjelden er til stede. Når det konkret gjelder LNG-anlegget i Risavika kan man se for seg to årsaker til at noen vil ramme anlegget:

1. Ønske om å sette kritisk infrastruktur ut av spill, for evt å lamme Norge som nasjon
2. Ønske om å skaffe oppmerksomhet

Slik SINTEF vurderer situasjonen er det lite sannsynlig at man vil velge et angrep mot LNG-anlegget i Risavika. Dette fordi skadene trolig vil bli forholdsvis begrenset. Anlegget er et småskalaanlegg, og vil ikke utgjøre en svært stor del av energiforsyningen i området, eller i Norge for øvrig. Det er mange andre anlegg i Norge som i så måte er mer utsatt. Når det gjelder punkt 2, ønske om å oppnå oppmerksomhet, så er angrep i vår vestlige verden i all hovedsak rettet mot områder med stor befolkningskonsentrasjon, særlig knutepunkter for transport. (Fridheim, 2008). Det vurderes derfor som svært lite sannsynlig at noen vil forsøke seg på et angrep mot LNG-anlegget på dette grunnlag, både fordi det er relativt få personer i området, og fordi det vil være svært vanskelig å ramme mange personer. Ved bruk av f.eks sprenglegemer er det mest sannsynlig at en evt lekkasje av LNG vil bli antent. Det vil medføre store skader på anlegget, men det skal mye til for at handlingen vil være et "sikkert" tiltak mht å skade eller drepe et stort antall mennesker.

4 RISIKOSTYRING

4.1 Tiltak identifisert og vedtatt implementert med utgangspunkt i risikoanalysen

Som en del av ALARP prosessen har Lyse nå identifisert en rekke risikoreduserende tiltak, se avsnitt 3.3. Med disse tiltakene er risikosituasjonen bedret i forhold til risikobildet slik det ble fremstilt i Linde rapporten (2008). Slik SINTEF vurderer situasjonen gjør Lyse nå en god jobb med å redusere risikoen i henhold til ALARP prinsippet. I tillegg til vedtatte tiltak vurderes også f eks bruk av brannpumper for å styre en evt gass-lekasje, noe som vil kunne bidra til at storulykkesrisikoen kommer i grønt område.

4.2 Andre risikoreduserende tiltak

Tiltakene som nå er vedtatt og de som er til vurdering, er alle tiltak som Lyse er ansvarlige for, og som er i direkte tilknytning til LNG-anlegget. Det er flere tiltak som kan bidra til å redusere risikoen ytterligere, men som Lyse ikke kan iverksette på egen hånd. Det første tiltaket er knyttet til beredskap, og koordineringen av beredskapsinnsatsen i Risavika. Arbeidet med den konkrete beredskapsplanleggingen startet på nyåret 2009. Et annet tiltak som det er blitt pekt på, er forsterkning av fergeterminalen. Et slikt tiltak må sees i lys av flere forhold, og noen viktige av disse er:

- Restrisikoen man sitter igjen med etter at andre tiltak er vurdert.
- Kunnskap om nytten av et slikt tiltak sett i lys av ulykkeslaster. Slik kunnskap forventes fremskaffet gjennom arbeidet som Lyse nå setter i gang mht å foreta en mer eksplisitt kartlegging av ulykkeslaster for de viktigste risikoscenarioene.
- Kostnaden ved tiltaket.

Et annet tiltak som SINTEF har fremmet, er å installere gassdetektorer som er koblet til en tennkilde. Bakgrunnen for et slikt tiltak er at dersom det skulle bli en stor gasslekkasje ved LNG-anlegget og en gass-sky driver inn mot fergeterminalen, så vil man kunne begrense skadene ved fergeterminalen ved å antenne gass-skyen. Dette er et svært dramatisk tiltak som også kan være problematisk fra et etisk perspektiv. Det å antenne en gass-sky vil øke risikoen for personer som oppholder seg ved eller i nærheten av LNG-anlegget, samt at det vil medføre store materielle skader. Disse ulempene må da veies opp mot en betydelig reduksjon i risiko for personer som oppholder seg ved eller i fergeterminalen. Nå er det trolig at en evt gass-sky vil antennes uansett dersom den driver mot fergeterminalen. Dette som følge at biler fungerer som tennkilder. Personer som er ute og røyker foran terminalbygget vil også kunne representere en tenn-kilde. Slik SINTEF har tenkt seg forslaget, så kan man eventuelt plassere en gass-detektor 30-50 meter fra fergeterminalen. Dette vil redusere sannsynligheten for at personer som oppholder seg i eller ved fergeterminalen blir eksponert i forbindelse med antennen, samtidig som det er mulig å foreta bekjemping av gass-lekkasjen ved LNG-anlegget, jf. tiltaket som vurderes med styrbare brannpumper som kan begrense sannsynligheten for at en gass-sky driver i uheldig retning. Slik SINTEF vurderer situasjonen vil dette tiltaket har en svært god effekt mht å redusere storulykkesrisikoen. Riktignok er det også noen negative aspekter ved tiltaket slik at en nøye vurdering av fordeler og ulemper må foretas.

Avslutningsvis gis et par ytterligere kommentarer til foreslått tiltak:

- Sannsynligheten for at det blir behov for antenne av en gass-sky slik tiltaket er tenkt er svært lav. Risikoanalysen indikerer her en årlig sannsynlighet på 10^{-6} , dvs i snitt en million år mellom hver gang tiltaket kommer til anvendelse. Man ser derfor ikke for seg at det blir behov for å antenne gassen. Utgangspunktet er at hvis det mot alle odds skulle bli en

gasslekkasje, og denne driver mot fergeterminalen, så er kanskje en bevisst antennelse det beste man kan gjøre.

- Merk at tiltaket med å antenne en gasssky er et tiltak som Lyse per i dag ikke vurderer som en relevant strategi ut fra gjeldende og generelt akseptert praksis i bransjen. Som indikert ovenfor er det også negative sider ved et slikt tiltak.
- Med de andre identifiserte risikotiltak ser det ut til at man kan få risikoen ned i grønt område. I debatten om anlegget har det også blitt argumentert for å benytte strengere akseptkriterier enn de som Lyse har valgt. SINTEF diskuterer denne problemstillingen i Vedlegg A2 og er i utgangspunkt kritisk at man skal foreta en slik vurdering opp mot andre kriterier. Her er nevnt f.eks. verdier som benyttes i Nederland, se Figur 2. Men dersom man gjør en slik vurdering, synes tiltaket veldig relevant ved at konsekvensen av flere av risikoscenarioene som bidrar til storulykkesrisiko kan reduseres betydelig. SINTEF har ikke kvantifisert denne effekten, men under forutsetning av at det er lekkasjescenarioene som bidrar mest til storulykkesrisikoen, burde det være mulig å oppnå en reduksjon i frekvens på minst en faktor 10 for de alvorligste konsekvensene.

4.3 Oppfølging i driftsfasen

I de risikoanalyser som er utført, er det kun lagt statistiske erfaringsdata til grunn for lekkasjefrekvenser, pålitelighet av sikkerhetssystemer osv. Det er mange forhold som kan påvirke hvor mange lekkasjer det faktisk blir, og hvilken pålitelighet sikkerhetssystemene oppnår. Erfaring viser at vedlikehold og det systematiske arbeidet med å begrense lekkasjefrekvensene har stor betydning. Tilsvarende dersom man gjør dårlig vedlikehold, eller unnlater å gjøre vedlikehold, vet man at risikoen øker betydelig, og at de statistiske dataene er svært lite representative. For eksempel Texas City ulykken (CSB, 2006). I offshorenæringen har man siden 2001 arbeidet systematisk med oppfølging av gasslekkasjer og status på sikkerhetsbarrierer i prosjektet Risikonivå i petroleumsvirksomheten (RNNP). Det er viktig at den innsikt man har opparbeidet her, også blir lagt til grunn når det gjelder oppfølging i driftsfasen av LNG-anlegget. I dialogmøtene er det pekt på at det kan være en utfordring at det er DSB som er tilsynsmyndighet, og ikke Petroleumstilsynet som har erfaring med arbeidet i RNNP. SINTEF påpeker derfor viktigheten av at DSB sammen med Lyse avklarer hvordan man ser for seg et oppfølgingsregime som viderefører den kunnskap man har tilegnet seg i offshorenæringen.

4.4 Etablering av risikoregister

Et viktig element i risikostyringen er å etablere et fareregister, eller et risikoregister, hvor utfordringer knyttet til sikkerhet dokumenteres, og hvor det tilordnes ansvar og tidsfrister slik at viktige forhold ikke "blir glemt". Storulykkesforskriften setter ikke noe eksplisitt krav til at et slikt register skal være en del av sikkerhetsrapporten som følger med søknad om endelig godkjenning for oppstart av LNG-anlegget. SINTEF ser det imidlertid som svært viktig at et slikt risikoregister får en sentral plass i sikkerhetsstyringen, og at registeret legges ved endelig sikkerhetsrapport. SINTEF har ikke studert eksplisitt sikkerhetsstyringssystemene til Lyse og kjenner derfor ikke i hvilket omfang et risikoregister benyttes i dag. Vi vil imidlertid anbefale at man formaliserer bruken av et risikoregister, og benytter dette som et levende dokument i sikkerhetsstyringen. Ved å legge risikoregisteret ved søknaden til DSB, synliggjør Lyse da både hvordan man har lukket ulike sikkerhetsutfordringer og hvor systematisk Lyse jobber med de utfordringer som dukker opp.

På nåværende tidspunkt er Lyse midt inne i en analyseprosess hvor det hele tiden dukker opp utfordringer, og hvor tiltak, nye analyser osv. må gjennomføres. Det er derfor ikke mulig for

SINTEF i dag å forutse hvilket risikobilde som fremstår når anlegget evt. skal settes i drift i 2010. I denne rapporten har SINTEF påpekt noen sentrale punkter som er viktig å følge opp. Det er mange andre punkter som har kommet fram i dialogmøter osv som ikke får noen direkte plass i denne rapporten. I Vedlegg B har derfor SINTEF skissert punkter som det er viktig å følge opp. Selv om det er listet opp mange forhold her, så betyr ikke det at vi har gått inn og sjekket alle punktene. Det er heller ikke vår oppgave i dette prosjektet. Vi anbefaler derimot at Lyse går gjennom lista og kvitterer ut at forholdet enten er dekket godt nok i dag, eller at man har en prosess på forholdet, eller at man etablerer en prosess på forholdet, eller vurderer forholdet som lite relevant.

5 KONKLUSJON

SINTEF har bistått Lyse i arbeidet med dialog om risikoen ved LNG-anlegget, og gitt faglige innspill i forhold til risikoanalyser. En egen rapport er utarbeidet med utgangspunkt i dialogprosessene, mens herværende rapport presenterer det viktigste arbeidet i forbindelse med risiko og beslutninger om risiko. Dersom de gjennomførte risikoanalysene av anlegget legges til grunn, så er individrisikoen for tredjepart godt inne i "grønt område" i forhold til risikoakseptkriteriene. Denne risikoen er også svært lav i forhold til grunnrisikoen som vi alle er utsatt for. Når det gjelder storulykkesrisikoen (samfunnsrisikoen) så er denne i "gult område" i forhold til de risikoakseptkriteriene som er valgt (ALARP-området), dvs. at risikoreducerende tiltak må iverksettes så langt det er mulig. Risikoen i gult område skyldes i hovedsak nærheten til fergeterminalen som ligger like ved LNG-anlegget. Lyse har identifiserer risikoreducerende tiltak som kan bringe risikoen ned mot grønt område i forhold til valgte risikoakseptkriterier. Noen av disse tiltakene er vedtatt implementert, mens andre tiltak fortsatt er under utredning.

Arbeidet med risikoreduksjon pågår fortsatt hos Lyse, og vil være en viktig del av sikkerhetsarbeidet i hele anleggets levetid. Rapporten peker på en del svakheter i analyser osv som krever videre analysearbeid, og evt vurdering av nye tiltak. Slikt arbeid pågår. Det er derfor vanskelig å fastslå hvilket risikobilde som fremstår når anlegget skal settes i drift. SINTEF foreslår å benytte et risikoregister i risikostyringen for å sikre at forhold som kommer opp, blir behandlet og fulgt opp. Noen viktige punkter i et slikt register over risikoforhold for oppfølging er lagt ved til slutt i denne rapporten. Her henvises også til arbeidet Lyse har gjort etter at foreliggende rapport ble ferdigstillet i desember 2008.

Lyse har lagt opp en prosess med bruk av risikoakseptkriterier som et førende prinsipp i risikostyringen. Her har Lyse fastsatt risikoakseptkriterier som er på linje med de som benyttes i Storbritannia der myndighetene setter kravene. Norske myndigheter (DSB) har i sin tillatelse ikke kommentert på disse kravene. Andre personer som har engasjert seg i saken har imidlertid kommet med kritiske merknader til bruken av risikoakseptkriterier her, og i rapporten diskuterer vi noen av disse merknadene. Vi kan imidlertid ikke se at måten risikoakseptkriterier er lagt til grunn i forbindelse med LNG-anlegget fraviker fra vanlig praksis i Norge, eller fra anbefalinger fra relevante standarder (NS 5814, NORSOK Z013N). For å få en bredere diskusjon av ulike aspekter av risikoakseptkriterier, designkrav, beskrivelse av ulykkeslaster osv i slike beslutningssituasjoner som her er omtalt, har SINTEF tatt initiativ til at DSB vil invitere til et fagseminar om temaet i 2009.

REFERANSER

- Arbeids og inkluderingsdep. St.meld. nr. 12 (2005-2006). Helse, miljø og sikkerhet i petroleumsvirksomheten. 2006.
- Aven, T. *Foundations of risk analysis*. Wiley, West Sussex, 2003.
- Blikra, L.H., Anda, E. Høst, J. og Longva, O. 2006. Åknes/Tafjord-prosjektet: Sannsynlighet og risiko knyttet til fjellskred og flodbølger fra Åknes og Hegguraksla". NGU rapport NGU Rapport 2006.039.
- Capra, G. Cleaver, P. Chester, A. and Phillips, A. QRA of the Proposed Lyse Gas LNG Base Load Export Terminal, Advantica, Doc. No.:R100-PB-S-SR0001, rev 2, 11/4-07. ("Advanticarapporten"). 2007.
- CSB 2006. Investigation of BP Texas City Refinery Disaster. CSB, U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, investigation report.
- DNV 2009 Risk for striking impact to LNG carriers - Skangass LNG plant. DNV Report no: 2009-0089.
- Drottz- Sjöberg, B.M. Current trends in risk communication: Theory and practice. Directorate for Civil Defence and Emergency Planning, 2003.
- EN 50126. 2000. *Railway applications - The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)*. CENELEC.
- Fischhoff, B., S. Lichtenstein, P. Slovic, S.L. Derby, and R.L. Keeney. *Acceptable Risk*. Cambridge University Press, New York, 1981.
- Fridheim, H. (2008). Viljeshandlinger mot kritisk infrastruktur. Forsvarets Forskningsinstitutt. Presentasjon på DECRIS møte juni 2008.
- HIPAP. 2008. Hazardous Industry Planning Advisory Paper No 4. Risk Criteria for Land Use Safety Planning. Consultation Draft. July 2008.
http://www.planning.nsw.gov.au/plansforaction/pdf/hazards/haz_hipap4_rev2008.pdf
(nedlastet 2009-04-01)
- Hokstad, P. Rosness, R. Sten, Stensdaas, J.P., Sæbø, H.J., Haugen, S., Norddal T. og Wilson, P.A. (1997). "Risikoanalyse for innenriks fergetransport", SINTEF rapport STF38 A96424, Trondheim
- Hon, L. and Amdahl, J. (2008). Crushing resistance of web girders in ship collision and grounding. *Marine Structures* 21 (2008) 374–401.
- IEC 60050(191). *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Chapter 191 – Dependability and quality of service*. International Electrotechnical Commission, Geneva, 1990.
- IEC 60300-3-9. *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Dependability management – Part 3: Application guide – Section 9: Risk analysis of technological systems*. International Electrotechnical Commission, Geneva, 1995.
- Kaplan. S. *Risk Assessment and Risk Management - Basic Concepts and Terminology*. Hemisphere Publ. Corp., Boston, Massachusetts, USA, 1991. In *Risk Management: Expanding Horizons in Nuclear Power and Other industries*, pp. 11-28.
- Linde (2008). Quantitative Risk Analysis (QRA) Lyse LNG Base Load Plant. Train 1. Rapport nummer &AA S-CS 1002.
http://www.lyse.no/getfile.php/www.lyse.no_net/Dokumenter%20og%20filer/Generelt%20Lyse/Om%20Lyse/LNG/%26A%20S-CS%201002_Issue%2003.pdf
- Norddal, T. (2007). Risikorapport 2006. Ferjefaktautvalget.
- NS 5814 – Norsk standard for risikoanalyse. Draft utkast våren 2008.
- OLF guideline no. 070 (2004). Application of IEC 61508 and IEC 61511 in the Norwegian Petroleum Industry, OLF. (<http://www.olf.no/?23661.pdf>)
- Otto. S., Pedersen, P.T., Samuelides, M. and Sames, P.C. (2002) Elements of risk analysis for collision and grounding of a RoRo passenger ferry. *Marine Structures* 15 , pp 461–474.

- Pedersen PT, On the global ship hull bending energy in ship collisions, *Marine Structures* (2008), doi:10.1016/j.marstruc.2008.06.005
- Rausand, M. and A. Høyland 2004. *System Reliability Theory, Models, Statistical Models, and Applications*. John Wiley & Sons, New York.
- Spounge, J. (1996) Methodology for Quantitative risk assessment of passenge/ro-ro vessels. DNV rapport.
- Tabri K et al. (2008), Analytical modelling of ship collision based on full-scale experiments, *Marine Structures* (2008), doi:10.1016/j.marstruc.2008.06.002
- Uijt de Haag, P.A.M. Gooijer, L. and Frijns, P.J.M.G. 2008. Quantitative Risk calculation for land use decisions: the validity and the need for unification. PSAM9. 18-23 mai 2008. Honk Kong.
- Utne, I.B. Sustainable fishing fleet - A systems engineering approach. PhD thesis from Norwegian University of Science and Technology. ISBN 978-82-471-4543-2. 2007. Kan lastes ned fra http://www.diva-portal.org/diva/getDocument?urn_nbn_no_ntnu_diva-1758-1_fulltext.pdf.
- Vanem, E., Anta, P., Østvik, I., de Comas, F.D.C. (2008). Analysing the risk of LNG carrier operations. *Reliability Engineering and System Safety*, 93, pp. 1328–1344.
- Vatn, J. A discussion of the acceptable risk problem. *Reliability Engineering and System Safety*, 61(1-2):11-19, 1998.
- Vinnem, J.E. Granskning av svikt av samfunnsmessige barrierer. Rapport 200800-01. Preventor.
- Wiik, A. og Tveiten, M. (2006) Oppdatering III av risikovurdering på anløp av LNG-fartøy til Risavika havn. Rapport nr. 33.690.015/R4
- Øhman, P. (2008). ePost 6/11.2008.
- Øien, K., P.R. Hokstad and R. Rosness. 1998. Handbook for performing Expert Judgment. SINTEF rapport STF38 A98419. Kan bestilles fra <http://www.sintef.no>.

VEDLEGG A – DISKUSJON OM BRUK AV RISIKOAKSEPTKRITERIER

I forbindelse med diskusjonen om plassering av LNG-anlegget er det publisert en granskningsrapport 3. oktober 2008 med tittelen: "Lokalisering av LNG-anlegg i Risavika i Sola kommune – Granskning a svikt av samfunnsmessige barrierer" (Vinnem, 2008). Rapporten har hovedfokus på de samfunnsmessige barrierer forfatteren mener har sviktet i forbindelse med lokaliseringen av LNG-anlegget. Slik SINTEF ser det er det viktige tema rapporten berører. Vi vil ikke her ta stilling til konklusjonene i rapporten, men vi vil diskutere noen av temaene som berøres i rapporten i tilknytning til bruk av risikoakseptkriterier. Vi vil her ikke komme med klare konklusjoner mht hvordan risikoakseptkriterier skal brukes, hvem som skal sette dem osv. Men vi vil belyse en del problemstillinger som er blitt aktualisert gjennom rapporten. Vi har også tatt initiativ til et fagseminar i regi av DSB for å diskutere disse aspektene.

A1 - Hvem har satt, og hvem bør sette risikoakseptkriteriene

I Norge er hovedregelen at virksomhetene selv setter akseptkriteriene, mens i Storbritannia er det myndighetene som setter disse verdiene (HSE).

Observasjon 5 Lyse har satt risikoakseptkriterier

Lyse har opplyst til SINTEF at de har satt risikoakseptkriterier svarende til de som benyttes av HSE i Storbritannia. Disse ligger til grunn for arbeid Lyse nå utfører for å undersøke om risikoen er akseptabel, og hvilke risikoreducerende tiltak som kan iverksettes. I avsnitt 6.4.1 side 38 i granskningsrapporten (Vinnem 2008) hevdes det at Lyse ikke har satt slike kriterier.

Det er vanlig å etablere risikoakseptkriterier både for individrisiko og samfunnsrisiko. Individrisiko beskriver risikoen for enkeltindivider, mens samfunnsrisiko (storulykkesrisiko) beskriver risikoen i form av sannsynlighet for ulike konsekvenskategorier (antall drepte). Det er vanlig å operere med ulike risikoakseptkriterier for første, andre og tredjeperson. I noen sammenhenger er risikoakseptkriterier satt i form av en risiko per år, mens i andre sammenhenger er risikoakseptkriteriene satt i form av en risiko per time man er eksponert for risiko.

Diskusjonstema 1 Hvem setter akseptkriteriene, og er det en åpen diskusjon bak disse

Verken Sola kommune eller DSB har kommet med konkrete forslag til risikoakseptkriterier. Lovverket åpner heller ikke for dette, så langt SINTEF kan se. Det kan imidlertid føres argumenter for at for eksempel politikerne i Sola burde gi føringer mht valg av risikoakseptkriterier.

I avsnitt 5.1 i granskningsrapporten heter det (Vinnem, 2008): "*Naboer og politikere må forholde seg til at LNG-anlegget påfører lokalsamfunnet en ufrivillig risiko, som i verste fall innebærer at 900-1000 personer kan omkomme i en ulykke. Det finnes ingen andre menneske-skapt risiko for Tananger samfunnet (bortsett fra atomkrig) som kan gi så høyt antall omkomne. Det må forventes at både nabogrupper og politikere ville reagert dersom slike opplysninger hadde vært framlagt i tide*". Med hensyn til de politiske vurderingene som gjøres i Sola, så kan utsagnet tolkes på to måter. Den ene fortolkningen dreier seg om det faktum at i den foreløpige analysen utført av Advantica¹² ble det beregnet at det forventningsmessig vil gå milliarder år mellom hver gang det

¹² Dette var den første analysen som kvantifiserte risikobildet for tredjeperson, og viste storulykkesrisiko i form av f-N kurver.

blir en ulykke med i størrelsesorden 1 000 omkomne. Det faktum at 1 000 personer kan omkomme ble først eksplisitt uttrykt ved studien til Advantica. Da det bor flere enn 1 000 personer i området, og når det i tillegg skal etableres en fergeterminal, så er kanskje ikke et storulykkespotensiale på 1 000 drepte overraskende. Men at det ble eksplisitt uttrykt hva denne sannsynligheten var vurdert til, var noe nytt som forfatteren av granskningsrapporten mener politikerne burde ta stilling til. I forlengelsen av et slikt resonnement kan man også gi en annen fortolkning av utsagnet i granskningsrapporten som går på at risikoakseptkriteriene som Lyse har tatt fra HSE også definerer en såkalt "nedre akseptgrense" for storulykker både med 1 000 drepte, og sågar 10 000 drepte. De nedre akseptgrensene som Lyse benytter betegnes ofte grenseverdi for neglisjerbar risiko. Hendelser med 1 000 drepte som forventningsmessig inntreffer sjeldnere enn hvert 10 millionte år betegnes neglisjerbar risiko. Dette er en verdivurdering som kanskje politikerne heller burde ta stilling til. I granskningsrapporten legges det nemlig fram andre akseptkriterier enn de HSE har fastsatt. For eksempel vises til nederlandske verdier, og verdier benyttet av NATO. Disse verdiene er betydelig strengere enn HSE kravene. En ulykke med 1 000 drepte som inntreffer oftere enn en gang per milliard år er i så måte grovt sett å betrakte som uakseptabel i hht NATO kriteriene og de nederlandske, mens de er i "grønt område" i henhold til HSE kravene. I og med at vi ofte ønsker at politikerne skal ta verdivalgene på vegne av samfunnet, ville det ikke vært unaturlig at f.eks. politikerne hadde tatt stilling til om HSE kravene er tilstrekkelig strenge, eller om man ønsker å benytte strengere krav på linje med tallene fra Nederland og NATO. SINTEF kjenner ikke til at offentlige instanser i Norge har gått inn i en slik verdidebatt¹³. Vi vurderer også at det kan være svært vanskelig for politikere, som ikke er fagpersoner innenfor risikostyring, å ta stilling til slike risikoakseptkriterier. SINTEF har presentert en diskusjon av problemstillingen i et foredrag på den nordiske konferansen om samfunnsrisiko arrangert av Forskningsrådet 1. og 2. september 2008 (Vatn m.fl 2008). Dette foredraget gir noen føringer som kan tas med i en slik prosess.

Diskusjonstema 2 Skal politikerne ta stilling til risikoakseptkriteriene og/eller den risikoen som blir beregnet?

Ut fra diskusjonen ovenfor står vi igjen med to prinsipielle spørsmål. Spørsmål 1 er om politikerne skal ta stilling til *risikoakseptkriterier* som virksomhetene (Lyse) benytter, og spørsmål 2 er om politikerne evt skal ta stilling til *beregnet risiko*?

Merk her at risikoakseptkriteriene er i prinsippet tilgjengelig tidlig i et prosjekt¹⁴. Den beregnede risikoen var ikke tilgjengelig da politikerne godkjente LNG-anlegget i forhold til reguleringsplanen. De endelige risikoberegningene som reflekterer det valgte design og sikkerhetsopplegg for LNG-prosessanlegget vil neppe være ferdig før anlegget nærmer seg ferdigstillelse. En slik sekvens mht når de ulike analysene foreligger må vi nok leve med i slike utbygginger. I så måte er det evt sterkere argumenter for at politikerne skal ta stilling til risikoakseptkriteriene, enn til beregnet risiko.

Slik SINTEF kjenner saken, har politikerne i sitt vedtak i forhold til reguleringsplanen uttrykt at de overlater til DSB å vurdere sikkerheten ved anlegget. Det kan derfor hevdes at politikerne har løpt fra sitt ansvar om å vokte sikkerheten. Men man kan på den andre siden også hevde at det er mer naturlig at lokale myndigheter overlater disse vurderingene til en fagetat slik som DSB. Det understrekes at det er stor prinsipiell forskjell på å vurdere (i) verdivalgene

¹³ Et unntak her er at DSB sammen med forsvaret har fastsatt risikoakseptkriterier for ammunisjonslager.

¹⁴ I forbindelse med LNG-anlegget synes det klart at risikoakseptkriteriene først ble kvantifisert som en del av arbeidet med den første kvantitative risikoanalysen utført av Advantica. Her ble derfor risikoakseptkriteriene ikke kommunisert til politikerne i Sola ved det tidspunktet godkjenning ble gitt i henhold til reguleringsplanen i JUNI 2006.

(risikoakseptkriteriene), (ii) og resultatene fra risikoanalysene, og (iii) usikkerheter og antagelser som ligger i disse.

Gitt at man velger å benytte risikoakseptkriterier i en formell setting slik NS 5814 krever, så kan en mulig tilnærming oppsummeres i følgende punkter:

- Risikoakseptkriterier etableres av utbygger/operatør. Disse kriteriene representerer utbygger/operatør sine verdivalg. Kriteriene defineres ikke på nytt fra utbygging til utbygging, og vil kun i helt spesielle tilfeller justeres ut fra spesifikke forhold ved den aktuelle utbyggingen. Risikoakseptkriterier fremlegges for lokale og sentrale myndigheter tidlig i prosjektet. Valgte risikoakseptkriterier begrunnes av utbygger.
- Lokale myndigheter vurderer risikoakseptkriteriene ut fra de kriterier som evt ligger i reguleringsplanen, andre risikoakseptkriterier som evt er definert på lokalt nivå osv.
- Lokale myndigheter kan ikke overprøve utbygger sine risikoakseptkriterier, men kan avvise utbygger sine planer dersom man ikke er tilfreds med utbyggers risikoakseptkriterier.
- Lokal godkjenning av den planlagte utbygging vil normalt ikke kunne basere seg på kvantitative risikoanalyser. Disse vil først være tilgjengelig på et senere tidspunkt, men den lokale godkjenningen kan sette som forutsetning at senere kvantitative analyser dokumenterer akseptabel risiko.
- Sentrale godkjenningsmyndigheter (DSB) vil ha større innsikt i å kunne vurdere faglig innhold i risikoanalysen. Det er derfor naturlig at DSB foretar nødvendig kvalitetssikring av analysene ved behov.

A2 - Følsomhetsanalyse mht valg av risikoakseptkriterier

I henhold til NS 5814 skal risikoakseptkriteriene settes før selve risikoanalysen starter. Tanken er at risikoakseptkriteriene som utgjør verdivalgene ligger fast uavhengig av hvilken risiko man finner ved gjennomføring av risikoanalysen. Som en del av risikovurderingene skal så den beregnede risikoen sammenholdes med risikoakseptkriteriene. NS 5814 indikerer ikke at man skal foreta følsomhetsanalyse med hensyn av valg av risikoakseptkriterier. Dvs det åpnes ikke for at man senere kan vurdere om man evt skulle valgt strengere, eller mildere risikoakseptkriterier. I granskningsrapporten legges det opp til at det skal foretas følsomhetsanalyse også for valg av akseptkriterier. Her vises det til at om man for eksempel la Nato-kriterier, eller de nederlandske verdiene¹⁵ til grunn, ville beslutningene kunne blitt annerledes. Det er derfor slik det her påvises at det av stor betydning hvilke risikoakseptkriterier som legges til grunn.

Diskusjonstema 3 Skal det utføres følsomhetsanalyse mht valg av risikoakseptkriterier?

Vinnem (2008) legger opp til at det bør gjennomføres en følsomhetsanalyse av valg av risikoakseptkriterier, han sier f.eks på side 40 i granskningsrapporten "..., må det forventes at myndigheter og andre som har samfunnssikkerhet som perspektiv gjør en bredere vurdering, og ser resultater opp mot alternative risikoakseptkriterier,...".

I henhold til argumentasjonen som ligger i NS5814 så er akseptabel risiko en risiko som aksepteres i en gitt sammenheng basert på gjeldende verdier i samfunnet og virksomheten. Det

¹⁵ Merk at det i Nederland ikke eksisterer lovpålagte risikoakseptkriterier. Lovgivningen angir såkalte "guide values" (ledende verdier) som Vinnem (2008) viser til i sin Figur 5 side 39. Fra forfatteren av fagartikkelen Vinnem viser til har SINTEF fått opplyst at de lokale myndighetene bruker de sentrale verdiene som et utgangspunkt, men kan endre disse ut fra lokale betraktninger. Det synes som man i Nederland også lar myndighetene sette akseptkriteriene, og ikke den enkelte virksomhet slik som i Norge.

finnes ingen støtte i NS5814 som tilsier at man skal ta en slik ”bredere vurdering” *etter* at akseptkriteriene er fastsatt, her av Lyse. Det kan være grunn til å diskutere valg av risikoakseptkriterier ved jevne mellomrom i lys av samfunnsutviklingen, utvikling av teknologi osv, men SINTEF kan ikke se at det finnes støtte for å revurdere risikoakseptkriteriene underveis *etter* at man har startet risikoanalysen. Merk at det i fagmiljøene er en diskusjon om hvorvidt man i det hele tatt skal ha fokus på risikoakseptkriterier, eller at man i stedet bør ha hovedfokus på risikoreduksjon i det såkalte ALARP området. Men dette er etter SINTEFs vurdering en annen diskusjon, gitt at man velger å legge f eks NS 5814 til grunn.

A3 – Akseptkriterier kun i forhold til konsekvens

I en del sammenhenger føres det argumentasjoner for at man kun skal se på konsekvensdimensjonen, og ikke vurdere sannsynlighet ved beslutninger om risiko. Det at det kan være en mulighet for en ulykke med svært mange døde er i seg selv et avgjørende kriterium for å avstå fra en virksomhet. I dialogmøtene SINTEF gjennomførte (se Sjöberg 2008) ble det argumentert for et slikt syn. Foreslått fremgangsmåte var da å se på det verst tenkelige scenarioet for å vurdere konsekvensen av dette. Dersom det kan tenkes et scenario med svært mange drepte ble det argumentert med at man da burde avstå fra virksomheten selv om sannsynligheten var lav. Vår vurdering er at en slik vurdering kan bli svært utfordrende dersom den skal legges til grunn for all arealplanlegging i Norge. I granskningsrapporten argumenteres det for at et slikt perspektiv ble lagt til grunn for en del tiår siden da kjernekraft var på dagsorden i Norge. Ut over dette kjenner vi ikke til at en ren konsekvensvurdering legges til grunn i slike situasjoner. En relatert argumentasjon er argumentasjonen til Charles Perrow i boken *Normal Accident* fra 1984. Argumentasjonen til Perrow er at systemer med tette koblinger og ikke-lineære koblinger mer og mindre er ”dømt” til å feile, og dersom konsekvensene er store bør man derfor avstå fra å utvikle slike systemer. Det hjelper ikke at man kan vise at sannsynligheten er lav så lenge systemet kjennetegnes ved to egenskaper som ikke ”går sammen”. Perrow fører her en slags argumentasjon for at ”sannsynlighetsargumentet” ikke gjelder, man må se på det Perrow oppfatter som fundamentale systemkarakteristikker, nemlig grad av kobling, og grad av kompleksitet (ikke-linearitet). Det er i Norge ikke noen forskrifter eller standarder som legger slike perspektiver eksplisitt til grunn. SINTEFs holdning er at både konsekvens og sannsynlighetsdimensjonen bør tas inn i beslutningsprosessen. Det kan imidlertid være mange måter å argumentere for sannsynlighetsdimensjonen. En eksplisitt synliggjøring av de barrierer og sikkerhetsfunksjoner som er i verksatt for å oppnå lav sannsynlighet, er et viktig aspekt. Et annet aspekt er vurderingen av i hvilken grad barrierene er uavhengige. I diskusjonen om LNG-anlegget har det vært svært mye fokus på spørsmålet om aksept eller ikke. Vi vil imidlertid påpeke at mht akseptproblematikken, er det også viktig å forholde seg til hvordan man hele tiden kan jobbe for å redusere risikoen. Det kan være ved å styrke barrierene, sørge for at de vedlikeholdes, jobbe aktivt for å redusere avhengigheter mellom barrierer, studere hvordan man kan ”løse opp” i forhold knyttet til tette-koblinger og ikke-lineære koblinger osv.

VEDLEGG B – RISIKOREGISTER

Nedenfor presenteres forslag til punkter som kan inngå i et risikoregister¹⁶. Dette er enkeltforhold som har kommet opp i løpet av SINTEFs arbeid uten at de nødvendigvis er diskutert i selve rapporten. Et risikoregister har ofte følgende kolonner:

1. Beskrivelse av risikoforholdet
2. Viktigheten av risikoforholdet (liten, middels, stor)
3. Hvilket tiltak som foreslås for å lukke forholdet (enten å gjøre et fysisk tiltak, gjøre nye analyser, innhente ny informasjon osv)
4. Styrbarhet (i hvilken grad kan man påvirke sannsynlighet og/eller konsekvens knyttet til risikoforholdet)
5. Ansvar (hvem er ansvarlig for å følge opp tiltaket)
6. Tidsfrist for tiltaket
7. Status for tiltaket/risikoforholdet

I Tabell 3 har SINTEF satt opp noen punkter vi mener det er viktig for Lyse å inkludere i sitt risikoregister. Vi foreslår også at risikoregisteret med *status* for hvert risikoforhold legges ved sikkerhetsrapporten som Lyse skal innsende for søknad til DSB om å igangsette anlegget. Vi forventer da at betydelig flere risikoforhold er tatt med i risikoregisteret som en del av Lyse sin ordinære risikostyring. Tidspunkt for når punktene kan lukkes må vurderes av Lyse som en del av standard risikostyring.

Merk at det er ulike måter man kan implementere ideen med et risikoregister. Her finnes løsninger fra enkle møtereferater med aksjonslister, til mer avanserte databaseløsninger. SINTEF tar ikke stilling til hvilken løsning man velger, men understreker viktigheten av at punkter ikke "faller ut" og blir glemt. Det er opp til Lyse å velge en løsning som fungerer godt i forhold til risikostyringskonseptene i selskapet.

Tabell 3 Forslag til punkter for inklusjon i risikoregister

Risikoforhold	Utfyllende kommentar	Tiltak	Merknad
1 - Manglende synliggjøring av ulykkeslaster	Eksisterende risikoanalyser synliggjør ikke ulykkeslastene som funksjon av ulike avstander fra LNG-anlegget. Dette er uheldig mht f eks arealplanlegging i området, og behov for evt spesielle tiltak slik som forsterkning av bygninger	Gjennomføre analyser som viser trykkbelastning og evt temperaturlastning for de mest kritiske risikoscenarioene	En slik analyse er gjennomført og resultatene ventes tilgjengelig i mai/juni 2009.
2 - Manglende synliggjøring av usikkerheter	Ingen av de to kvantitative risikoanalysene som er gjennomførte (Advantica og Linde) foretar en systematisk gjennomgang mht usikkerheter i parametervalg, størrelse på tid nødvendig for nedstengning osv.	I forbindelse med nye beregninger for trykkklaster, se punkt 1 ovenfor, bør det foretas en usikkerhetsanalyse/følsomhetsanalyse mht de viktigste antagelsene.	Usikkerhet er i dagens analyse delvis fanget opp ved at det f eks er lagt inn ulike fordelinger over lekkasjestørrelser, men det er vanskelig å se hva dette betyr for f eks størrelse

¹⁶ Ulike betegnelser benyttes for et risikoregister. For eksempel i jernbane benyttes begrepet farelogg (hazard log), se EN 50126.

Risikoforhold	Utfyllende kommentar	Tiltak	Merknad
			på utslipp.
3 - Usikkerhet angående store utslipp av LNG til sjø	I forskningslitteraturen henvises det til at det ikke er gjennomført utslipp med store mengder LNG til sjø. Modeller og "standardberegninger" er derfor basert på ekstrapolasjon av resultater fra empiriske forsøk. SANDIA har opplyst om at de planlegger å gjennomføre storskala forsøk for å øke kunnskapen på området.	Følge med i forskningslitteraturen for å se om det publiseres resultater fra større utslipp av LNG til sjø	Ved store "overraskelser" i disse forsøkene som planlegges av SANDIA, bør relevante deler av risikoanalysen oppdateres.
4 - Manglende analyse av risikoen i forbindelse med påkjørsel av et LNG skip som ligger og laster	Dette risikoforholdet er ikke kvantifisert i eksisterende analyser. En kvantifisering vil være nyttig i forhold til å vurdere risikoreduserende tiltak, primært i forhold til sannsynlighetsreduksjon, men evt også i forhold til konsekvensreduserende tiltak	Gjennomføre en kvantitativ analyse av forholdet.	DNV har gjennomført en slik analyse, og punktet er i så måte lukket, se DNV (20009)..
5 – Kontroll system for eksport av LNG til skip/lastebiler	Med utgangspunkt i oljeutslippet fra Statfjord desember 2007 som varte i nesten to timer da tankskipet «Navion Britannia» lastet om bord råolje fra en lastebøye på Statfjordfeltet 12. desember 2007 er det viktig å sikre at en lekkasje fra eksportsystemet fra LNG-tanken er sikret mot slike hendelser.	Gjennomføre en HAZOP lignende analyser for å identifisere mulige årsaker til at man ikke oppdager en lekkasje under eksport til lastebiler eller LNG skip. Ut fra dette vurderes evt tiltak, f eks overvåking av trykk/flyt på kritiske punkter på eksportlinja.	
6 - Etablering av et vedlikeholdsprogram	Mange ulykker kan skrives tilbake til dårlig eller manglende vedlikehold. Anerkjente metoder for etablering av forebyggende vedlikeholdsprogrammer er pålitelighetsstyrt vedlikehold (RCM) og risikobasert inspeksjon (RBI). For sikkerhetskritiske systemer er også metoden beskrevet i App. F i OLF guideline 70 relevant. Se også storulykkesforskriften Vedlegg III, punkt 3.3. hvor det stilles krav til dokumentasjon av vedlikehold.	Før anlegget settes i drift må det etableres et vedlikeholdsprogram. I utgangspunktet forventes at RCM og RBI er metoder som vil bli benyttet. For sikkerhetssystemer forventes at OLF guideline 70 (2004) legges til grunn. Ved avvik fra dette bør det dokumenteres hvorfor man velger andre tilnærminger	Fra andre prosjekter SINTEF er engasjert i, er Lyse kjent som et selskap som er "over middels flink" på vedlikeholdsstyring.
7 - Oppfølging av etterslep i vedlikehold	Erfaring viser at mange selskaper har stort etterslep i vedlikeholdet (backlog). Dette kan utgjøre en trussel for sikkerheten.	Etablere et opplegg for å følge opp etterslep i vedlikeholdet. Et viktig grunnlagsarbeid for dette er å foreta en klassifisering av utstyr og komponenter slik at oppfølging av etterslep avhenger av kritikalitet.	
8 - Håndtering av eskalerende	I den såkalte Advantica rapporten ble det understreket at	Påse at det er foretatt en systematisk analyse av de	

Risikoforhold	Utfyllende kommentar	Tiltak	Merknad
hendelser	det ikke var utført analyser mht eskalering av hendelser, dvs at en hendelse kan forsterkes ved at ulykkeslaster fra den første hendelsen starter en annen hendelse.	viktigste scenarioene hvor eskalering vurderes som et problem.	
9 – Kompetansekrav og oppfølging	Gjennom dialogprosessen er det avdekket en frykt for at Lyse ikke lykkes med å skaffe tilstrekkelig kompetanse for å kunne drive anlegget trygt.	Som en del av styrende dokumentasjon for anlegget i en driftsfase bør det synliggjøres kompetansekrav. Ved jevne mellomrom i driftsfasen bør det også gjennomføres en statusvurdering mht om kompetansekravene er oppfylt.	StatoilHydro har fått utviklet en metode for å måle ”operasjonell tilstand sikkerhet” (OTS). OTS kan være en av flere mulige maler for et slikt arbeid. OTS har et noe bredere omfang hvor kompetanse kun er ett aspekt ved operasjonell tilstand.
10 - System for rapportering av hendelser	Som en del av god praksis for sikkerhetsstyring forventes at Lyse etablerer et system for intern rapportering og oppfølging av tilløp og ulykker. I hht storulykkesforskriften § 13 – ”Opplysninger som virksomheten skal fremlegge etter storulykke” er det også visse minimumskrav som her stilles mht rapportering til myndigheter.	Foreta en avklaring med DSB om hvilke hendelser som skal rapporteres, og hvilken informasjon som skal utveksles med myndighetene. Det bør også avklares hvilke trendkurver osv som årlig bør oversendes myndighetene. Jf. prosjektet RNNP.	
11 - Oppfølging av status på sikkerhetssystemer	Som en del av RNNP prosjektet rapporterer selskapene i petroleumsvirksomheten status på sikkerhetssystemene. Status på sikkerhetssystemer vurderes svært viktig som en del av risikostyringen, jf. Texas City ulykken (CSB, 2006)	Etablere et system for å følge opp status på sikkerhetssystemer. Minimumskravet her er at resultatene fra utførte funksjonstester av sikkerhetssystemer brukes til å verifisere at opprinnelige sikkerhetskrav er tilfredsstillt, typisk SIL krav ¹⁷	
12 - Informasjon om beredskapsarbeidet	I dialogmøtene var det mange som etterspurte informasjon om beredskapsplanene.	Etablere beredskapsplaner, og diskutere/utveksle disse med relevante parter. Det betyr primært de virksomheter som man eksplisitt vil samarbeide med, de virksomheter i området som evt vil utvikle sine egne beredskapsplaner. For sivilbefolkningen vil det	Arbeidet med beredskapsplan er startet våren 2009

¹⁷ SIL = Safety Integrity Level. Krav til sikkerhetssystemer, se f eks IEC 61508 og OLF Guideline 70.

Risikoforhold	Utfyllende kommentar	Tiltak	Merknad
		være snakk om å evt kommunisere planer for bruk av evt lydsignaler, sms osv ved alvorlige uhell.	
13 - Fortløpende vurdering av risikoreduserende tiltak	I følge ALARP prinsippet skal man for alle ulykkesscenarioer forsøke å identifisere relevante risikoreduserende tiltak. Tiltakene skal iverksettes såfremt de ikke er uhensiktsmessige eller urimelig kostbare i forhold til sikkerhetsgevinsten de gir.	Fortløpende vurdering av risikoreduserende tiltak	Det må grunngis hvorfor foreslåtte tiltak som ikke iverksettes avvises, f eks ved en kostnads-vurdering.

VEDLEGG C – ENKEL RISIKOANALYSE FOR SKIPSKOLLISJON

I forbindelse med byggingen av LNG anlegget i Risavika er det reist kritikk mot kvaliteten-/relevansen av risikoanalyser for transport av LNG ut fra Risavika med skip (Vinnem, 2008). SINTEF har derfor foretatt en grov risikovurdering av dette med utgangspunkt i fem scenarioer. Disse scenarioene er kort beskrevet og rangert mht risiko. Den kvantitative beregningen er begrenset til risikoscenarioet knyttet til at et LNG skip på veg ut fra Risavika kolliderer med et annet skip på veg inn. Bakgrunnen for at dette scenarioet er valgt er at dette scenarioet vurderes til å representere det største risikobidraget for tredjeperson.

Det understrekes at vurderingene nedenfor er svært grove, og er kun tatt med for å indikere størrelsesorden på risikobidraget fra en mulig skipskollisjon. Analysen ble gjennomført høsten 2008 fordi det på dette tidspunkt ikke forelå noen kvantitative analyse av risikobidraget fra skipstrafikken. På oppdrag fra Lyse har DNV gjennomført en grundigere analyse av et av risikoscenarioene knyttet til skipstrafikk (DNV 2009). Denne rapporten kan lastes ned fra Lyse sin hjemmeside, www.lyse.no.

C1 – Relevante risikoscenarioer

Påkjørsel av LNG skip som ligger og laster LNG

Når et LNG skip ligger og laster LNG har skipet liten mulighet for å kunne forflytte seg dersom et annet skip på en eller annen måte mister kontrollen og kjører inn i LNG skipet. Da LNG skipet ligger ved kai nært ferjeterminalen vil dette scenarioet trolig være det mest alvorlige når det gjelder storulykkesrisiko dersom ulykken skulle inntreffe, jf. Linde (2008) sin QRA. Sannsynligheten for påkjørsel vurderes lav sammenlignet med sannsynligheten for at et LNG skip kolliderer ved inn- eller utseiling. Det vises også til at DNV gjennomfører en eksplisitt analyse av dette scenarioet.

Kollisjon mellom LNG skip og annet skip når et fullastet LNG skip er på vei ut fra LNG-anlegget

Når et LNG skip er på vei ut vil skipet være lastet med LNG og således representere en stor risiko i tilfelle sammenstøt med annet skip. I forhold til når et skip anløper Risavika, så vil det nå være lettere å legge operative begrensninger til grunn, f.eks. seilingsforbud ved tåke, sterk vind/strøm og/eller grov sjø. Det betyr at sannsynligheten for kollisjon vurderes lavere enn ved innseiling, men konsekvensene er betydelig større da skipet nå er fullastet med LNG. Dette scenarioet vil bli analysert i senere avsnitt.

Grunnstøting av fullastet LNG skip som er på vei ut fra LNG-anlegget

Også dette scenarioet karakteriseres ved at skipet er fullastet, noe som gir høyere risiko enn ved anløp. Også her kan sannsynligheten begrenses betydelig ved å legge operative begrensninger for utseiling i dårlig vær, ved tett tåke med mer. Wiik og Tveiten (2006) refererer til at "reelle ulykker viser at LNG lekkasjer av betydning aldri har forekommet ved grunnstøting". I en artikkel av Pitblado m.fl. (2004) refereres det også til at det har vært to grunnstøtinger med LNG skip hvor hastigheten har vært over 12 knop, og ingen av disse ga lekkasje av LNG. At et LNG skip på veg ut fra Risavika skulle kunne oppnå en hastighet på over 12 knop den første delen av utseilingsruta etter lasting vurderes som svært lite sannsynlig. Risikoen ved dette scenarioet vurderes lavt i forhold til f.eks. et kollisjonsscenario.

Kollisjon mellom LNG skip og annet skip når et tomt LNG skip anløper LNG-anlegget

Risikoen vurderes i utgangspunktet svært lav fordi LNG skipet er tomt. Selv om det vil være rester av LNG ved anløp er mengdene så små at det trolig ikke vil representere noen betydelig storulykkesrisiko.

Grunnstøting av tomt LNG skip som anløper LNG-anlegget

Risikoen her vurderes også lav på linje med scenarioet ovenfor.

I avsnittene som følger foretas en grov kvantitativ analyse av kollisjonsscenarioet hvor et LNG skip er på vet ut fra Risavika.

C2 - Ulykkesfrekvenser - kollisjon

En rekke studier er gjennomført for å fastsette ulykkesfrekvenser for skipstrafikk. Det er i hovedsak tre tilnærminger som er vanlig når kollisjonsrisiko mellom skip skal beskrives:

1. Kollisjonsfrekvens per skipsår (evt per anløp til havn)
2. Kollisjonsfrekvens per km (evt per nautisk mil)
3. Kollisjonssannsynlighet per passering av møtende/kryssende skip

De fleste studier som er gjennomført synes å fokusere på punkt 1 og 2 ovenfor, mens for situasjonen i Risavika synes det å være punkt 3 som er mest relevant.

I Norge ble det på nititallet gjennomført en omfattende studie av risiko ved fergetrafikk (Hokstad m.fl, 1997). Med utgangspunkt i denne studien ble det bestemt at alle fergesamband i Norge skal årlig rapportere status på risikofaktorer. I forbindelse med dette arbeidet utgis årlig en risikorapport for fergesambandene i Norge. Siden dette arbeidet ble startet opp er beregnet risiko halvert for ulykkestypen kollisjon som vurderes nedenfor (Norddal, 2007). Tallene som her gjengis fra fergestudien er fra midt på nittitallet, slik at risikoen i dag er lavere pga bedre navigasjonsutstyr osv. Tabell 4 viser eksponeringsdata for fergetrafikk, mens Tabell 5 viser antall ulykker per år for de ulike ulykkestypene, samt beregnet risiko per fergetur, per km, og per skipsår.

Tabell 4 Eksponeringsdata fergetrafikk i Norge (Hokstad m.fl., 1997)

Antall samband totalt	146
Antall ferger	180
Trafikkvolum i antall fergeturer per år	1.9 millioner
Trafikkvolum i antall fergekilometer per år	13.5 millioner
Gjennomsnitt antall km per ferge per år	75.6 tusen
Gjennomsnitt antall fergeturer per samband per år	13 tusen

Tabell 5 Ulykkesfrekvenser for ferger (Hokstad m.fl, 1997)

Ulykkestype (Scenario)	Antall uhell/ulykker per år	Risiko per tur	Risiko per skipsår	Risiko per km
Kollisjon overfart	5.0	2.6×10^{-6}	2.8×10^{-2}	3.7×10^{-7}
Kollisjon fergeleie	50.5	2.7×10^{-5}	2.8×10^{-1}	3.7×10^{-6}
Grunnstøting	14.5	7.6×10^{-6}	8.1×10^{-2}	1.1×10^{-8}
Tap av stabilitet	0.5	2.6×10^{-7}	2.8×10^{-3}	3.7×10^{-8}
Brann	0.83	4.4×10^{-7}	4.6×10^{-3}	6.1×10^{-8}

DNV laget en omfattende rapport som belyste kollisjonsrisiko ved fergetransport på nititallet (Spounge, 1996). Her ble det både presentert analytiske beregningsmåter for kollisjonsrisiko, samt relevant statistisk materiale.

Tabell 6 viser ulykkesfrekvenser for ulike typer fartøy. For ferger ser vi at risikoen i Norge er noe større enn risikoen på verdensbasis, jf Tabell 5. Historiske verdier ligger imidlertid i samme størrelsesorden for Norge og internasjonalt. Oljetankere som kanskje best kan sammenlignes med LNG skip har noe høyere risiko enn ferger og lastefartøy.

Tabell 6 Ulykkesfrekvenser, ulike typer fartøy (Spounge, 1996)

Type fartøy	Risiko per nautisk mil	Risiko per km
Ferjer	3.0×10^{-7}	1.6×10^{-7}
Lasteskip	4.4×10^{-7}	2.4×10^{-7}
Oljetankere	9.5×10^{-7}	5.1×10^{-7}
Alle fartøy	5.0×10^{-7}	2.7×10^{-7}

For oljetankere er det presentert tall for ulike ”typer” risiko, se Tabell 7. For alle oljetankere som inngår i datamaterialet forekommer en kollisjon grovt sett en gang per 10 000 anløp til havn. Dersom risikoen ved seiling inn til havn er like stor som seiling ut fra havn tilsier dette en kollisjon en gang per 20 000 utseilinger.

Tabell 7 Kollisjoner oljetankere (Spounge, 1996)

Risikoelement	Frekvens
Per nautisk mil på sjø	6.7×10^{-9}
Per km i farvann med begrensninger	2.1×10^{-6}
Per anløp i havn	9.9×10^{-5}
Per skipsår	3.3×10^{-3}

Vanem m.fl (2007) har presentert en risikomodell for LNG skip. Denne studien er kanskje mest relevant for situasjonen i Risavika. Studien til Vanem m.fl (2007) presenterer imidlertid ikke noen modell for risiko knyttet til spesielle deler av seilingsruten, slik som f eks DNV studien gjør.

Tabell 8 Ulykkesfrekvenser, LNG skip (Vanem m.fl, 2007)

Ulykkestype	Antall hendelser per år per skip
Kollisjon	6.7×10^{-3}
Grunnstøting	2.8×10^{-3}
Kontakt mellom skip	2.8×10^{-3}
Brann og eksplosjon	1.8×10^{-3}
LNG lekkasje ved lasting/lossing	3.2×10^{-3}

Kollisjonsfrekvensen per år for et LNG skip er noe høyere enn for en oljetanker (Spounge, 1996), men i samme størrelsesorden. Risikoen per år er noe lavere enn for innenriks ferjer (Hokstad m.fl, 2007).

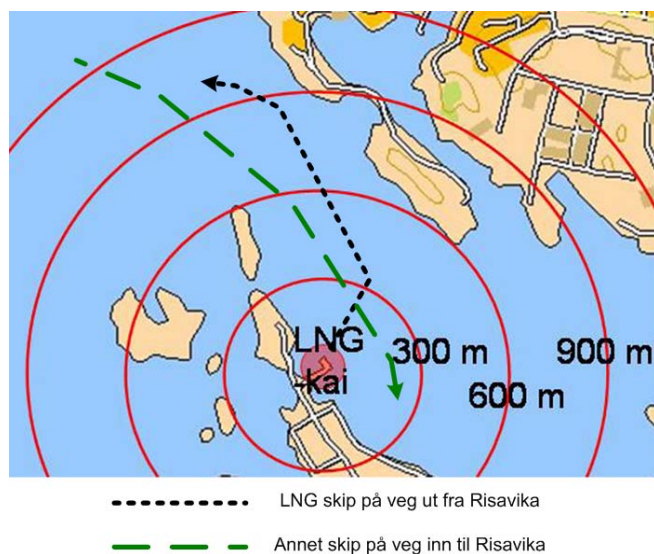
Det statistiske grunnlaget viser en rimelig konsistens, selv om det er noe variasjon. For problemstillingen i Risavika er det imidlertid ikke kollisjonsfrekvens per år per skip som er av interesse, men sannsynligheten for kollisjon på veg ut fra LNG-anlegget. Spounge (1996) refererer til enkle modeller for å beregne kollisjonsfrekvens i forhold til antall andre møtende eller kryssende skip. For å bruke slike modeller trenger man sannsynlighet for kollisjon per ”passering”. Tabell 9 viser sannsynlighet for kollisjon per passering for ulike typer sammenstøt, samt for ulike siktforhold. Da studien til Spounge (1996) og Vanem m.fl (2007) er rimelig konsistente når det gjelder historiske verdier synes det derfor rimelig å kunne ta utgangspunkt i Tabell 9 fra Spounge (1996) for å beregne risiko ved utseiling fra LNG-anlegget.

Tabell 9 Sannsynlighet for kollisjon per passering (Spounge, 1996)

	Møtekollisjon	Kryssing	Forbikjøring
God sikt	6.2×10^{-6}	4.9×10^{-6}	6.4×10^{-6}
Tåke/yr o.l	8.8×10^{-5}	1.4×10^{-5}	9.0×10^{-5}
Tett tåke uten trafikkovervåking	2.8×10^{-3}	2.1×10^{-3}	1.1×10^{-3}
Tett tåke med trafikkovervåking	2.9×10^{-4}	6.3×10^{-4}	3.5×10^{-4}

I Risavika vil det være trafikkovervåking fra Trafikksentralen på Kvitsøy som overvåker og regulerer all trafikk. Dersom man antar 10 dager med dårlig sikt, og to dager med tett tåke per år vil gjennomsnittlig kollisjonsfrekvens *per passering* bli 10^{-5} for møtekollisjoner. For kryssing er denne sannsynligheten noe lavere. Sannsynligheten for kollisjon ved forbikjøring totalt sett er betydelig lavere enn for en møtekollisjon her fordi det er svært få skip som vil bli forbikjørt. Det er også relativt sett få skip som man vil krysse i forhold til de skip som man møter på veg ut. Figur 6 viser en prinsippskisse for inn og utseiling fra Risavika. Dersom man legger høgreregelen til grunn, ser vi fra Figur 6 at det er en risiko for å kunne bli påkjørt på veg ut fra Risavika med et fullastet LNG skip. Andel av kritisk utseilingsrute hvor et LNG skip på veg ut er eksponert mht å bli påkjørt fra siden (90° vinkel) vurderes til 20%

Losloven og losliktforsriften bestemmer at alle skip over 500 Bt. (Målerregel. 1969) er lospliktige (Øhman, 2008) i dette farvannet.


Figur 6 Prinsippskisse, inn og utseiling til Risavika

En evt kollisjon med påfølgende lekkasje av LNG som driver mot land vil være mest kritisk i den første opp til en nautisk mil. På vegen ut vil et LNG skip passere ganske nært alle skip på veg inn som er i en avstand på en nautisk mil fra LNG-anlegget på det tidspunkt LNG skipet forlater LNG-anlegget. Også skip som er i en avstand to nautisk mil fra LNG-anlegget vil bli passert ved utseiling dersom de følger samme innseilingsled som LNG skipet følger ut. Seilingshastigheten inn til Risavika er oppgitt til å være (tommelfingerregler, ref Øhman, 2008)):

- 1.0 naut mil før kan en ha 10 knop
- 0.5 naut mil før kan en ha 5 knop
- 0.3 naut. mil før kan en ha 3 knop
- Når en nærmer seg kai er 2.5 knop en gunstig hastighet

Antall skipsanløp er anslagsvis mellom 10 til 15 anløp pr døgn med store variasjoner fra dag til dag (Øhman, 2008). Det forventes en økning i lastemengden, men antall skip forventes å øke noe mindre. I beregningen settes derfor antall skipsanløp til 15 per dag. For et skip som er på veg inn til Risavika vil den siste nautiske milen være mest kritisk. Sannsynligheten for at et skip som anløper Risavika en vilkårlig dag er i området null til en nautisk mil fra LNG-anlegget i det tidspunktet et evt LNG skip er på veg ut er da vurdert til: $1 \text{ nautisk mil} / 5 \text{ knop} \times 1/24 \text{ timer} = 1/120$. Tallet blir noe større om man også tar med skip som er opp til to nautiske mil fra Risavika i det et LNG skip er på veg ut, men sannsynligheten for at et slikt skip vil krysse kursen til LNG skipet er betydelig mindre. Dersom det anløper 15 skip per dag, blir sannsynligheten for at LNG skipet møter et skip på veg ut lik $1/120 \times 15 = 0.125$. Vi har her forutsatt en seilingshastighet på 5 knop i snitt. Dersom vi videre forutsetter 75 utseilinger med LNG skip per år, vil det være i størrelsesorden 10 møter mellom et LNG skip på veg ut, og et annet skip på veg inn per år.

Ved å ta utgangspunkt i kollisjonssannsynlighetene gitt i Tabell 9 og diskusjonene i etterkant av tabellen, blir da årlig kollisjonsfrekvens i "kritisk" område $10 \times 10^{-5} = 10^{-4}$, eller ca 10 000 år mellom hver kollisjon i snitt.

Merk at ved å benytte "beregningsmodellen" skissert ovenfor er kollisjonssannsynligheten per utseiling med et LNG skip lik $10^{-5} \times 0.125 \approx 10^{-6}$, som er 50 ganger lavere enn Tabell 7 indikerer¹⁸. Grunnen til en lavere sannsynlighet her, er trolig at det er færre skip i innseilingen til Risavika enn i de havner som danner det statistiske grunnlaget for Tabell 7.

For å oppsummere så har vi sett på tre ulike tilnærminger for å fastsette sannsynligheten for kollisjon per utseiling:

1. Generell kollisjonsfrekvens per km i norske farvann (fra Hokstad m.fl. 1997), eller internasjonalt (Spounge, 1996) som gir en kollisjonsfrekvens i størrelsesorden 5×10^{-7} . En slik vurdering tar ikke inn antall møtende skip.
2. Generell kollisjonsfrekvens per anløp til kai (Spounge, 1996 og LIMS, (Linde, 2008)) tilsier en kollisjonsfrekvens per utseiling i området $2 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-5}$. En slik tilnærming tar heller ikke inn antall møtende skip.
3. En eksplisitt beregning av antall skip som møtes i løpet av kritisk utseilingsrute multiplisert med kollisjonssannsynligheter per passering som gir en kollisjonssannsynlighet på 10^{-6} per utseiling.

Vi har her lagt tilnærming 3 til grunn.

C3 – Sannsynlighet for at en kollisjon gir lekkasje

I Sandia studien (2004) er det vist sammenhenger mellom størrelsen på et eventuelt hull i et LNG skip som blir påkjørt og hastighet/vekt på det skipet som kjører inn i LNG skipet. Tabell 10 viser arealstørrelse på et evt hull (kvadratmeter). Feltene med lysegrønn bakgrunn og verdi "0" representerer kombinasjoner hvor det vurderes at det ikke blir noe hull. I følge Pitblado m.fl (2004) er tallene konservative (pessimistiske).

¹⁸ Kollisjonssannsynlighet per anløp, hvor vi har antatt at halvparten av kollisjonene skjer på vei inn, og halvparten på veg ut. LIMS databasen (Linde, 2008) bruker her en kollisjonssannsynlighet på en per 27 000 anløp, dvs tre ganger så lavt.

Tabell 10 Hullstørrelse (m²) som funksjon av hastighet og størrelse på skip som kjører inn i LNG skipet (Basert på Sandia 2004)

tonn→ ↓knop	20 000	30 000	40 000	50 000	60 000	70 000	80 000	90 000	100 000
3	0	0	0	0	0	0	0	0.8	1.5
3.5	0	0	0	0	0.1	1.2	2.2	3.3	4.4
4	0	0	0	0.7	2.1	3.5	4.9	6.3	7.7
4.5	0	0	0.8	2.5	4.3	6.1	7.8	9.6	11.4
5	0	0.2	2.4	4.6	6.8	9.0	11.2	13.4	15.5
5.5	0	1.6	4.3	6.9	9.5	12.2	14.8	17.5	20.1
6	0	3.1	6.3	9.4	12.6	15.7	18.9	22.0	25.2
6.5	1.1	4.8	8.5	12.2	15.8	19.5	23.2	26.9	30.6
7	2.2	6.5	10.8	15.1	19.4	23.7	28.0	32.3	36.5
7.5	3.5	8.4	13.4	18.3	23.2	28.1	33.0	38.0	42.9
8	4.9	10.5	16.1	21.7	27.3	32.9	38.5	44.1	49.7

For at et LNG-skip som blir påkjørt skal få en lekkasje kreves at skipet som kjører på LNG-skipet har stor massefart (hastighet $\times$ vekt) og at det treffer LNG-skipet omtrent med 90° vinkel. Ved å se på utseilingsruten i Figur 6 vurderes kun en av fem kollisjoner å representere en slik kritisk vinkel. Totalt antall kritiske kollisjoner er da $10^{-4} \times 0.2 = 2 \times 10^{-5}$ per år. Med utgangspunkt i typiske innseilingshastigheter er det bare store skip¹⁹ som representerer en fare mht lekkasje (gjennomtrekning av selve LNG tankene). Et skip på kollisjonskurs forventes også å kunne redusere farten noe før en evt påkjørsel. I beregningene nedenfor er det antatt²⁰ at kun 10% av skipene som evt kjører på LNG-skipet har tilstrekkelig massefart til å kunne laget et hull i en av LNG tankene og dermed resultere i en lekkasje. Totalt gir dette en lekkasjesannsynlighet på $2 \times 10^{-5} \times 0.1 = 2 \times 10^{-6}$ per år, eller i snitt en kollisjon som gir lekkasje per 500 000 år. I beregningene nedenfor har vi lagt et enda mer konservativt (pessimistisk) anslag til grunn, dvs en lekkasjesannsynlighet på 10^{-5} (i snitt en per 100 000 år). Merk at det på verdensbasis har vært ca 100 000 anløp av LNG skip til havn uten at det har vært lekkasje per dags dato (Pitblado m.fl, 2004).

C4 – Scenario med umiddelbar antennelse (brannscenario)

Dersom et LNG skip på veg ut fra Risavika skulle bli påkjørt, og dette resulterer i lekkasje fra en av LNG tankene er det to mulige scenarioer man ser for seg. Enten antennes fordampet LNG mer eller mindre umiddelbart pga mekanisk energi eller andre antennelseskilder om bord på et av skipene, eller så får man en lekkasje som ikke antennes og det vil dannes en gass-sky av LNG som vil drive av sted med vindretningen. Vi vil først analysere situasjonen hvor LNG antennes mer eller mindre umiddelbart. Vanem m.fl (2007) vurderer sannsynlighet for umiddelbar antennelse og brann til 90%. Vi legger også denne sannsynligheten til grunn i videre beregninger. En rekke publikasjoner finnes som både gir metodiske tilnærminger som kan benyttes til beregninger, og generiske beregninger (eksempelberegninger) for konsekvensene gitt ett utslipp av LNG:

1. Sandia (2004). Guidance on Risk Analysis and Safety Implications of a Large Liquefied Natural Gas (LNG) Spill Over Water

¹⁹ F eks MS Prinsesse Ragnhild har en tonnasje på 35 855 BRT og vil med en hastighet på 5 knop kunne påføre et hull på opp til en kvadratmeter i hht Tabell 10.

²⁰ Her er det mulig å finne et bedre anslag ved å foreta en opptelling, og evt også fartsmålinger i innseilingsleden. DNV gjennomfører nå en studie på oppdrag av Lyse hvor DNV har opplyst at de vil foreta en opptelling av hvor mange skip som har vekt stor nok til å kunne trenge gjennom et LNG skip som ligger til kai.

2. United States of America Federal Energy Regulatory Commission (FERC): Notice of availability of staff's responses to comments on the consequence assessment methods for incidents involving releases from liquefied natural gas carriers - Docket No. AD04-6-000
3. Journal of Hazardous materials. En rekke publikasjoner.

Nedenfor har vi basert oss på eksempelberegninger fra punkt 2 ovenfor. Ved en evt brann er det mest kritisk med sterk vind fra LNG-skipet mot Tananger sentrum da dette gir høyest varmeutvikling i Tananger. Følgende antagelser er lagt til grunn:

- Halvparten²¹ av en av to tanker tømmes, dvs 2 500 m³
- Diameter på hull = 1.2 meter
- Hydrostatisk trykk ved utløp fra LNG tanken svarende til 8 meter LNG-søyle
- Vindhastighet mot Tananger = 9 m/s (Frisk bris)

Med disse antagelsene finner vi en eksempelberegning som kan benyttes. Resultatene fra beregningseksemplet fra FERC (referanse 2 ovenfor) gir²²:

- Tanken tømmes på 10 minutter ($\approx$ varighet av brannen)
- Maksimum radius LNG-dam på sjø $\approx$ 100 meter
- Initiei flyt ut = 3 900 kg per minutt, avtar lineært
- Intensiteten på brannen vil derfor også avta raskt etter hvert

I beregningene har vi videre lagt til grunn følgende sannsynligheter relatert til konsekvens etter en eventuell lekkasje:

- Sannsynlighet for umiddelbar brann = 90%
- Sannsynlighet for sterk vind²³ (som er mest kritisk) = 60%
- Sannsynlighet for "ugunstig vindretning" (mot Tananger) = 20 %

Noe som betyr at frekvensen av brannscenarioet blir $10^{-5} \times 0.9 \times 0.6 \times 0.2 \approx 10^{-6}$ per år, eller en million år mellom hver gang i snitt. Figur 7 viser en prinsippskisse for en brann, og hvordan varmeutviklingen brer seg (skravert område).



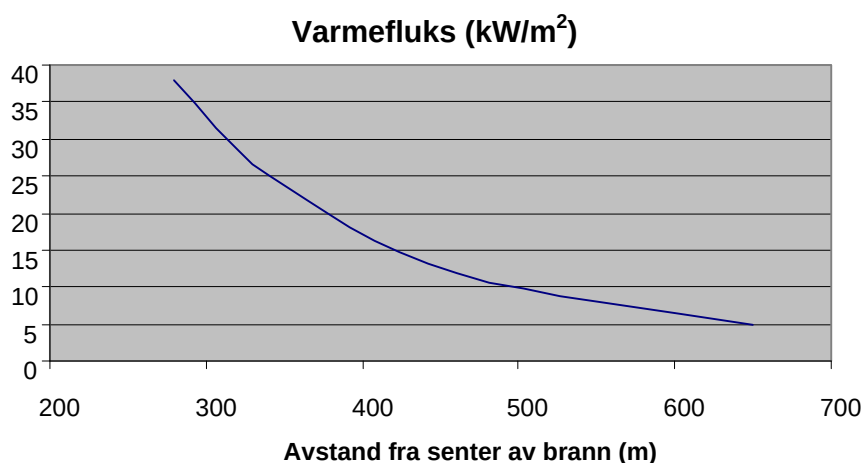
Figur 7 Brannscenario - skipskollisjon

²¹ I det fleste beregninger som det refereres til i litteraturen antas at ca halvparten av innholdet i en tank vil renne ut. Vi antar her at det er to tanker hver med volum 5 000 m³ i hver tank.

²² I eksempelberegningene er det lagt til grunn utslipp av 12 500 m³ med noe mindre hullstørrelse. Vi har derfor benyttet litt større hull i tanken for å få omtrent samme utslipp i første fase av brannen. Varigheten blir da betydelig kortere enn i eksempelberegningen.

²³ Værdata fra Linde (2008) sin QRA er lagt til grunn.

En brann for dette scenarioet vil gi en svært sterk varmeutvikling nært utslippet, og varmekraften avtar som funksjon av avstand i hht Figur 8.



Figur 8 Maksimum varmestraling fra brannen (fra eksempelberegningene)

For å se hva en slik varmekraft representerer mht dødssannsynlighet refereres ofte til kombinasjonen varmekraft og tid. Typiske kombinasjoner som gir 1% dødelighet:

- 10 kW/m² i 20 sekunder
- 5 kW/m² i 50 sekunder

Typiske kombinasjoner som gir 50% dødelighet:

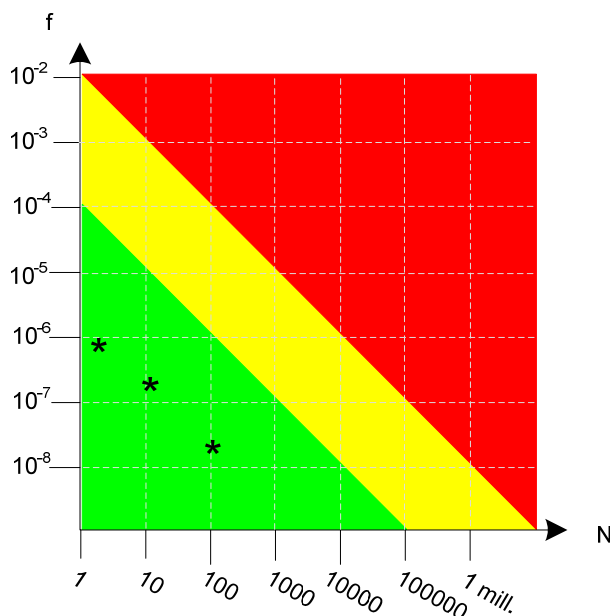
- 10 kW/m² i 50 sekunder
- 5 kW/m² i 2 minutter

Ved å kombinere disse verdiene med Figur 8 ser vi at ved avstand 500 meter fra senter av brannen vil i snitt litt over halvparten av eksponerte personer som ikke kommer i sikkerhet i løpet av ett minutt omkomme. Her antas at det er trygt å være inne i et hus eller en bil. Varigheten av brannen er kun 10 minutter, så det vurderes lite sannsynlig at et hus vil begynne å brenne av varmeutviklingen, selv om det her ikke er foretatt beregninger på dette. Scenarioet med sterk vind vil også trolig bety at få personer oppholder seg nært sjøen eller utendørs generelt.

En grov vurdering av antall drept for dette scenarioet er vist i Tabell 11:

Tabell 11 Fordeling av antall drept for brannscenarioet

Antall drept	Sannsynlighet
1-5	Høy sannsynlighet
I størrelsesorden 10	20 %
I størrelsesorden 100	2 %



Figur 9 Synliggjøring av risiko for brannscenarioet i et f-N diagram

Figur 9 viser risiko for brannscenarioet satt inn i et f-N diagram. Med de valgte risikoakseptkriteriene er risikoen godt nede i grønt område.

Vi har her ikke foretatt noen vurdering av usikkerheter knyttet til antagelser osv. Et forhold som kan være av betydning er størrelsen og varigheten av brannen. Varigheten er i hovedsak relatert til hvor lang tid det tar å tømme halvparten av den tanken som har sprunget lekk. Tabell 12 viser tømmetiden som funksjon av hullstørrelsen. Selv om Tabell 10 viser en direkte sammenheng mellom massefart og hullstørrelse er det grunn til å anta en stor variasjon for en gitt massefart. Dersom hullet skulle bli for eksempel 3 meter i diameter, og ikke ca 1 som er antatt i vårt eksempel ser vi at tømmetiden er kun en tidendepart. Dette vil gi en sterkere maksimum varmeffluks, men varigheten er kortere. Det er ikke foretatt noen vurdering av hva det betyr for antall omkomne.

Tabell 12 Tid for å tømme 2500 m³

Diameter (m)	Areal (m ²)	Varighet (min)
1	0.8	13
2	3.1	3
3	7.1	1

C5 – Scenario uten antennelse (lekkasjesenario)

Det er vurdert 90% sannsynlig at en lekkasje vil antennes mer eller mindre umiddelbart. I 10% av tilfellene vil lekkasjen ikke antennes, og det vil danne seg en dam med LNG på sjøen som vil fordampe og kunne bevege seg inn over land. Mht storulykkesrisiko vurderes dette som verre enn brannscenarioet. Før vi ser på beregningene gjengis noen fakta om LNG som er relevant for et slikt lekkasjesenario:

- LNG lagres ved temperatur ca -162 °C (både i skip, lastebiler og selve LNG tanken).
- Ved høyere temperatur enn -162.2 °C går den flytende væsken over til gass.
- LNG i gassform er tyngre enn luft opp til -108 °C hvor den blir lettere enn luft.

- Dersom det dannes en gass-sky som driver i svak vind vil oppvarmingen være begrenset, og kun en liten del av gassen vil stige til værs, og resten av skyen vil drive langs bakken eller sjøen.
- Ved sterk vind er blandingen med luft sterkere, og en større andel av gass-skyen går til værs pga oppvarming. Dette er derfor mindre kritisk enn ved svak vind.
- LNG gass er brennbar i konsentrasjonsområdet 5% til 15%, hhv LFL = Lower flammable limit, og UFL = Upper flammable limit.
- Nedre flammegrense LFL er kritisk i analysene.
- I spredningsberegninger undersøkes hvor lang avstand fra kilden konsentrasjonen er over LFL. Det antas vanligvis at gassen er tyngre enn luft i en avstand lengre enn denne avstanden.
- Pga lokale variasjoner i konsentrasjon, tar man ofte utgangspunkt i $\frac{1}{2}$ LFL.
- Dersom en gass-sky antennes, vil brannen bevege seg hurtig fra antennelseskilden til kilden for skyen.
- I Phast Risk programmet, som er benyttet i Linde sin QRA, antas at per person som eksponeres for en gass-sky, så vil ett minutt representere 1% antennelsessannsynlighet.
- Over et boligfelt er det derfor stor sannsynlighet for at en gass-sky antennes.

Figur 10 viser en prinsippskisse for lekkasjescenariot.



Figur 10 Lekkasjescenario – skipskollisjon

I beregningene er det antatt 2 m/s vindstyrke som betraktes som mest alvorlig. Fra en evt lekkasje tar det ca 5 minutt før gass-skyen når de nærmeste boligene, og ca 20 minutt før nordlige deler av Tananger er dekket. Gass-skyen vil danne en vifteform, og LFL strekker ca 3 km i følge eksempelberegningene fra FERC, se avsnittet om brannscenarioet ovenfor. Merk at vi her ikke har foretatt egne spredningsanalyser, eller brannanalyser gitt at gassen antennes. Vi har i stedet gjort følgende grove vurderinger:

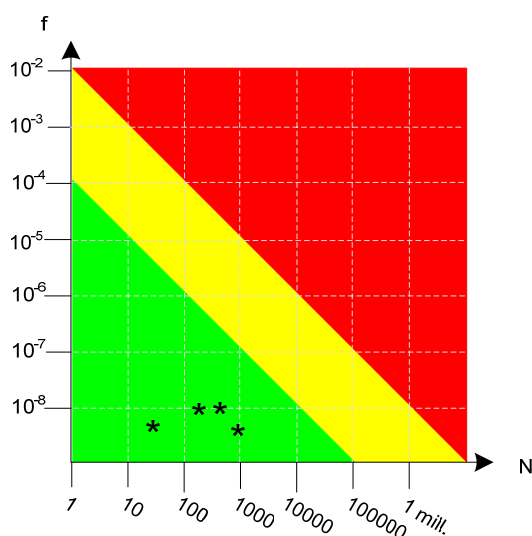
- Ved en brann/eksplosjon antas en tredjedel av personene i skravert (gult) område i Figur 10 å bli drept (fra antennelsespunkt og mot LNG skipet)
- Personer bortenfor antennelsespunktet vil ikke bli drept
- 3000 personer bor innenfor skravert (gult) område
- Gass-skyen antennes med
 - o 20% sannsynlighet ved 500 meter
 - o 40% sannsynlighet ved 1 km
 - o 30% sannsynlighet ved 1.5 km

- o 10% sannsynlighet ved 2 km

Videre har vi lagt til grunn:

- Sannsynlighet for svak vind²⁴ = 15%
- Sannsynlighet for "ugunstig vindretning", dvs i retning Tananger = 20 %

Slik at totalfrekvensen for scenarioet er $10^{-5} \times 0.1 \times 0.15 \times 0.2 \approx 3 \cdot 10^{-8}$ per år, eller i snitt 30 millioner år mellom hver gang. Med antagelsene om konsekvens får vi et risikobilde som vist i Figur 11.



Figur 11 Synliggjøring av risiko for lekkasjescenarioet i et f-N diagram

Risikoen er også her godt nede i grønt område i forhold til risikoakseptkriteriene.

C6 – Tiltak

Grovt sett kan kollisjonsfrekvensen halveres²⁵ dersom man legger sterke operative begrensninger ved dårlig sikt med de antagelser som er lagt til grunn. En ytterligere risikoreduksjon kan oppnås ved å forby LNG skipene å forlate Risavika når andre skip er på veg inn. Merk at los Per Øhman²⁶ har opplyst at det kommer til å bli seilingsforbud inn og ut av Risavika når et LNG skip er på veg ut. Dersom en slik regel blir implementert, og fulgt opp, vil kollisjonsrisikoen bli lavere enn det som er kommet fram ved beregningene. Vi velger likevel å ta med dette risikoscenarioet for å vise en "øvre" skranke for risikoen knyttet til kollisjonsscenarioet. Merk at vi her ikke har kvantifisert risikoen ved at et LNG skip blir påkjørt når det ligger og laster. DNV har vurdert dette scenariet mer eksplisitt etter at SINTEF avsluttet arbeidet i 2009 (DNV 2009). Vi merker oss også her at man kan innføre restriksjoner på inn og utseilinger i perioder da det ligger et LNG skip og laster. Da en slik lasting tar omtrent 10 timer er det lite sannsynlig at inn- og utseiling vil bli forbudt, men man kan tenke seg strenge hastighetsbegrensninger gitt f eks av Tabell 10. Her kan man kreve en hastighet som ikke gir hull for en gitt tonnasje ved å ta utgangspunkt i Tabell 10 (se også

²⁴ Vinndata fra Linde sin QRA (2008)

²⁵ Dette følger av kollisjonssannsynlighetene i Tabell 9 og antagelsen gjort om antall dager med dårlig sikt

²⁶ Dette ble opplyst på et folkemøte i Tananger 27. november 2008.

diskusjon i DNV rapporten). Merk at Sandia rapporten (2004) opererer med tre avstandssoner fra seilingsruten til LNG skip. For de korteste avstandssoner kreves da de sterkeste strategier for risikostyring (Risk management strategies). Hastighetsbegrensninger er i så måte et godt tiltak for å begrense risikoen for at et LNG skip blir påkjørt i. Trafikkstyring er også et tiltak som anbefales for den korteste avstandssonen.

C7 – Diskusjon

Viktige aspekter knyttet til analysen er diskutert nedenfor. Først og fremst så er konsekvensvurdering svært grov. Det er ikke kjørt fysiske modeller for gass-spredning, antennelse og eksplosjonstrykk. Vurderingene vurderes likevel å være konservative.

I analysen er det antatt at LNG skipet er på veg ut, og det er ikke tatt høyde for ekstra risiko knyttet til fergeterminalen. Fergeterminalen vil kunne være mer sårbar for dominerende vindretninger. Dette kan tilsi en noe høyere risiko for lekkasjescenarioet. Når resultatene fra DNV sin studie som vurderer risikoen ifbm at et LNG skip som ligger og laster blir påkjørt foreligger, kan man evt også oppjustere risikoen knyttet til kollisjonsscenarioet.

Kollisjonsfrekvenser er basert på en beregningsmodell hvor antall passerende skip inngår i beregningene. Da det er et lavt antall skip som vil passere mens LNG skipet er på veg ut, vil kollisjonssannsynlighetene bli lavere enn gjennomsnittstall for inn- og utseilinger som man finner i litteraturen.

Sannsynligheter for lekkasje gitt kollisjon er satt lik verdiene i Vanem m.fl (2007). Disse er trolig svært konservative, da det ut fra artikkelen tyder på at lekkasjesannsynlighetene er gjennomsnittsverdier for alle kollisjonshastigheter. LNG skip har typisk seilingshastighet på 20 knop, og det forventes betydelig mindre skader ved f eks 5 knops fart (jf Tabell 10). I vår analyse har vi betinget på at LNG skipet blir truffet i 90° vinkel. Dette tilsier på den andre side at lekkasjesannsynlighetene er noe høyere enn angitt i Vanem m.fl (2007). Totalt sett vurderes derfor 10% sannsynlighet for lekkasje gitt kollisjon å være rimelig. I alle studier som er gjennomgått skilles det på om LNG skipet er det skipet som blir påkjørt, eller er det skipet som kjører på et annet skip. Skip som blir påkjørt er mye mer sårbar enn det som kjører på. Dersom det er LNG skipet som kjører på et annet skip forventes vanligvis ikke skader da baugpartiet vil ta opp det meste av energien, og det er mindre sannsynlighet for at LNG tankene blir ødelagte. I Vanem m.fl (2007) vurderes f eks sannsynligheten for at det skipet som kjører på et annet får lekkasje til 0, dvs at det ikke representerer noen risiko.

Værforhold vil være en svært viktig faktor i forhold til utfallet ved en evt lekkasje. I beregningene er det lagt meteorologiske data fra Linde sin QRA (2008) til grunn.

Kun kollisjonsscenarioet er tatt med i de kvantitative beregningene. Dette scenarioet vurderes å gi høyest risiko. Scenarioet med påkjørsel av LNG skip som ligger og laster er senere analysert på oppdrag av Lyse. Også denne analysen viser at risikobidraget ligger i ”grønt område” (DNV 2009).

Resultatene fra beregningene viser at risikoen ligger i grønt område i forhold til risikoakseptkriteriene som er valgt. Ved å legge restriksjoner på inn og utseiling for andre skip, er det mulig å reduserer risikoen betydelig ut over den risikoen som er fremkommet ved beregningene. Det er videre blitt opplyst at noen slike restriksjoner også vil bli implementert (Ref los Per Øhman).