

PETROLEUMSTILSYNET

INNELUKKEDE MODULER – DESIGN OG EKSPLOSJONSTRYKK

HOVEDRAPPORT

ST-12659-2

Type dokument:

Hovedrapport

Rapport tittel:

Innelukkede moduler – design og eksplosjonstrykk

Kunde:

Petroleumstilsynet

En kort oppsummering av konklusjonene i denne rapporten:

- Åpne moduler er å foretrekke både fra et sikkerhetsmessig og et kostnadmessig synspunkt.
- Eksplosjonsrisikoen øker betydelig for innelukkede områder.
- Lekkaserater < 1 kg/s kan danne skyer med signifikant risiko i innelukkede moduler – mekanisk ventilasjon er viktig for små lekkaserater.
- I innelukkede moduler vil brannforløp være vesentlig ulike med eller uten eksplosjon i forkant av brannen; brannlaster med begrenset tilgang på oksygen er betydelig redusert, men eksplosjonspaneler som åpner i en eksplosjon gir økt tilførsel av oksygen og økte brannlaster.
- I innelukkede moduler må man redusere sannsynligheten for lekkasjer og antenning så langt som praktisk mulig.
- Layout-tiltak for å minimere eksplosjonslaster må implementeres for innelukkede moduler.

Dokument nr.

ST-12659-2

Forfattere

A. Kittelsen, O.M. Slyngstad, T. Sagvolden, K. R. Haugland

Referanse til deler/utdrag av dette dokumentet som kan føre til feiltolkning, er ikke tillatt.

Rev.	Dato	Grunn for rev.	Kontrollert	Godkjent
1.0	24.11.2017	Utkast	J. Dahlsveen	E.M. Rokstad
2.0	20.12.2017	Endelig rapport	J. Dahlsveen	E.M. Rokstad

Innhold

1	SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER	4
2	INNLEDNING	6
2.1	Bakgrunn	6
2.2	Formål.....	6
2.3	Oversikt over innholdet i denne rapporten.....	6
2.4	Forkortelser og begreper.....	7
3	HENDELSESFORLØP	8
3.1	Eksplosjon.....	8
3.1.1	Lekkasjerate.....	8
3.1.2	Antenning	13
3.1.3	Konsekvens	13
3.1.4	Kompenserende tiltak	14
3.1.5	Oppsummering.....	15
3.2	Brann	16
3.2.1	Lekkasjerate.....	16
3.2.2	Antenning	16
3.2.3	Konsekvens – brann uten forutgående eksplosjon	17
3.2.4	Konsekvens – brann etter eksplosjon.....	18
3.2.5	Oppsummering.....	18
4	BARRIEREANALYSE	19
5	VURDERING AV OG INNSPILL TIL DESIGNLØSNINGER.....	27
5.1	Mekanisk ventilerte prosessmoduler	27
5.1.1	Antall og størrelse på prosessområder	30
5.2	Naturlig ventilerte prosessmoduler med stor grad av værbeskyttelse.....	31
5.3	Designbeslutninger som bør vurderes i ulike prosjektfaser.....	32
5.3.1	Mulighetsstudier – tidlig konsept.....	32
5.3.2	FEED – forprosjektering	32
5.3.3	Detaljprosjektering	33
5.3.4	Fabrikasjon	33
5.3.5	Modifikasjoner.....	33
5.4	Vurdering av identifisert mulig ny teknologi	34
5.4.1	Aktive vindpaneler for arktiske forhold.....	34
5.4.2	Bruk av ikke-brennbar (inert) atmosfære	34
6	REFERANSER	36

VEDLEGG A - BARRIEREANALYSE

1 SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

Denne rapporten fokuserer på kunnskap industrien har opparbeidet seg og hvordan denne kunnskapen kan benyttes for å kontrollere og minimere risiko forbundet med innelukkede prosessmoduler.

Den direkte effekten av å velge en innelukket løsning er opplagt at ventilasjonen (luftgjennomstrømningen) blir lavere enn for åpne moduler. Man får tette vegger og dekk rundt området og et mekanisk ventilasjonssystem behøves for å tilfredsstille minimumskrav til luftutveksling.

Selv moduler som med naturlig ventilasjon bare akkurat oppfyller kravet til minimum antall luftvekslinger vil gjennomsnittlig ha lavere risiko for kraftige eksplosjoner enn mekanisk ventilerte moduler, da naturlig ventilasjon under de fleste forhold vil gi betydelig bedre luftgjennomstrømning enn man kan oppnå med mekanisk ventilasjon. Det primære, effektive tiltaket som bør vurderes for å minimere storulykkerisiko, er dermed å velge naturlig ventilerte prosessområder fremfor helt innelukkede. En rimelig antagelse er at man først vil prøve å oppnå kravene til arbeidsmiljø og tilgjengelighet av utstyr med naturlig ventilerte moduler, men at man under arktiske forhold kan komme dit at dette ikke er mulig.

Det er først og fremst den økte muligheten for at lekkasjerater mindre enn 1 kg/s kan gi store gasskyer som bidrar til økt eksplosjonsrisiko i innelukkede moduler. I tillegg til at større skyer vil resultere i høyere eksplosjonstrykk vil også store skyer eksponere flere potensielle tennkilder, noe som resulterer i høyere tennsannsynlighet.

Forløpet og konsekvensene av en brann i en innelukket modul vil være svært forskjellig avhengig av om hendelsen starter som en brann, som ofte vil være betydelig underventilert, eller om den etterfølger en eksplosjon, der skadet værkledning og åpne eksplosjonspaneler tilfører betydelig mer luft slik at brannen i større grad blir kontrollert av mengden tilgjengelig brennbart stoff. Ventilasjonskontrollerte branner vil gi betydelig reduserte varmelaster.

For alle barrierer, slik de er definert i NORSOK S-001 (Ref. 1), har vi vurdert effekten av innelukking. Der vi ser at barrierens funksjon eller pålitelighet blir negativt påvirket, identifiserer vi mulige risikoreduserende tiltak. Noen av disse tiltakene er vanlige tiltak også for åpne moduler, men de blir enda viktigere for innelukkede, mens andre tiltak er spesifikt rettet mot innelukkede moduler.

Konkrete innspill til designløsninger gis i Kapittel 5. Tiltak som er vurdert å være særlig effektive og/eller kritiske for innelukkede mekanisk ventilerte moduler er:

- Layout optimalisering
- Prosesseksjonisering og økt kapasitet til trykkavlastningssystem
- Rask og pålitelig gassdeteksjon
- Tennkildekонтроl
- Utløsning av deluge ved gassdeteksjon
- Maksimering av areal for eksplosjonstrykkreduksjon

Effektive konsekvensreduserende tiltak må gjennomføres tidlig i et designløp, mens det å forhindre at hendelsene skjer må man aktivt følge opp helt inn i drift og vedlikehold.

Av nye løsninger som ville være effektive i innelukkede moduler, er bruk av inert atmosfære der oksygennivået er tilstrekkelig for personell, men utilstrekkelig for forbrenning, samt aktive vind/eksplosjonspaneler diskutert.

Å lukke inne et prosessområde som inneholder hydrokarboner, medfører økt sannsynlighet for en eksplosjon og forverrede konsekvenser av eksplosjoner. Å velge en slik løsning, basert på dagens kunnskap, anses kun å være aktuelt dersom man kommer til geografiske områder der innelukking er den eneste løsningen som sikrer funksjonen av prosess- og sikkerhetssystemene og akseptable arbeidsforhold. Akseptable forhold for produksjonssystemer og arbeidsmiljø oppnås i dag med naturlig ventilerte løsninger på norsk sokkel.

2 INNLEDNING

2.1 Bakgrunn

Bakgrunnen for oppdraget er Petroleumstilsynets (Ptil) satsning på nordområdene. Ptil har definert en rekke prosjekter, hvorav noen er ferdigstilt, mens andre er pågående eller planlagte. Disse prosjektene skal utrede forhold knyttet til innhenting av kunnskap, samt kartlegging av risiko- og usikkerhetsfaktorer relatert til petroleumsvirksomhet i nordområdene.

I 2014 gjennomførte Rambøll og Gexcon et prosjekt for Ptil hvor man så på bruk av innebygde moduler og effekten det har på eksplosjonslaster og brannforløp (Ref. 2). Prosjektrapporten tok også for seg eksempler på risikoreduserende tiltak. Det nye prosjektet kan sees på som en videreføring av prosjektet i 2014 og tidligere funn blir ikke systematisk gjentatt.

I forbindelse med vinterisering av innretninger benyttes en strategi der prosessområder helt eller delvis lukkes inne for å redusere eksponering av utstyr og personell. En negativ følge av innelukking er at en større andel av lekkasjerater mindre enn 1 kg/s kan danne antennebare gasskyer. Innelukking kan både øke sannsynlighet for at en eksplosjon inntreffer, samtidig som at eksplosjonstrykket økes i forhold til i hva som ville vært tilfelle i en åpen, eller delvis åpen modul. Prosjektet har fokus på hvordan designløsninger påvirker eksplosjonstrykk og også brannforløp i innelukka moduler.

2.2 Formål

Formålet med denne studien er å etablere en robust kunnskapsplattform relatert til gasslekkasjer og eksplosjonstrykk i innelukkede områder. Dette er en problemstilling som er aktuell spesielt med tanke på utvikling og etablering av petroleumsvirksomhet i nordområdene. Vinterisering i form av innelukking av moduler og områder er et av tiltakene som blir vurdert i forhold til tilpassing av arbeidsmiljøet og beskyttelse av utstyr. Innelukking og effekt på brannforløp inngår også som en del av oppgaven for å forstå hele risikobildet knyttet til storulykker.

Gjennom dette oppdraget ønsker Ptil å få en bedre forståelse av i hvilken grad og på hvilken måte den økte risikoen som oppstår ved innelukking kan kompenseres ved å innføre tiltak knyttet til design av prosessmoduler.

Ptil ønsker å få beskrevet risikoforholdene med innelukkede moduler på en robust måte slik at kunnskapen kan benyttes i tilsyn og ikke minst påvirke industrien til å fylle igjen eventuelle kunnskapshull. Prosjektet skal også gi Ptil mulighet til å få et dokumentert underlag for erfaringsoverføring og felles forståelse og likebehandling i deres saksbehandling (herunder tilsynsaktiviteter, PUD, SUT og andre samtykker).

2.3 Oversikt over innholdet i denne rapporten

Denne rapporten dekker følgende tema:

- Kunnskap relatert til gasslekkasjer, eksplosjonstrykk og branner i innelukkede områder (Kapittel 3)
- Gjennomgang av sikkerhetsbarrierer og hvordan risikonivået blir påvirket ved innelukking (Kapittel 4)
- Vurdering av og innspill til designløsninger (Kapittel 5)

2.4 Forkortelser og begreper

ACH	Air Changes per Hour, luftutskiftninger per time
ALARP	As Low As Reasonably Practicable
LEL	Lower Explosive Limit
CFD	Computational Fluid Dynamics
DAL	Design Accidental Load
ESD	Emergency Shutdown System, nødavstengningssystem
FEED	Front End Engineering and Design
FPSO	Floating Production, Storage and Offloading
NAS	NødAvStengning (ESD – Emergency Shut Down)
NORSOK	NORsk SOKkels Konkurransesposisjon
PAS	ProsessAvStenging (PSD – Process shut down)
PBB	Passiv BrannBeskyttelse
PDQ	Production, Drilling and Quarters
PS	Performance Standard (ytelseskrav til barrierer mot storulykker)
PSD	Process Shutdown System, prosessavstengningssystem
Ptil	Petroleumstilsynet
Q9	Ekvivalent støkiometrisk gasssky, et mål på gasskystørrelse
QRA	Quantitative Risk Analysis

3 HENDESESFORLØP

I kapitlene under gjennomgås faktorer som påvirker sannsynlighet og konsekvenser for eksplosjoner og branner i innelukkede mekanisk ventilerte og åpne, naturlig ventilerte prosessmoduler.

3.1 Eksplosjon

Sannsynligheten for at en eksplosjon kan finne sted og konsekvensene av en eventuell eksplosjon påvirkes av en rekke parameter som:

1. Lekkasjerate
 - Spredningsforløp
2. Antenning
 - Størrelsen på gasskyen ved antenning
3. Konsekvens
 - Innelukking og ventilasjonsforhold
 - Gasskomposisjon
 - Utstyrstetthet
4. Kompenserende tiltak (er i tillegg vurdert i Kapittel 5)
 - Eksplosjonspaneler
 - Deluge

De ulike parameterne er diskutert i kapitlene under.

Diskusjonene i kapittelet er i hovedsak knyttet til rene gasslekkasjer. Dersom området inneholder hovedsakelig væskesegmenter med kun små mengder gass, vil risikobildet kunne endres noe; resultater fra risikoanalyser viser at lekkasjer med liten andel gass (lekkasjerater mindre enn 1 kg/s) bidrar lite til eksplosjonsrisikoen.

3.1.1 Lekkasjerate

Ved lave initielle lekkasjerater vil det i moduler med lav (både naturlig og mekanisk) ventilasjon, som beskrevet i tidligere rapport av Rambøll og Gexcon (Ref. 2), dannes relativt store gasskyer. Dette betyr at det vil bli økt bidrag til eksplosjonsrisiko i en innelukket modul, sammenlignet med i en naturlig ventilert modul, ved at dimensjonerende skystørrelse øker. Den økte sannsynligheten for at det dannes gasskyer med skadepotensial i en mekanisk ventilert modul også ved lave lekkasjerater gir en betydelig høyere eksplosjonsrisiko enn i naturlig ventilerte moduler.

For høye initielle lekkasjerater vil typisk en stor andel av gasskyen være 'fet', dvs. gasskonsentrasjonen er over øvre brennbarhetsgrense, der antenning ikke er mulig. Isolering og trykkavlastning vil gradvis redusere lekkasjeraten, og ventilasjonen vil etter en tid redusere området med fet blanding mens området med tennbar blanding øker i utstrekning (etter at aktive tennkilder er isolert). Hvilke lekkasjerater som fyller moduler med fet gassblanding er avhengig av modulens volum og mengden hydrokarboner i området segmenter.

Det ovenstående er i samsvar med hva som er erfart i risikoanalyser for eksisterende moduler som er mekanisk ventilert.

En gjennomgang av en rekke offshore plattformer viser at lekkasjerater mindre enn 1 kg/s i naturlig ventilerte prosessmoduler utgjør hele 70 % av lekkasjefrekvensen, mens bidraget til eksplosjonsrisikoen fra disse lekkasjene typisk er kun 20 %. Disse tallene er basert på tellinger i

forbindelse med QRAer utført av Safetec på 30 ulike installasjoner i tidsrommet 2010 til 2017. Dette bildet vil altså endres betydelig i en mekanisk ventilert modul i og med at lekkasjerater mindre enn 1 kg/s ikke vil luftes ut like godt, og potensialet for at gasskyer med skadepotensial oppstår øker tilsvarende. Merk at økt eksplosjonsrisiko ikke er det samme som økt sannsynlighet for antente gasskyer, men økt sannsynlighet for eksplosjonstrykk som overstiger det eksplosjonsskillene i området er designet for.

På grunn av det betydelige bidraget til eksplosjonsrisikoen i lukkede moduler fra lekkasjerater mindre enn 1 kg/s er det blitt stilt spørsmål om lekkasjer som i risikoanalysesammenheng ses på som neglisjerbare (<0,1 kg/s) også kan bidra til risiko for en mekanisk ventilert modul. I forbindelse med denne analysen er det derfor gjennomført spredningssimuleringer i tre lukkede moduler for å illustrere potensialet for oppbygning av brennbare gasskyer. Spredningssimuleringene er utført som stasjonære (lekkasjeraten endrer seg ikke med tid) lekkasjer med en varighet på 1000 sekunder. Simuleringen er stoppet når ett av følgende kriterier er oppfylt: Lekkasjeforløpet ved konstant lekkasjerate har oppnådd maksimal utbredelse av brennbar sky (Q9) og Q9 ikke lengre endrer seg med tiden - dvs. når lekkasjeforløpet har stabilisert seg, eller tidskriteriet på 1000 sekunder er nådd. Implisitt i tidskriteriet på 1000 sekunder er det antatt at lekkasjen vil være detektert på et tidligere tidspunkt enn 1000 sekunder og at nedstenging har funnet sted.

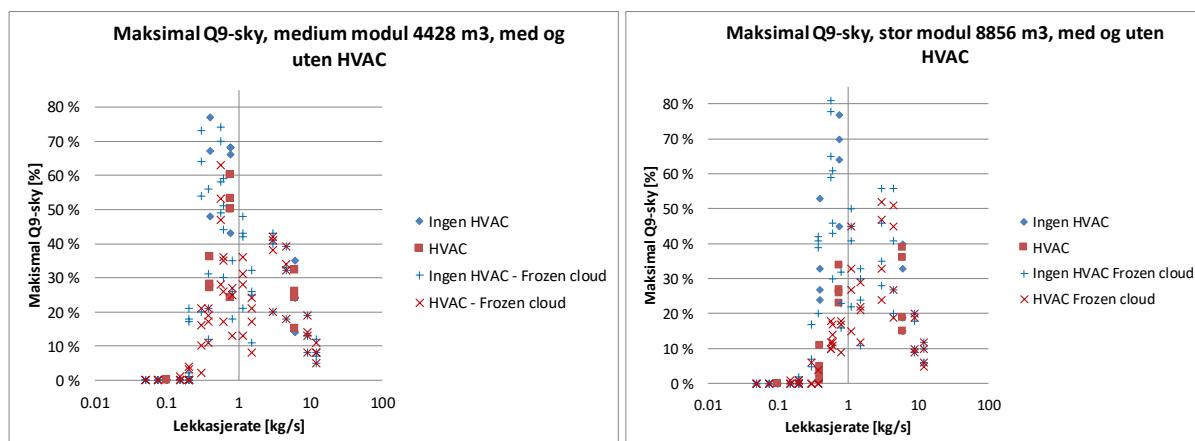
Følgende moduler er evaluert:

1. En liten modul på 630 m³ med dimensjonene 7 m x 20 m x 4.5 m
 - a. Gasstetthet: 0.79 kg/m³
 - b. Mengden gass i støkiometrisk sky som fyller hele modulen (100% sky): 36 kg
2. En middels stor modul på 4428 m³ med dimensjonene 20.5 m x 24 m x 9 m
 - a. Gasstetthet: 0.85 kg/m³
 - b. Massen av en støkiometrisk sky som fyller hele modulen (100% sky): 232 kg
3. En stor modul på 8856 m³ med dimensjonene 41 m x 24 m x 9 m
 - a. Gasstetthet: 0.85 kg/m³
 - b. Massen av en støkiometrisk sky som fyller hele modulen (100% sky): 464 kg

For de to største modulene er det utført simuleringer både uten ventilasjon og når ventilasjonssystemet er i drift. I den minste modulen er det kun utført simuleringer uten ventilasjonssystem. Ventilasjonssystemet gir en luftutskiftning på omtrent 12 luftvekslinger per time (ACH). Spredningssimuleringene er utført ved hjelp av simuleringsverktøyet FLACS v10.6 (Ref. 3). Frozen cloud¹ er benyttet i simuleringene for å kunne si noe også om ikke-simulerte lekkasjerater.

Figur 3.1 viser maksimal støkiometrisk (Q9) sky for ulike lekkasjerater i de to største modulene. Resultater med og uten mekanisk ventilasjon er vist. Resultatene er også oppsummert i Tabell 3.1.

¹ Frozen cloud-prinsippet antar at for et gitt spredningsscenario er volumfraksjonen av brennstoff omtrent proporsjonal til forholdstallet lekkasjerate delt på ventilasjonsrate. Basert på denne antagelsen og størrelsen på en brennbar sky fra simuleringene for en gitt lekkasjerate kan man estimere den brennbare skyen også for andre tilstøtende lekkasjerater. FLACS kan benytte frozen cloud til ekstrapolering av lekkasjeraten for en faktor mellom 0.5 og 2 (Ref. 3)



Figur 3.1 Maksimal Q9-sky for ulike lekkasjerater fra simuleringene i to ulike moduler. Figurene viser resultater både med og uten HVAC i anlegget

Tabell 3.1 Maksimal Q9-sky i % fra spredningssimuleringene i lukkede moduler

Lekkasjerate	Liten modul 630 m ³	Medium modul 4428 m ³		Stor modul 8856 m ³	
	Uten ventilasjon	Ventilasjon oppretholdes	Uten ventilasjon	Ventilasjon oppretholdes	Uten ventilasjon
0,1 kg/s	71 – 75 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %
0,4 kg/s	*	27-36 %**	48-77 %	1-11 %**	24-53 %**
0,75 kg/s	22-33 %	24-60 %	43-68 %	23-34 %	45-77 %
6 kg/s	10-16 %	15-32 %	14-35 %	15-39%	15-40 %
24 kg/s	7-8 %	*	*	*	*

* ikke simulert

** Størrelsen av støkiometrisk (Q9) sky er fortsatt stigende etter mer enn 600s lekkasjetid

For en liten lekkasjerate (< 1 kg/s) vil ventilasjon på 12 ACH begrense den maksimale størrelsen på en brennbar sky. For lave lekkasjerater kan altså ventilasjonsanlegget ha en markant effekt på potensialet for oppbygning av brennbare skyer. Som et eksempel blir gjennomsnittlig maksimal Q9 sky redusert fra 64 % til 28 % og fra 61 % til 47 % ved å inkludere en ventilasjon på 12 ACH i henholdsvis en stor modul (9000 m³) og en modul av medium størrelse (4428 m³) i spredningssimuleringene med en lekkasjerate på 0,75 kg/s. Tabellen viser at i små moduler (typisk 600 m³) vil man på et tidspunkt få en økning i maksimal Q9-sky som går ut over den lineære sammenhengen mellom støkiometrisk sky og volum på modulen. Det betyr at for små moduler vil man kunne se en uforholdsmessig stor økning i skystørrelse ved lave lekkasjerater, slik at bidraget fra disse lekkasjene vil øke betydelig til eksplosjonsrisikoen i modulen. Det er usikkerhet med hensyn til når denne effekten slår inn, og det bør vurderes å undersøke om det finnes en kritisk minste modulstørrelse i mekaniske ventilerte moduler der bidrag fra små lekkasjer (0,1-1 kg/s) øker signifikant.

Lekkasjerater på 6 kg/s og høyere er karakterisert av mye fet gass (for lite luft innblandet i gassen til å kunne antenne). Hvilken lekkasjerate som har størst potensiale for å generere store skyer er avhengig av volumet av modulen, jo mindre modul, jo lavere rate gir de største støkiometriske skyene.

For lekkasjescenarier hvor forholdet mellom lekkasjerate og volum av modulen er slik at fet gass er dominerende tidlig i lekkasjeforløpet, vil ikke et ventilasjonsanlegg med en effekt på 12 ACH ha like stor innvirkning på den maksimale størrelsen på den støkiometriske gasskyen som genereres. Årsaken til dette er at ventilasjonsanlegget ikke har kapasitet til å tynne ut en stor nok andel av den fete gassen til under brennbar konsentrasjon. Ventilasjonssystemet bidrar også til en høyere andel brennbar gass

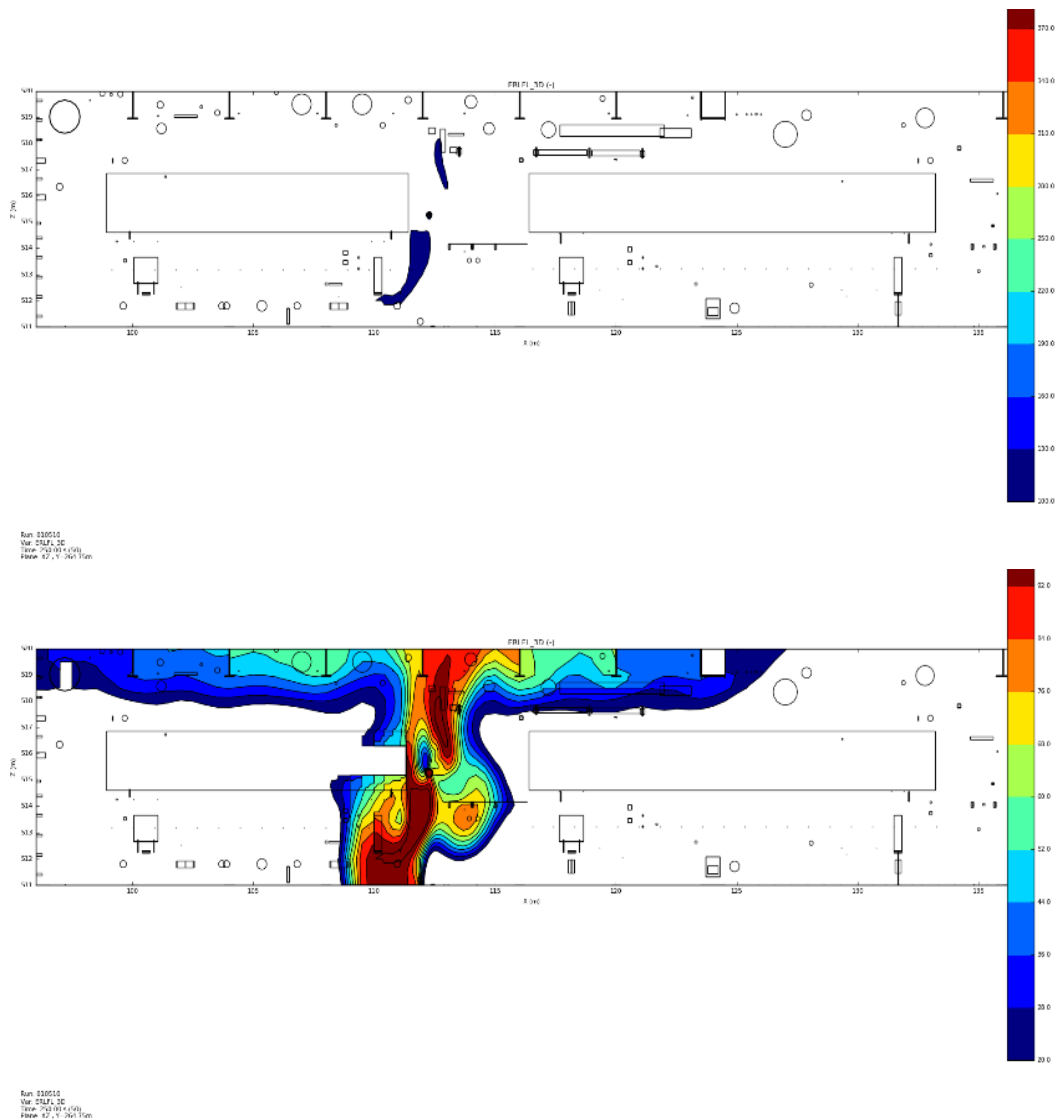
senere i lekkasjeforløpet ved høye lekkasjerater da noe av den fete gassen blir blandet med luft til brennbare konsentrasjoner. Se også Kapittel 4 om Barriereanalyse, for diskusjoner angående ventilasjonssystemet.

3.1.1.1 Viktigheten av tidlig deteksjon

Tidlig deteksjon er en viktig barriere for å redusere potensialet for oppbygningen av brennbare skyer. Maksimal størrelse på støkiometrisk sky fra simuleringene i de to største modulene med en lekkasjerate på 0,1 kg/s er neglisjerbar (<1 %) og har dermed ikke potensiale for å bidra til eksplosjonsrisikoen i modulen (Tabell 3.1). Dette tyder på at neglisjerbare lekkasjerater (i risikoanalysesammenheng) også vil bidra lite til eksplosjonsrisiko i mekanisk ventilerte moduler, gitt at modulen er over en viss størrelse². For små moduler kan derimot også en lekkasje på 0,1 kg/s generere store skyer (se Tabell 3.1) innen kort tid.

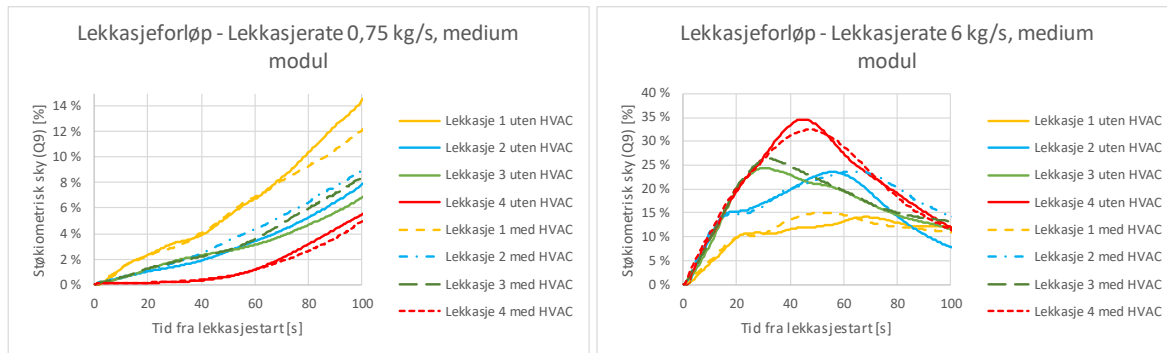
Det finnes eksempel fra norsk sokkel hvor en lekkasje på 0,1 kg/s i en stor modul på omtrent 9000 m³ ble detektert av mange detektorer. Figur 3.2 viser et skjæringsplan fra en spredningssimulering med 0,1 kg/s fra modulen med et volum på 9000 m³. Den øverste figuren viser kun brennbar gass mens den nederste figuren viser gass med en konsentrasjon høyere enn 20 % LEL. Som en ser av figuren kan en betydelig mengde gass ha en konsentrasjon høyere enn 20 % LEL og bli detektert av gassdeteksjonssystemet, men den brennbare skyen er fortsatt liten.

² I en innelukket modul ville lave rater gi store støkiometriske skyer ved lang lekkasjevarighet. Det er derimot benyttet en cut-off på 1000 sekunder da det er antatt at lekkasjen vil være detektert på dette tidspunktet og prosessanlegget nedstengt



Figur 3.2 Utbredelsen av brennbar gass (øverste figur) og gass med en konsentrasjon høyere enn 20 % LEL (nederste figur) i tilfellet ingen ventilasjon ved en lekkasje på 0,1 kg/s i en stor modul med en størrelse på 9000 m³. Figurene viser et skjæringsplan i xz-planet og viser gassutbredelsen etter 250 sekunders simuleringstid

Utviklingen av støkiometrisk gass i de 100 første sekundene etter at lekkasjen har startet vist for å illustrere viktigheten av tidlig deteksjon. Lekkaserater på 0,75 kg/s og 6 kg/s i en middels stor modul på 4400 m³ er vist i Figur 3.3. For en lekkaserate på 0,75 kg/s er den maksimale Q9-skyen opp mot 80 % (Tabell 3.1). Størrelsen på den støkiometriske skyen stiger derimot relativt sakte og maksimal støkiometrisk sky er oppnådd ved ca. 350 sekund. Ved et funksjonelt deteksjonssystem som detekterer lekkasjen raskt kan derfor størrelsen på den brennbare skyen begrenses ved at isolering og nedblåsning initieres. For en lekkaserate på 6 kg/s stiger derimot størrelsen på den støkiometriske skyen raskt og maksimal støkiometrisk sky oppstår alt etter 20 til 60 sekunder for denne modulen. På samme tid vil en slik lekkasje raskt gi bekreftet deteksjon, igangsetting av isolering og nedblåsning. Selv om maksimal støkiometrisk sky ikke blir begrenset av disse aksjonene når skystørrelsen øker raskt, vil tennkildeutkobling gi redusert potensial for antennelse.



Figur 3.3 Utviklingen av Q9-skyen over de 100 første sekundene etter lekkasjestart for lekkasjer med en rate på 0,75 kg/s (venstre figur) og 6 kg/s (høyre figur) i en modul på 4400 m³. Lekkasje 1 til 4 er ulike lekkasjescenarioer (ulike plasseringer og jet-retninger) i den lukkede modulen

Begge eksemplene illustrerer viktigheten av tidlig deteksjon av lekkasjer så brennbare skyer blir identifisert før de har potensiale for å gjøre større skade. På grunn av det økte potensialet for alvorlige konsekvenser ved en liten lekkasje i en lukket modul kontra i en naturlig ventilert modul (på grunn av større brennbare gasskyer) er det kritisk for eksplosjonsrisikoen i modulen at mindre lekkasjer blir detektert på et tidlig tidspunkt.

3.1.2 Antenning

Sannsynligheten for antenning er produktet av sannsynlighet for å eksponere en tennkilde med antenncapabel gass og sannsynligheten for at gassen antenner gitt eksponering (tennintensitet). Dersom en gasslekkasje detekteres så vil tennkildeutkobling initieres slik at sannsynligheten for antenning reduseres. Ikke alle potensielle tennkilder kan isoleres slik at det vil alltid være en mulighet for antenning av en gassky også etter at tennkildeutkobling er initiert.

Når man modellerer risiko er det ingen forskjell i den teoretiske tennintensiteten for en mekanisk og en naturlig ventilert modul. Dette ligger til grunn i tennmodellene utarbeidet av UKOOA (Ref. 4), OLF (Ref. 5), MISOF (Ref. 6), JIP TDIM (Ref. 7). I praksis vil allikevel tennsannsynligheten kunne være forskjellig i en naturlig ventilert modul og en mekanisk ventilert modul. Årsaken er at gassen sprer seg ulikt i mekanisk ventilerte moduler og naturlig ventilerte moduler og dermed vil eksponere et ulikt antall tennkilder og til ulik tid. Tennsannsynlighet gitt eksponering er antatt å være lik. I en lukket modul med mekanisk ventilasjon vil skyene bygge seg raskere opp enn i en naturlig ventilert modul siden gass ikke kan forsvinne ut av modulen i tillegg til at luftutskiftningsraten som oftest er lavere. Dermed vil flere potensielle tennkilder bli eksponert, noe som vil gi en høyere tennsannsynlighet.

3.1.3 Konsekvens

Store gasskyer gir høyere eksplosjonstrykk og økt konsekvens av en eksplosjon. Det er først og fremst den økte sannsynligheten for at lekkasjerater mindre enn 1 kg/s gir store gasskyer som bidrar til økt eksplosjonsrisiko i innelukkede moduler.

I en lukket modul vil man i tillegg få begrenset eksplosjonstrykkreduksjon (utlufting av overtrykk gjennom eksplosjonspaneler) ved en eksplosjon sammenlignet med en identisk, men åpen og naturlig ventilert modul. Konsekvensene ved dårligere eksplosjonstrykkreduksjon er vurdert detaljert i tidligere rapport (Ref. 2).

Turbulens generert av utstyrstetthet vil også være drivende for trykkene i modulen. I små moduler er trolig effekten av tette vegger og dekk mer dominerende enn utstyrstettheten for oppbygningen av

eksplosjonstrykk da det er korte avstander for akselerering av trykkfronten. Dragtrykket vil derfor generelt være høyere i en stor modul enn i en mindre. Gassammensetningen vil også kunne påvirke eksplosjonsovertrykket, da en tung gass generelt fører til høyere trykk enn en gass med lette gasskomponenter.

Følgende retningslinjer for hvordan minimere konsekvensene ved en eksplosjon er en forenklet oppsummering av ISO13702 (Ref. 8):

1. Installasjonen bør være plassert slik at dominant vindretning vil minimere sannsynligheten av gass/røyk mot boligkvarter og evakueringspunkt.
2. Luftutskiftningen i området og innelukketheten til området er kritiske faktorer for eksplosjonstrykk.
 - a. Lange og smale moduler (lukket på langsidene) bør unngås siden stor avstand mellom potensielle tennpunkt og utluftingsområdet kan medføre høye overtrykk og denne konfigurasjonen også vil gi et lite utluftingsareal.
 - b. Eksplosjonstrykkene øker med blokkering, så blokkeringer foran utluftingsområdet bør unngås så langt det er mulig. Dette gjelder også kabelgater, rørgater osv. foran utluftingsområdet.
 - c. Repeterte hindringer vinkelrett på utluftingsretningen bør unngås da dette er med på å øke eksplosjonstrykkene.

3.1.4 Kompenserende tiltak

3.1.4.1 Eksplosjonspaneler

Mekanisk ventilerte moduler kan bli en mer vanlig designløsning i arktisk miljø der is og snø-problematikk vil være framtrepende. Innelukkede moduler vil som oftest ha eksplosjonspaneler for å ventilere ut overtrykk, men snø og is vil kunne redusere funksjonaliteten av panelene slik at de åpner på høyere trykk enn forventet. Dette vil igjen føre til økt eksplosjonsovertrykk inne i modulen, og økt risiko. Dette er sett på mere i detalj i tidligere rapport (Ref. 2) og er dermed ikke vurdert videre her.

3.1.4.2 Deluge

Utløsning av deluge ved bekreftet gassdeteksjon er et vanlig tiltak for å redusere eksplosjonsrisikoen i prosess-moduler. Som en tommelfingerregel reduserer deluge eksplosjonstrykk over 0,1 barg, for lavere trykk kan en se en økning av eksplosjonstrykk ved utløsning av deluge. Denne trykkøkningen vil derimot være begrenset og dermed av mindre betydning for eksplosjonsrisikoen på installasjonen og området. Effekt av deluge er også omtalt i tidligere rapport (Ref. 2); for detaljer om hvordan deluge kan påvirke eksplosjonsrisikoen og eventuelle utfordringer med deluge i arktiske strøk henvises det til denne rapporten.

I henhold til krav i NORSOK S-001 (Ref. 1) skal det være vann i ytterste dyse innen 30 sekunder etter bekreftet gassdeteksjon. For at deluge skal ha en effekt på eksplosjonstrykket er det viktig at deluge blir utløst før antennelse finner sted. Store lekkasjer i en lukket modul vil føre til rask utbredelse av gasskyen i modulen, og maksimal støkiometrisk sky oppstår raskt etter at lekkasjen har startet. Risikoanalyser viser at for store lekkasjer vil en stor andel av antennelsene skje tidlig, før deluge er utløst. Antennes skyen før deluge er utløst får man ingen reduserende effekt på eksplosjonstrykket. På en annen side vil en liten lekkasje som oftest antenne betydelig senere da det vil ta tid å bygge opp en stor og antennebar gassky. I disse tilfellene vil utløsning av deluge på bekreftet gass trolig ha stor effekt på eksplosjonstrykket.

3.1.5 Oppsummering

Basert på de diskusjonene som er gitt over, samt eksisterende rapport (Ref. 2) kan man konkludere med følgende for mekanisk ventilerte moduler:

1. Lekkasjerate
 - Lekkasjerate sammenlignet med volum av modulen er en kritisk faktor for hvilke lekkasjerater som har høyest potensiale for å generere store brennbare skyer.
2. Antenning
 - Lekkasjerater mindre enn 1 kg/s gass vil bidra betydelig til eksplosjonsrisikoen i en mekanisk ventilert innelukket modul, sammenlignet med en åpen modul. De vil ha relativt høy sannsynlighet for antenning da store brennbare gasskyer kan genereres og dermed vil eksponere flere potensielle tennkilder.
 - Store lekkasjer (typisk > 10kg/s) vil gi fete blandinger (for lite luft til å gi brennbar sky) og dermed bidra mindre til eksplosjonsrisikoen. Gasskyen blir svært stor og eksponerer mange potensielle tennkilder, men gassblandingen vil inneholde for lite oksygen til at den kan antenne
3. Konsekvens
 - Ventilasjonsforhold
 - Ved å opprettholde ventilasjonen ved bekreftet gassdeteksjon vil en liten lekkasje (< 1kg/s) tynnes ut og gi mindre støkiometriske skyer og dermed lavere konsekvens ved antennelse. Dette er særlig viktig siden lekkasjefrekvensen er relativt høy for denne kategorien lekkasjer.
 - Effekten for medium eller større lekkasjer (> 1kg/s) er begrenset, men generelt vil ikke størrelsen på maksimal støkiometrisk sky endres betydelig om ventilasjonssystemet opprettholdes eller stenges ned. Det bør imidlertid bemerkes at dersom en lekkasje generer store og fete gasskyer vil skyen på et senere tidspunkt bli brennbar. Dette vil først kunne skje når lekkasjeraten har avtatt slik at det tilføres mindre gass i modulen enn det som luftes ut av ventilasjonsanlegget eller på annen måte.
 - Gasskomposisjon
 - En tung gass fører generelt til høyere trykk sammenlignet med en identisk utstrekning av en støkiometrisk gassky med lette gasskomponenter
4. Kompenserende tiltak
 - Deluge
 - Utløsning av deluge på bekreftet gassdeteksjon i en mekanisk ventilert lukket modul vil ha positiv effekt ved at eksplosjonsovertrykket reduseres, men det forutsetter at deluge utløses før antennelse. Det vil være større sannsynlighet for at man rekker å utløse deluge før antennelse av små gasslekkasjer enn ved store gasslekkasjer. Tidlig deteksjon er kritisk særlig for lekkasjerater mindre enn 1 kg/ for å redusere potensielle konsekvenser av en hydrokarbonlekkasje ved isolering, nedblåsning, tennkildeutkobling og deluge.
 - Eksplosjonstrykkreduksjon
 - Redusert utlufting av eksplosjonsovertrykk ved en eksplosjon i en innelukket modul fører til høyere trykk sammenlignet med en identisk, men åpen og naturlig ventilert modul. Tilstrekkelig areal for åpning og tilstrekkelig pålitelighet av panelene under arktiske forhold er kritisk

3.2 Brann

En brann er en hendelse der en lekkasje antennes raskt og danner en pøl- eller gassjet-brann. Brannens utvikling avgjøres av det brennbare materialets energiinnhold, tilstand til segmentet lekkasjen skjer fra (væske eller gass ved høyt eller lavt trykk) og omgivelsens beskaffenhet (innelukkethet/ tilgjengelighet til oksygen). Oksygennivået i en modul styrer hvorvidt en brann er brenselkontrollert (dvs. at brannen har rikelig tilgang til oksygen) eller ventilasjonskontrollert (dvs. at det slippes ut mer brensel enn det som kan forbrenne, som følge av mangel på oksygen). I en mekanisk ventilert modul vil ventilasjonssystemet være den begrensende faktoren, slik at begrensning i tilført oksygen i en innelukket modul vil være en begrensende faktor for brannens utbredelse.

Mer detaljert beskrivelse av brannfysikk og parametere som påvirker brannforløpet i innelukkede prosess-moduler er gitt i tidligere rapport (Ref. 2).

I det etterfølgende diskuteres /elementer som påvirker brannrisikoen i innelukkede moduler gjennom hendelsesforløpet:

1. Lekkasje
2. Antenning
3. Konsekvens
4. Begrensende / kompenserende tiltak (er i tillegg vurdert i Kapittel 5)

3.2.1 Lekkasje

Lekkaseraten vil påvirke sannsynligheten for antenning (på grunn av økende antall tennkilder som eksponeres) samt brannintensiteten (se kapittel 3.2.3).

En lekkasje i en mekanisk ventilert modul vil, som diskutert under kapittel 3.1, opptre annerledes enn en lekkasje i en godt ventilert modul. I en mekanisk ventilert modul vil bidraget til brannfrekvensen i et område fra de ulike lekkasjeratene endres slik at de små lekkasjene vil få et vesentlig større bidrag enn i godt ventilerte moduler.

Den totale brannfrekvensen vil typisk øke i en mekanisk ventilert modul på grunn av det økte bidraget fra lekkasjerater mindre enn 1 kg/s; se kapittel 3.1 for detaljer knyttet til effekt av lekkasjerate.

3.2.2 Antenning

En liten lekkasje i en mekanisk ventilert modul vil kunne bygge seg opp og danne en brennbar blanding, mens en liten lekkasje i en godt ventilert modul kan tynnes/ventileres ut og ikke bli brennbar. En stor lekkasje i en naturlig ventilert modul vil ha potensiale til å generere en stor og brennbar gassky, mens den i en mekanisk ventilert modul vil bli fet (konsentrasjon over øvre brennbarhetsgrense). Dersom en slik lekkasje har tilgang til luft vil den etter hvert bli tynnet ut til brennbare konsentrasjoner når lekkaseraten avtar. Sannsynligheten for antenning vil være begrenset i denne fasen i og med at tennkilder er koblet ut. Det bemerkes at i normaliseringsfasen (etter at utslippet er stanset, men der det fortsatt er store mengder brennbar gass i modulen) må man fokusere på kontrollert utlufting av gassen, og ikke utføre aktiviteter som gir nye tennkilder, før gasskonsentrasjonen er under brennbar konsentrasjon.

Som diskutert i kapittel 3.1.2, så er det ikke identifisert forskjeller i tennintensitet av identiske lekkasjer i en mekanisk og naturlig ventilert modul. Variasjon i tennsannsynlighet skyldes utstrekningen av lekkasjen og ikke selve antennelsesmekanismene.

3.2.3 Konsekvens – brann uten forutgående eksplosjon

En brann i en innelukket modul vil tidlig i brannforløpet bli ventilasjonskontrollert, spesielt for høye lekkasjerater. Avhengig av størrelsen på modulen, vil det i en mekanisk ventilert modul være en maksimal rate av brennbart medium som kan forbrenne på grunn av begrenset tilførsel av luft fra ventilasjonssystemet. Dersom lekkasjeraten er høyere enn denne raten, eller ventilasjonen stenges ned, vil brannen bli underventilert, dvs. at det vil bli en mengde uforbrent hydrokarbon i modulen som vil øke utover i brannforløpet.

En underventilert brann vil gi generelt lavere varmelaster enn i åpne moduler, men ha en større utstrekning (Ref. 2). For moderate lekkasjerater (typisk opptil 2-4 kg/s) vil det likevel kunne være lokale punktlaster i området nært utslippet som tilsvarer punktlaster i åpne moduler. I en underventilert brann vil det generes større mengder røykgass og sot. Både røykgassene og soten vil bli varmet opp i brannen slik at hele modulen vil kunne bli dekket av oppvarmede gasser. Strålingsnivået fra disse gassene vil normalt ikke være så høyt at det kan true integriteten til bærende struktur, men likevel være høyt nok til å blokkere rømningsmulighet eller gi kritisk stråling for personell som ikke har klart å rømme. Dette er illustrert Tabell 3.2 og Tabell 3.3 som viser et eksempel på varmelaster i en mekanisk ventilert modul. I en slik modul vil man se at maksimal varmelast mot en brannvegg vil være relativt lav ved høye lekkasjerater; modulen vil fylles av uforbrent gass samt sot og røyk, som begge er med på å redusere bidraget fra varmestråling. Ved redusert lekkasjerate vil mengden uforbrent gass og sot reduseres (pga. relativt sett bedre tilgang på oksygen) slik at varmelasten øker. I eksempelet fant man at en lekkasjerate på 2 kg/s tilsvarte tilført oksygen fra HVAC slik at forbrenningen ble nært støkiometrisk og varmelasten ble som for en typisk brenselskontrollert brann i en åpen modul (300 kW/m² eller høyere). Ved en brann i en innelukket modul bør det vurderes å stenge ventilasjonssystemet ved antenning, for å begrense tilgjengelig oksygen, slik at brannintensiteten reduseres.

Tabell 3.2 Eksempel på varmelaster fra jetbrann lokalisert nær brannvegg i en mekanisk ventilert modul med intakte eksplosjonspaneler (Areal 800 m²)

Lekkasjerate [kg/s]	Maks. varmelast mot brannvegg [kW/m ²]	Maks. varmelast mot bærende struktur [kW/m ²]
50	Under 150	Under 100
30	Under 150 (punktlast på opp til 170)	Under 100
20	Under 150 (punktlast på opp til 180)	Under 100
10	Under 150 (punktlast på opp til 200)	Under 100
5	Under 200 (hot spots på opp til 215)	Under 100
2	Under 300 (hot spots på opp til 315)	Under 200

Tabell 3.3 Varmelaster fra en væskedamsbrann i en mekanisk ventilert modul med intakte eksplosjonspaneler (areal 800 m²)

Lekkasje-rate [kg/s]	Maks. varmelast mot brannvegg [kW/m ²]	Maks. varmelast mot bærende struktur [kW/m ²]
43	Under 150	Under 150 (hot spot opp til 180)
30	Under 100	Under 150 (hot spot opp til 180)
20	Under 100	Under 150 (hot spot opp til 180)
15	Under 100	Under 150 (hot spot opp til 180)
10	Under 100	Under 150 (hot spot opp til 180)
5	Under 150	Under 200 (hot spot opp til 210)
2	Under 150	Under 200

I mekanisk ventilerte moduler der det er installert eksplosjonspaneler vil tilgang til oksygen bestemmes av hvor lang tid panelene greier å motstå varmelasten fra brannen. Vanlige eksplosjonspaneler har ikke noen definert brannmotstand, slik at de etter noe tid (typisk 5-10 minutter, avhengig av varmelast) blir skadet slik at det blir åpning til friluft. Økt tilgang til luft vil føre til at en større andel av flammene vil brenne inne i modulen, men også at uantente hydrokarboner slipper ut slik at det blir en økning i eksterne flammer utenfor modulen. Tidspunkt for gjennombrenning er avhengig av avstand mellom lekkasjepunktet og eksplosjonspanelene.

3.2.4 Konsekvens – brann etter eksplosjon

Når en brann følger etter en eksplosjon i et innelukket område, vil eksplosjonspanelene åpne slik at det blir relativt fri tilgang til oksygen. Dette betyr at brannen hovedsakelig vil være brenselkontrollert; kun ved store lekkasjerater (typisk 10 kg/s og høyere) kan brannen fortsatt være ventilasjonskontrollert selv når eksplosjonspanelene er åpne.

3.2.5 Oppsummering

Basert på de eksemplene som er gitt over kan man konkludere med følgende knyttet til branner i mekanisk ventilerte moduler:

1. Det kan forventes at den totale brannfrekvensen vil øke i en mekanisk ventilert modul siden begrenset ventilasjon vil redusere uttynning av brennbar gass, spesielt for lekkasjerater mindre enn 1 kg/, slik at sannsynligheten for å eksponere tennekilder øker. Disse lekkasjeratene har høyere frekvens enn store lekkasjer, slik at en større andel av lekkasjene vil antenne.
2. En brann i en mekanisk ventilert modul med intakte eksplosjonspaneler vil tidlig i brannforløpet bli ventilasjonskontrollert, dvs. ha begrenset tilgang til luft (dvs. være 'underventilert').
3. En underventilert brann vil gi lavere varmelaster, men eksponere et større område for varmelaster som kan gi kritisk eksponering av personell som ikke har klart å rømme.
4. En brann som etterfølger en eksplosjon vil ha betydelig bedre tilgang til oksygen i og med at eksplosjonspanelene er åpne. Dette medfører at et større område i modulen eksponeres for høye laster, og en større andel av brannen befinner seg inne i modulen.

4 BARRIEREANALYSE

Alle barrierer inkludert i NORSOK S-001 (Ref. 1) er systematisk vurdert for hvordan disse påvirkes av mulig innelukking:

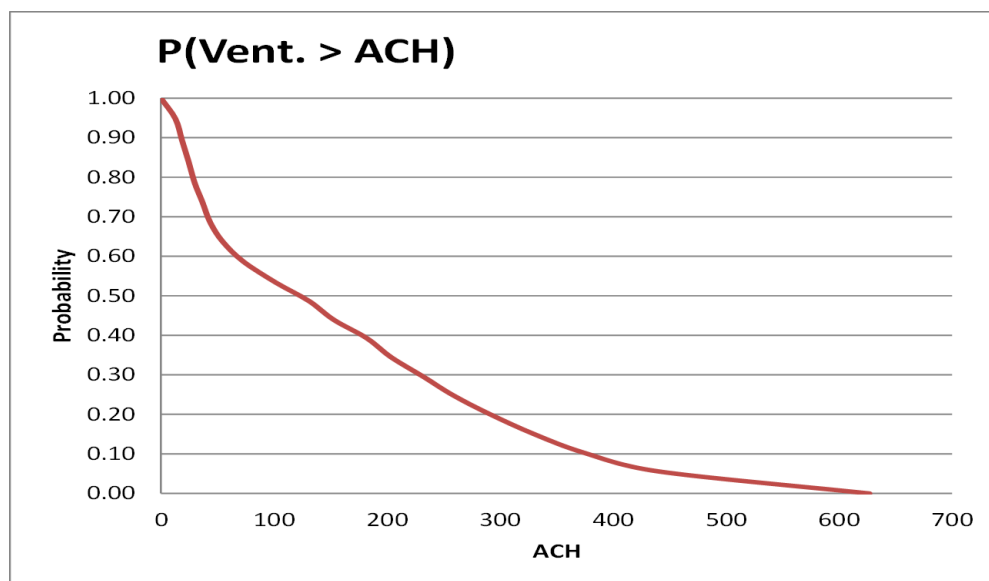
1. Hvordan barrieren påvirkes av arktiske forhold og innelukking når det gjelder pålitelighet, funksjon og sårbarhet
2. Hvilke utfordringer vi ser og hvordan risikobildet påvirkes
3. Hvilke risikoreducerende tiltak som finnes eller vurderes i industrien i dag
4. Andre influerende faktorer

Fokuset er på de barrierene som påvirker risikoen for storulykker og som påvirkes mest av arktiske forhold.

Den komplette kartleggingen er dokumentert i Vedlegg A. Et sammendrag av de viktigste forholdene er presentert i Tabell 4.1.

Den barrieren som påvirkes direkte av innelukking er «ventilasjon». Andre barrierer kan designes for å kompensere for den negative effekten av redusert ventilasjon.

Det er ikke realistisk å oppnå samme antall luftutskiftninger med mekanisk ventilasjon som med naturlig ventilasjon. Eksempelen i Figur 4.1 viser sannsynligheten for et gitt antall luftutskiftninger per time (ACH) i en naturlig ventilert modul som akkurat oppfyller kravet til 12 ACH 95% av tiden; dvs. at modulen har en betydelig grad av innelukking, men at et høyt antall luftvekslinger vil være tilstede en betydelig andel av tiden. I dette eksempelet er gjennomsnittlig antall luftutvekslinger ca. 130 pr time.



Figur 4.1 Sannsynlighet for antall luftutskiftninger per time i naturlig ventilert modul med betydelig grad av innelukking

Ventilasjonen påvirker, som beskrevet i kapittel 3, først og fremst hvordan en gasslekkasje utvikler seg og konsekvensene av en antenning. Gitt like prosessbetingelser, lik geometri og lik initiell lekkasjerate vil en lekkasje i en innelukket modul gi gasskyer som vokser raskere og eksponerer flere potensielle tennkilder. Eksplosjonslastene øker generelt med størrelsen på gasskyen som antennes og grad av innelukking. Det er en lang rekke mulige risikokompenserende tiltak som er aktuelle i forhold til brann og eksplosjon. De fleste av disse tiltakene er aktuelle både ved naturlig ventilerte og innelukkede mekanisk ventilerte moduler. Viktigheten av tiltakene er imidlertid enda større for innelukkede mekanisk ventilerte moduler. Tiltak som reduserer eksplosjonsrisiko er ansett å være spesielt viktige og kan vise seg påkrevet for å oppnå akseptable risikoforhold for innelukkede mekanisk ventilerte moduler.

Tabell 4.1 Sammendrag av barriere-effekter for mekanisk ventilerte moduler under arktiske forhold (i henhold til NORSOK S-001)

NORSOK S-001 kap.	Navn	Effekter for mekanisk ventilerte moduler (sammenlignet med naturlig ventilerte moduler) under arktiske forhold	Mulige kompenserende tiltak
5	Layout	Mekanisk ventilasjon krever innbygging, som medfører: • Redusert ventilasjon • Høyere eksplosjonstrykk ved samme lekkasjerate og betingelser sammenlignet med naturlig ventilert modul • Utfordringer for effektiv materialhåndtering (luker/dører/krandekning) • Innbygging medfører effektiv skjerming for snø, is oppbygging og fallende is • Innbygging kan medføre mindre behov for termisk isolasjon eventuelt mindre behov for prosessoppvarming samt frostbeskyttelse Generelt er mekanisk ventilerte moduler i arktiske forhold vurdert som et tiltak for å sikre akseptable arbeidsforhold og vinterisetringstiltak for utstyr. For utførte og planlagte utbygginger så langt i Barentshavet er det imidlertid i liten grad vurdert å være påkrevet med mekanisk ventilasjon og dette er derfor unngått av kostnads- og sikkerhetshensyn.	God layout kan kompensere for økt risiko ved mekanisk ventilasjon. Eksempler: • ISO 13702, vedlegg B, gir veiledning på design i forhold til eksplosjonsrisiko (Ref. 8) • Inndeling i mindre områder og flere brannskiller mellom prosess-områder begrenser konsekvensen av hver hendelse • Optimalisere utstyrstetthet versus modulstørrelse i forhold til eksplosjonsrisiko. • Unngå soner, hjørner og lignende i modulene med stillestående luft • Raskere trykkavlastning og mindre gass-segmenter i brannområdet begrenser konsekvensen av hver hendelse • Lokalisere gass-segmenter og utstyr som har høy lekkasjefrekvens i områder som har bedre ventilasjon, • Orientering og plassering av utstyr og større objekter, slik at potensialet for trykkoppbygging begrenses og eksplosjonstrykkreduksjon maksimeres. • Bruk av eksplosjonspaneler for å bedre eksplosjonsavlastning, som reduserer designlastene. • Eksplosjonspaneler som åpner raskt med høy pålitelighet også i arktiske forhold • Det er også muligheter knyttet til fremtidig utvikling av moduler med inert atmosfære
6	Strukturell integritet	Struktur må designes for økte eksplosjonslaster	• Se «Layout» for tiltak som reduserer lastene. • Optimalisering av strukturdesign v.h.a. ikke-lineære og plastiske analyser.

NORSOK S-001 kap.	Navn	Effekter for mekanisk ventilerte moduler (sammenlignet med naturlig ventilerte moduler) under arktiske forhold	Mulige kompenserende tiltak
7	Forhindre lekkasjer	I utgangspunktet er det potensiale for lavere frekvens for lekkasjer i mekanisk ventilerte moduler pga. kontrollert atmosfære (temperatur og fuktighet samt skjerming for snø og is), potensielt mindre isolasjon og frostsikring samt gode arbeidsforhold for inspeksjon, reparasjon og modifikasjoner. Dette er imidlertid ikke underbygget av rapporterte lekkasjefrekvenser fra eksisterende installasjoner med mekanisk ventilerte prosessområder.	- Redusere omfanget av isolasjon på prosessutstyr og rør for å unngå korrosjon og lette inspeksjon, gjennom andre tiltak som fjerner behovet for isolasjon - Materialvalg - Kvalitet og vedlikehold på flenser, koblinger og instrumenter - Unngå vibrasjoner - Sveisede istedenfor flensede forbindelser - Vedlikeholdsvennlighet innbakt i design og høy kvalitet på inspeksjon og vedlikehold i drift.
8	Åpent dreneringssystem	Deler av systemet som er innenfor modulen vil være beskyttet mot snø/is/kulde, men systemet utenfor modulen må «vinteriseres» tilsvarende som for naturlig ventilerte moduler for å sikre funksjon.	
9	Prosess-sikring	- Reduserer problem med voks i olje og hydrat i gass, siden lavtemperaturvariasjoner reduseres. - Feltutstyr er mer beskyttet i en innelukket modul.	
10	Nødavstengningssystem (NAS)	- Effektiviteten til NAS er viktigere for mekanisk ventilerte moduler ettersom en liten lekkasje kan representere et større farepotensiale. En tennbar blanding kan bygge seg opp raskere, vare lenger og dekke større områder (økt sannsynlighet for tenning og større eksplosjonslaster). - Feltutstyr er mer beskyttet i en innelukket modul.	Seksjonere prosessen i mindre segmenter som begrenser gasskyene
11	Nedblåsning, fakkel og atmosfærisk utluftingspunkt	Effektiviteten er viktigere for mekanisk ventilerte moduler ettersom en liten lekkasje kan representere ett større farepotensiale	- Seksjonere prosessen i mindre segmenter som begrenser gasskyene - Raskere, eventuelt seksjonert trykkavlastning

NORSOK S-001 kap.	Navn	Effekter for mekanisk ventilerte moduler (sammenlignet med naturlig ventilerte moduler) under arktiske forhold	Mulige kompenserende tiltak
12	Gassdeteksjon	• Effektiviteten er viktigere for mekanisk ventilerte moduler ettersom en liten lekkasje kan representere ett større farepotensiale • Feltutstyr er mer beskyttet i en innelukket modul • Lettere å designe et godt deteksjonssystem ettersom ventilasjonsforholdene er kjent og stabile. • Liten fare for deteksjon i feil område	• Justere opp følsomhet på gassdetektorer (tidlig-deteksjon) • Optimalisere detektorplassering • Øke detektortettheten • Optimalisere plassering av utkast i forhold til andre moduler og luftinntak slik at gass ikke spres til andre moduler
13	Branneteksjon	• Liten fare for deteksjon i feil område. • Feltutstyr er mer beskyttet og skjermet i en innelukket modul	
14	Tennkildekontroll	• Effektiviteten er viktigere for mekanisk ventilerte moduler ettersom en liten lekkasje kan representere ett større farepotensiale • Feltutstyr og tennkilder er mer beskyttet og skjermet i en innelukket modul. Beskyttelse for vær og vind kan gi mindre feilsannsynlighet på elektrisk utstyr	• Klassifisere områder som Zone 1 istedenfor Zone 2 pga dårligere ventilasjon – valg av EX-klasse på utstyr. • Iverksette tennkilde-utkobling på lavere ESD-nivå • Redusere mulighet for feil på elektrisk utstyr som kan føre til tenning, for eksempel ved temperaturovervåking, overspenningsvern, EX-sikring • Materialvalg og jording for å unngå statisk elektrisitet • Maksimere avstand fra klassifisert område til roterende utstyr og luftinntak • Det er også muligheter knyttet til fremtidig utvikling inert atmosfære
15	Menneske-Maskin Interface (MMI)	• Ingen vesentlig påvirkning av innelukking	

16	Ventilasjon	• Mekanisk ventilerte moduler vil medføre gjennomsnittlig dårligere ventilasjon. Det medfører at selv lekkasjerater mindre enn 1 kg/s kan bygge opp vesentlig størrelse på antennebare gasskyer. • Selv en modul som med naturlig ventilasjon bare så vidt oppfyller kravet til minimum antall luftvekslinger, vil gjennomsnittlig ha en lavere risiko for kraftige eksplosjoner enn mekanisk ventilerte moduler. Dette fordi gjennomsnittlige ventilasjonsrate vil være betydelig høyere enn vanlig ventilasjonsrate for mekanisk ventilerte moduler (12 luftvekslinger per time). I tillegg vil gass i en naturlig ventilert modul kunne spre seg ut av modulen. • Grad av innbygging påvirker vesentlig dimensjonerende eksplosjonstrykk • Såkalt "dilution ventilation" for å holde konsentrasjon av gass under LFL krever høye ventilasjonsrater fra et HVAC-anlegg. I følge EI15 (Annex F, tabell F3) kreves ventilasjonsrate på 163 ACH for lekkasje fra et 10mm hull med typisk naturgass med 100 bar trykk. • Mekanisk ventilasjon er en svært kostnadsdrivende funksjon og man vil normalt søke å unngå dette dersom det ikke er påkrevet pga. arktiske forhold. • De felt som pr i dag er i drift eller prosjekteres i Barentshavet er uten mekanisk ventilerte prosessmoduler. Tilfredsstillende arbeidsforhold (WCI), håndtering av prosessstekniske forhold (temperatur) og snø /is er så langt tilfredsstillende løst med større eller mindre grad av værvegger. Fremtidige utbygginger med strengere arktiske værforhold kan medføre at mekanisk ventilasjon blir påkrevet. • Vanlig designløsning på eksisterende innretninger med innelukkede prosessmoduler er 1 x 100 % eller 2 x 50 % konfigurasjon på ventilasjons-systemet med 12 ACH. Bortfall av ventilasjon medfører ikke produksjons-nedstengning. Ventilasjonssystemene har høy tilgjengelighet slik at dette ikke er ansett som noen vesentlig utfordring. Ventilasjonssystemet er ikke tilknyttet nødstrøm.	Mulige tiltak for å motvirke de negative effektene av innelukking: • Se også tiltak for barriere «layout» over • Betydelig økt ventilasjonsrate kan være et kompenserende tiltak men medfører tilsvarende høye kostnader og praktiske utfordringer som kraftforsyning • Utforming av ventilasjonssystemet slik at det ikke er sårbart for snø og is i f.eks. luftinntak og avkast. • Rask utløsning av deluge • Man kan seksjonere modulen med "soft barriers" for eksempel plast- eller vanngardiner • Eksplosjonspaneler. • Aktive paneler. (ny teknologi)
----	-------------	---	---

NORSOK S-001 kap.	Navn	Effekter for mekanisk ventilerte moduler (sammenlignet med naturlig ventilerte moduler) under arktiske forhold	Mulige kompenserende tiltak
		For større lekkasjer kan det være mulighet for spredning til andre områder via utluft-kanaler etc. Dvs. sikker plassering og utforming av inntak og avtrekk er essensielt.	
17	Kommunikasjon PA / GA	Feltutstyr er mer beskyttet og skjermet i en innelukket modul	
18	Nødkraft	- Dersom HVAC er et sikkerhetskritisk system vil det øke behovet for nødkraft og funksjonen kan påvirkes dersom systemet ikke har tilstrekkelig kapasitet - UPS batterier kan fungere dårligere ved lav temperatur	Gode estimater på behov for nødkraft tidlig, slik at man kan dimensjonere nødkraftsystemet
18	Nødbelysning	Feltutstyr er mer beskyttet og skjermet i en innelukket modul	
19	Passiv brannbeskyttelse (PBB), utstyr og rør	- Isolasjonsmaterialet er mer beskyttet og skjermet i en innelukket modul - PBB skal tåle design eksplosjonslaster (som kan være høye i en innelukket modul)	Tiltak som reduserer muligheten for lekkasjer og tenning reduserer også behovet for brannbeskyttelse.
19	Passiv brannbeskyttelse(PBB), struktur	- Brannlastene og behovet for brannbeskyttelse i innelukkede moduler avhenger av om det skal dimensjoneres for brann med eller uten forutgående eksplosjon (tilgang på oksygen) - PBB skal tåle design eksplosjonslaster (som kan være høye i en innelukket modul) - Isolasjonsmaterialet er mer beskyttet og skjermet i en innelukket modul - Materialet må sannsynligvis motstå høyere eksplosjonslaster (skal motstå designlaster for eksplosjon før brann)	Tiltak som reduserer muligheten for lekkasjer og tenning reduserer også behovet for brannbeskyttelse.

NORSOK S-001 kap.	Navn	Effekter for mekanisk ventilerte moduler (sammenlignet med naturlig ventilerte moduler) under arktiske forhold	Mulige kompenserende tiltak
20	Brannslukkingssystemer	- Distribusjonssystem i modulen mindre utsatt for frost og dermed mer pålitelig - Avhengig av valg av brannvannsløsning: Rørføring av forsyningsrør gjennom flere mindre områder krever robuste rørføringer som tåler designlastene for eksplosjon/brann i de områdene de føres igjennom, dette for å sikre at vann distribueres til eksponert området. - Systemet skal tåle design eksplosjonslaster (som kan være høye i en innelukket modul)	- Utløsning av brannvann på gassdeteksjon for å begrense eksplosjonstrykk - Sikre så rask utløsning som mulig - Sikre høy pålitelighet på varmelementer og heat tracing - Robustgjøring a rørføringer hvis utsatt for scenarier - tåle de lastene som rørene kan bli utsatt for - Materialvalg - Det er også muligheter knyttet til fremtidig utvikling av inert atmosfære
21	Rømningsveier	Beskyttet mot snø og is i innelukkede moduler	
21	Evakuering	Ikke sett på i denne studien	
22	Rednings- og sikkerhetsutstyr	Feltutstyr er mer beskyttet og skjermet i en innelukket modul	
23	Marine systemer og posisjonering	Ikke sett på i denne studien	
24	Kollisjonsbarrierer	Ikke sett på i denne studien	

5 VURDERING AV OG INNSPILL TIL DESIGNLØSNINGER

Dette kapitlet inneholder innspill til design av prosessmoduler i arktiske områder med formål å redusere/kontrollere brann- og eksplosjonsrisikoen.

Vi har innhentet og systematisert kunnskap om designløsninger både fra designfasen av nyere innretninger og fra innretninger som er i drift (noen i flere tiår). Flere eldre innretninger på norsk sokkel har innelukkede prosessområder (Nordlige Nordsjøen/Haltenbanken). Forståelsen av eksplosjonsrisiko har blitt betydelig bedre enn den var da disse ble designet. Kunnskap om gassspredning, eksplosjoner og branner er fremkommet gjennom forsøk og modellering, både for teoretiske designløsninger og for faktiske løsninger implementert offshore. I denne rapporten fokuserer vi på hvordan denne kunnskapen kan brukes for å finne risikoreduserende og praktiske designløsninger.

For en gitt løsning vil det som oftest være både fordeler og ulemper, sammenlignet med alternative løsninger. Ofte er det slik at ett tiltak ikke kan besluttet uten at man vurderer summen av løsninger og tiltak. Det forventes at operatørene gjør en helhetlig risikovurdering basert på de spesifikke utfordringene for hver installasjon, operasjon og lokasjon. Faktorer som vil berøres, kan være:

- Effektivitet og usikkerhet i forhold til å kontrollere storulykkerisiko
- Kjent eller ukjent teknologi
- Følgekonsekvenser på andre systemers kompleksitet
- Investeringskostnad
- Vedlikeholdsvennlighet
- Innvirkning på drift av installasjonen, herunder bemanningskonsekvenser

I dette kapitlet oppsummerer vi de tiltakene som anses som god design og de mest effektive tiltakene.

5.1 Mekanisk ventilerte prosessmoduler

I innelukkede moduler med fare for utslipp av hydrokarboner, tilfører et mekanisk ventilasjonssystem typisk 12 luftvekslinger pr. time for å:

- tilfredsstille krav til sone 2 områdeklassifisering under normal drift; og
- tynne ut en gasslekkasje med storulykkepotensiale.

Mekanisk ventilerte moduler gir i basis høyere kostnader og utfordringer i forhold til sikkerhet enn åpne. Spesifikt på grunn av utfordringer på grunn av høye dimensjonerende eksplosjonslaster.

De barrierene som er kritiske for å kontrollere storulykkerisikoen må være operative. Dette betyr:

- HVAC-systemet må fungere som forutsatt. Snø og is skal ikke blokkere luftinntak eller avkast
- Eksplosjonspaneler må ikke blokkeres av snø, is eller fysiske obstruksjoner

Dersom man velger et konsept med innelukkede prosessmoduler vil konsekvensene av en antent gasslekkasje bli alvorlige og ett viktig prinsipp er å sørge for at man har gjort det som er praktisk mulig gjennom design og drift for å unngå slike hendelser. Samtidig kan man påvirke konsekvensbildet signifikant gjennom designbeslutninger, som gjerne må tas tidlig i et prosjektløp. Det er derfor viktig at man er bevisst på når beslutninger kan tas både for å minimere storulykkerisikoen og for å minimere

kostnadene ved implementering. Tabell 5.1 viser hensyn man bør vurdere når man velger designløsninger.

Tabell 5.1 *Designtiltak ved innelukkede mekanisk ventilerte prosessmoduler*

NORSOK S-001 kapittel	Tiltak	Viktige hensyn når det gjelder innelukkede moduler	Vurdering
	Ny teknologi	Dersom man vurderer å innføre tiltak som klassifiseres som ny teknologi, vil det være nødvendig å identifisere disse i tidligfase og planlegge et kvalifiseringsløp før endelig beslutning om implementering tas. Eksempler på mulige tiltak som ikke er utprøvd er: Aktive eksplosjonspaneler Inert atmosfære Se også kapittel 5.4.	Ukjent pålitelighet Ukjent kostnad og mulig innvirkning på tidsplan
5	Utforming og plassering av hovedutstyr	Det største prosessutstyrsenhetene har ofte også lang leveringstid og detaljpesifiseres tidlig i prosjektløpet. Da er det viktig at man har et gjennomtenkt design som minimerer eksplosjonsrisiko og at design-ulykkeslaster er robuste. Se vedlegg B i ISO 13702 (Ref. 8)	Stor påvirkning på konsekvens av hendelse Begrenset kostnad om implementert i tide
5	Geometri	Å begrense den lengste «brannlengden» i en modul har stor innvirkning på turbulens og eksplosjonstrykk. Kvadratiske områder kan være mer gunstige enn avlange. Det er enda viktigere i et dårlig ventilert område at alt utstyr, rør, kabelgater, etc. utformes og plasseres med tanke på at turbulensen i en eksplosjon minimeres. Man bør unngå soner, hjørner og lignende med stillestående luft. Dette er prinsipper som må etableres tidlig og følges opp. Hvordan luften vil strøme i modulen og hvordan trykket skal avlastes ved en eksplosjon må tas hensyn til, for å minimere blokkeringer. Utstyrstettheten må begrenses. Se vedlegg B i ISO 13702 (Ref. 8)	Stor påvirkning på konsekvens Begrenset kostnad om implementert i tide
5/7	Vedlikeholdsvennlighet	Lekkasjer oppstår ofte i forbindelse med vedlikehold. Gjennom god design/tilkomst og god dokumentasjon for drift og vedlikehold kan man redusere sannsynligheten for at lekkasjer inntreffer.	Påvirkning på frekvensen av hendelser
5/21	Rømningsveier	Et system av rette, oversiktlige rømningsveier som sikrer rask rømning ut av området er viktig siden man har begrenset med tid fra en liten gasslekkasje oppstår til potensielt store tennbare skyer er dannet. Gjennomtenkt utforming av rømningsveier kan også være med på å begrense turbulensen i modulen og redusere eksplosjonslastene	Stor påvirkning på konsekvens Begrenset kostnad om implementert i tide
7	Materialvalg	Gjennom materialvalg kan man påvirke risikoen for lekkasjer fra prosessutstyr. Å unngå lekkasjer er enda mer kritisk i innelukkede prosessmoduler	Påvirkning på lekkasjefrekvens
7	Rørdesign	Gjennom rørdesign kan man påvirke risikoen for lekkasjer fra prosessutstyr; Antall og kvalitet på flenser,	Påvirkning på lekkasjefrekvens

NORSOK S-001 kapittel	Tiltak	Viktige hensyn når det gjelder innelukkede moduler	Vurdering
		koblinger og instrumenter, mengde isolasjon. Unngå vibrasjoner og materialtretthet	
10	Kapasitet til fakkelsystemet	Siden konsekvensene av en relativt liten gasslekkasje har et større potensiale for store konsekvenser i dårlig ventilerte områder, bør man fjerne gassen på en rask og kontrollert måte for å redusere brennbart material.	Stor påvirkning på konsekvens
11	Segmentering, antall isolasjonsventiler og plassering av disse	Begrense mengden gass i segmentene med isoleringsventiler for å redusere den totale mengden gass som kan lekke ut i hvert scenario.	Stor påvirkning på konsekvens
12	Gassdeteksjons-filosofi	Forholdene gjør at det kan være enklere å optimalisere plasseringen av detektorer, derfor kan dette ha en god kost-nytte verdi. I områder med begrenset ventilasjon vil det være kortere tid fra en liten lekkasje oppstår til man får en relativt stor sky med tennbar blanding, derfor bør man også detektere lekkasje raskest mulig. Man bør vurdere å senke grenseverdiene som gir alarm og aksjon. I innelukkede moduler vil risikoen for å detektere lekkasje i feil område være liten og man kan vurdere områdevis trykkavlastning for å utnytte kapasiteten i fakkelsystemet maksimalt.	Stor påvirkning på konsekvens
13	Branndeteksjons-filosofi	I innelukkede moduler vil risikoen for å detektere brann i feil område være liten og man kan vurdere områdevis trykkavlastning for å utnytte kapasiteten i fakkelsystemet maksimalt Etter antenning, når brann detekteres, kan man i liten grad påvirke det videre utfallet.	Lite rom for risikoreduksjon, gitt standard design
14	Tennkildekontroll	Siden en antent gasslekkasje i en innelukket modul gir potensielt store laster, bør man redusere muligheten for antenning så langt som mulig.	Dagens standardkrav anses som meget bra
16	Eksplosjonspaneler	Nødvendig areal for eksplosjonstrykkreduksjon må identifiseres. Når framtidige større modifikasjoner er aktuelt for innretningen, må plassering og utforming ta hensyn til at dette skal være mulig uten å blokkere eksplosjonspanelene.	Stor påvirkning på konsekvens
19	Brannbeskyttelse og isolasjon på rør og utstyr	I mekanisk ventilerte moduler kan man anta at HVAC-systemet bidrar til mindre behov for heat tracing og varmeisolasjon. Bruk av PBB for å forhindre eskalering mellom segmenter i samme område må veies mot risikoen som brannisolasjon medfører: - Korrosjon under isolasjon kan føre til lekkasje, - mer behov for vedlikehold som fører til lengre oppholdstid av personell, - større overflate øker eksplosjonslasten på rør. Brannintegritet av utstyr og rør er påkrevd dersom eskalering ville overskride definerte designlasten på	

NORSOK S-001 kapittel	Tiltak	Viktige hensyn når det gjelder innelukkede moduler	Vurdering
		områdeskillene. Man kan vurdere tiltak som å øke godstykkelsen eller nedblåsningsraten for å redusere omfanget av brannisolasjon.	
20	Brannsluknings-filosofi	Rask utløsning av deluge, med riktig dråpestørrelse og før en gassky antennes, reduserer eksplosjonstrykket.	Stor påvirkning på konsekvens

5.1.1 Antall og størrelse på prosessområder

Et av de bevisste valgene man må ta tidlig, er antall og størrelse på prosessområdene. Under drøftes fordeler og ulemper når man skal beslutte om man vil ha ett stort prosessområde eller flere mindre.

Tabell 5.2 Valg av størrelse på mekanisk ventilerte prosessmoduler

Løsning	Fordeler	Ulemper
Flere mindre innelukkede prosessområder, adskilt med brann- og eksplosjonsskille og NAS	Reduserer potensialet for lekkasjer i hver modul, mindre lokal eskalering, begrenser maksimal størrelse av gasskyer, kortere vei for flammefronten å akselerere. Mulig lavere eksplosjonslast (dersom andre faktorer tillater det, som utstyrstetthet, segmentering og trykkavlastning). Kortere vei å rømme for personell i området. Mindre brannvannspumper sidene de dimensjonerende områdene er mindre. Mulighet for redusert trykkavlastningstid dersom man trykkavlaster områdevis (innelukking forhindrer deteksjon i feil område)	Sannsynligvis mer kostbart sammenlignet med ett stort område på grunn av mer stål og mer fabrikkasjonsarbeid. Høyere totalvekt. Mulig mer komplisert layout og rømningsstrategi for innretningen Fare for større utstyrstetthet i hvert område dersom tilgjengelig areal er begrenset.
Ett stort prosessområde	Sannsynligvis lavere kostnad enn flere områder. Dersom gasskyene ikke kan bli for store (for eksempel for ren oljeproducent) vil effekten på eksplosjonslast bli mindre enn i et område med gassprosess	Utfordringene med brann- og eksplosjonslast blir sannsynligvis større enn ved flere mindre områder på grunn av større mengder hydrokarboner, mer potensiale for intern eskalering, større gasskyer og lengre vei for flammefronten å akselerere ved en eksplosjon. Høyere laster medfører behov for mer robuste brann- og eksplosjonsskille som øker vekt og kost. Store brannvannspumper. Dersom design av rømningsveiene ikke blir prioritert kan det ta lenger tid å rømme ut av området.

5.2 Naturlig ventilerte prosessmoduler med stor grad av værbeskyttelse

Siden det sannsynligvis ikke vil være klart om man ender opp med en helt innelukket modul før man har prøvd å oppnå akseptable forhold i en naturlig ventilert modul, inkluderer vi en diskusjon av design for slike områder som oppfyller minimumskravene til luftutskiftninger.

Utfallsrommet for eksplosjoner i naturlig ventilerte moduler er større enn for mekanisk ventilerte moduler siden vindretning og -styrke vil variere. For de fleste tilstander vil samme lekkasjerate i en mekanisk ventilert modul gi større brennbare skyer enn i en naturlig ventilert modul, men ved ugunstig vindretning og/eller lave vindhastigheter kan det bli store brennbare skyer også i åpne moduler. Ved slike værforhold kan ulykkeslastene signifikant overskride designlastene.

For prosessmoduler med stor grad av værbeskyttelse er det å optimalisere layout for å minimere eksplosjonsrisikoen et veldig viktig tiltak, slik som beskrevet for helt innelukkede moduler.

Siden temperaturen i naturlig ventilerte moduler ikke reguleres, vil den svinge med omgivelsestemperaturen, spesielt dersom områdene er relativt små. Varmetap fra utstyr og rør vil redusere potensialet for minusgrader inne i området og i store prosessmoduler vil sentrale områder være mindre eksponert for kulde enn de ytre. Man kan anta at det vil være mer behov for termisk isolasjon, oppvarming og heat tracing i slike moduler enn i mekanisk ventilerte. Mer oppvarming og heat tracing kan bety flere tennkilder i det eksplosjonsfarlige området og det er viktig at integritet på slikt utstyr ivaretas. Mer isolasjon på utstyr og rør medfører et potensiale for vanninntrengning, kondens, frostskafer og korrosjon under isolasjonen. Dersom prosess- eller hjelpesystemer fryser kan det føre til blokkeringer, mulig trykkoppbygning og lekkasje.

En opplagt fare ved naturlig ventilerte moduler er inntrenging av snø og ising. Snø og is skal ikke svekke de barrierene som er kritiske for å kontrollere storulykkerisikoen. Dette betyr spesifikt:

- Gass- og flammedetektorer må fungere. Spyling av linser med instrumentluft er et tiltak som er effektivt mot snøfokk i praksis. Oppvarming er et annet mulig tiltak, men den smeltede snøen kan da fryse på et annet sted
- Rømningsveier må holdes fri for snø og is

Fra innretninger som er i drift i kalde områder i dag oppnås akseptable forhold ved hjelp av for eksempel:

- Gjennomtenkt plassering av arbeidsplasser og mulighet for å planlegge ut fra værforhold, eventuelt bruk av temporær beskyttelse
- Islaster har så langt ikke vært vesentlig utfordring på grunn av høyt fribord og lokalisering i Golfstrømmen.
- Værbeskyttelse har skjermet for snø og fallende is
- Heat tracing, oppvarming og isolasjon av prosess- og sikkerhetssystemer
- Beskyttelse og heat tracing av rømningsveier, evakueringsmidler og helidekk
- Vedlikeholdsplaner tilpasset forholdene og årstidene

5.3 Designbeslutninger som bør vurderes i ulike prosjektfaser

Et tiltak besluttet implementert i rett tid vil medføre mindre kostnader og andre konsekvenser enn om det blir implementert senere. Under diskuteres faser og hvilke beslutninger som typisk må tas når.

5.3.1 Mulighetsstudier – tidlig konsept

På dette stadiet vil det kunne være et vidt spekter av utbyggingsløsninger som vurderes – som FPSO, PDQ, subsea-alternativer, etc. Gradvis vil man måtte bestemme den overordnede felt-layouten, størrelsen på innretningene og områdeinndelingen. Det er naturlig at utfordringene med behov for innelukkning er en del av problemstillingene som diskuteres før man velger konsept og går videre til neste fase (FEED).

Eksempel på fundamentale beslutninger som må tas tidlig for å kunne estimere kostnaden til konseptet og ta beslutning om å finansiere neste fase kan være:

1. Grad av lokal prosessering versus ilandføring
2. Antall områder og størrelsen på disse (se Tabell 5.2)
3. Relativ plassering av områder
4. Avstand mellom områder
5. Rømnings- og evakueringsstrategi
6. Kraftbehov og forsyning (som kan påvirkes av HVAC-behov og oppvarmingstiltak)
7. Bemanningsfilosofi (jernstyring versus lokalt vedlikehold)

Der værforholdene tilsier at akseptable arbeidsforhold eller tilgjengeligheten/oppetid av utstyr ikke kan garanteres ved naturlig ventilasjon, vil innelukkede mekanisk ventilerte prosessmoduler kunne være aktuelt. Det vil være viktig å sikre korrekt og godt underlag, dvs. meteorologiske data (vind/temperatur/nedbør) fra lokasjonen, for å kunne vurdere mest optimale løsninger. Ulike løsninger måtte vurderes mot hverandre og ulike kombinasjoner av værforhold vil kunne være avgjørende for hvilket konsept som bør velges.

5.3.2 FEED – forprosjektering

I denne fasen har man som regel valgt ett konsept, eller man detaljerer ut flere konsepter. Etter hvert vil man ha tilstrekkelig underlag til å kjøre avanserte brann- og eksplosjonssimuleringer. Mot slutten av FEED-fasen vil ofte hovedutstyr med lang leveringstid spesifiseres; med krav til ulykkeslaster, layout, tilkomst, isolasjon, etc. Siden det vil medføre ekstrakostnader å endre spesifikasjoner senere legger man inn en designmargin på brann- og eksplosjonslaster i denne fasen.

Studier som typisk gjøres i FEED for å støtte designbeslutninger er:

1. Ventilasjonssimuleringer
2. Spredningssimuleringer
3. Eksplosjonssimuleringer
4. Brannsimuleringer

Layout av innretningen blir i all hovedsak fastlagt i FEED. Dekksareal og områdeinndeling fryses tidlig og senere økning i antall utstyrsenheter eller størrelse vil medføre at tettheten øker.

5.3.3 Detaljprosjektering

Filosofiene, strategiene og de viktigste beslutningene er tatt før denne fasen – for å forhindre kostnadsøkninger. Det viktigste i denne fasen er at de blir etterlevd gjennom detaljeringen og at man håndterer uforutsette problemstillinger på en effektiv og prinsippfast måte.

Studier som typisk gjøres i detaljprosjektering for å støtterelevante designbeslutninger er:

1. Simuleringer av eksosspredning
2. Rømningstidsstudier
3. Verste tenkelige prosessbrann scenario studier for å identifisere behov for brannisolasjon for å hindre uakseptabel intern eskalering
4. Spredningssimuleringer for å optimalisere plassering av og antall gassdetektorer
5. Verifikasjon av dimensjonerende brann- og eksplosjonslaster ved oppdatering av brann- og eksplosjonssimuleringene fra FEED

5.3.4 Fabrikasjon

Etter hvert vil fabrikasjon starte og prosjektet går over i en oppfølgingsfase for å gi støtte til fabrikasjon og håndtere avvik og uforutsette utfordringer. Det er da viktig at strategien for å minimere brann- og eksplosjonsrisiko er tydelig og etterfølges.

Det er også viktig å passe på at kvaliteten av de installerte barrierene blir i henhold til slik de er spesifisert. Avvik på materialer eller installasjonsdetaljer kan påvirke funksjonen og påliteligheten.

5.3.5 Modifikasjoner

Det er viktig at premissene og bakgrunnen for det etablerte design er godt dokumentert fra tidligere prosjekter og forstått slik at man ikke forringer kvaliteten på de etablerte designløsningene.

5.4 Vurdering av identifisert mulig ny teknologi

I arktiske strøk kan det være påkrevet med innelukkede moduler av hensyn til arbeidsmiljøforhold, beskyttelse mot snø og is samt skjerming av prosess og hjelpesystemer for frost-, hydrat- og voksproblemer. Risikoen med innelukkede moduler kan kontrolleres med veldokumenterte tiltak. To nye teknologier kan nevnes, siden de spesifikt angriper utfordringer knyttet til prosessmoduler under arktiske forhold.

5.4.1 Aktive vindpaneler for arktiske forhold

Passive eksplosjonspaneler, som normalt er tette, skal redusere overtrykket inne i modulene ved en eksplosjon. Slike har vært installert på norsk sektor i ca. 30 år.

Som beskrevet i Ref. 2, utvikles det mer avanserte aktive eksplosjonspaneler tenkt for bruk i Arktis under forhold med lave temperaturer og is/snø. Aktive vindpaneler som holdes åpne når det er lave vindhastigheter og aktivt åpnes ved lekkasjer kan gi en betydelig risikoreduserende effekt for eksplosjonsrisiko. Pålitelighet av disse generelt, og spesielt ved arktiske forhold, må imidlertid videreutvikles før en slik teknologi kan anvendes. Følgene for og avhengigheten av hjelpesystemer som nødkraft, hydraulikk/pneumatikk og kontrollsystemer må også vurderes.

De siste årene har det vært lite interesse for og videreutvikling av aktive paneler.

5.4.2 Bruk av ikke-brennbar (inert) atmosfære

En mulighet for å håndtere utfordringene knyttet til brann og eksplosjon i innelukkede moduler er å introdusere en ikke-brennbar atmosfære.

INERGEN® er i dag mye brukt som et slukkesystem i lukkede rom. Gassen som brukes i INERGEN® heter IG-541 (ISO TC 21/SC8 N 248) og består av 8 % CO₂, 40 % Argon (Ar) og 52 % Nitrogen (N₂). Ved slukking av brann i lukkede rom blandes IG-541 «50/50» med luft. Resultatet blir da blandingen 4 % CO₂, 10 % O₂ samt Ar og N₂ til sammen 86 %. Argon er en gass som finnes naturlig i luft, men i små konsentrasjoner. Som slukkemiddel brukes Argon for å få gassblandingen tyngre enn luft og dermed oppnå bedre effekt ved væskebranner. Ved 10 % oksygen kan brannrisiko neglisjeres da de aller fleste materialer/stoffer (bortsett fra magnesium) ikke kan brenne ved så lave oksygennivåer. Dette er dokumentert av flere institusjoner – inklusive RISE Fire Research AS.

Kliniske forsøk med personell som er eksponert for 10 % O₂ og 4 % CO₂ og resten ikke-giftige gasser som fins i luft, er verifisert av St. Olavs Hospital og andre. Konklusjonen er at friske mennesker kan oppholde seg i en slik atmosfære i lengre perioder uten å få nedsatt kognitive og motoriske evner. Det er forventet at videre kvalifisering vil vise at friske mennesker kan oppholde seg med moderat aktivitet i 8 timer i en slik atmosfære uten nedsatte kognitive og motoriske evner og uten langtids helseeffekter.

I lukkede moduler som inneholder hydrokarboner under trykk, vil det være nødvendig å filtrere ut hydrokarbongasser tilstrekkelig til at dette ikke utgjør en helserisiko for personell som oppholder seg i rommet. Intern oppvarming eller avkjøling av rommet vil også i enkelte tilfeller være nødvendig.

Oksygen, karbondioksid, argon og nitrogen er naturlige gasser og vil ikke bli degradert hvis disse beholdes i de lukkede moduler over lang tid. For å forhindre inntrenging av luft i modulen, vil det være nødvendig at modulen er gasstett, at det opprettholdes et lite overtrykk og at det brukes luftsluser for personell som skal inn og ut.

Ved modifikasjoner og langvarige vedlikeholdsaktiviteter, er det naturlig å stenge ned prosessanlegget og åpne opp for transport av store komponenter inn og ut av rommet. Etter avsluttet vedlikehold kan modulen igjen fylles med 50 % IG-541.

Å bruke INERGEN og tilsvarende stoffer for å slukke branner i mindre rom er velkjent. Å opprettholde en slik atmosfære i en større modul for å forhindre antenning er ikke utprøvd.

6 REFERANSER

- 1 NORSOK standard, *Technical safety*, Edition 4, S-001, Februar 2008
- 2 Rambøll og Gexcon; *Gasslekkasjer, brannbelastning og eksplosjonstrykk i innelukkede moduler*, 17.12.2014 ([Link til rapporten](#))
- 3 Gexcon, *FLACS v10.6 User's Manual*, September 01 2017
- 4 Energy Institute, Ignition probability review, model development and look-up correlations, Januar 06
- 5 Scandpower, for OLF *Ignition Modeling in Risk Analysis*, Final, 2007-03-19
- 6 Lloyds Register, Modelling of ignition sources on offshore oil and gas facilities – MISOF, Report No. 106364/R1. Revision Final, 25.11.2016
- 7 DnV & Scandpower, *Guidelines for use of JIP Ignition Model*, DnV report No: 99-3193 Rev01
- 8 ISO 13702, International Standard, *Petroleum and natural gas industries – Control and mitigation of fires and explosions on offshore production installations – Requirements and guidelines*, 2015-08-01

NORSOK S-001 kapittel	Barriere	Barrierens rolle ved lekkasje/tenning/brann/eksplosjon i en prosessmodul	Type modul	Hvordan påvirkes barrierens pålitelighet av A) Mekanisk ventilasjon B) Naturlig ventilert med stor grad av innelukking C) Naturlig ventilert modul med mindre grad av innelukking (på nivå med Nordsjø-design)	Hvordan påvirkes barrierens funksjon av A) Mekanisk ventilasjon B) Naturlig ventilert med stor grad av innelukking C) Naturlig ventilert modul med mindre grad av innelukking (på nivå med Nordsjø-design)	Hvordan påvirkes barrierens sårbarhet for ulykkeslaster av A) Mekanisk ventilasjon B) Naturlig ventilert med stor grad av innelukking C) Naturlig ventilert modul med mindre grad av innelukking (på nivå med Nordsjø-design)	Kommentar til de ulike designløsningene	Mulige kompensierende løsninger
5	Layout	Begrense mulighet for antenning Begrense varighet og størrelse på lekkasje/brann redusere eksplosjonstrykk effektiv bekjempelse, røming og redning	A	Effekten av layout blir forutsigbar i en mekanisk ventilert modul. "Layouten er et passivt system og er tilstede". Ingen effekt av snø og is.	Vesentlig effekt på layout. Størrelse er et viktig kostnadselement og vil derved påvirke utforming. Kontrollert atmosfære, tydelige skiller mellom områder og ventilasjon påvirker mange av sikkerhetsbarrierene.	Layout (modul-størrelse, arrangement av utstyr, segmentering, etc.) er vesentlig for resulterende størrelse på ulykkeslaster og som sådan viktig for sårbarhet. Generelt forventes det betydelig høyere eksplosjonslaster for mekanisk ventilerte modulerdersom det ikke implementeres effektive kompensierende tiltak.	Utfordringer for effektiv materialhåndtering (luker/dører)	Det blir enda viktigere enn vanlig å ha en gjennomtenkt layout som minimerer eksplosjonsrisiko. Plassering av utstyr, rørgater, tennkilder, etc. må optimaliseres i forhold til geometri og luftstrøm i modulen Mindre områder og flere brannskiller mellom prosess-områder Optimalisere utstyrstetthet versus modulstørrelse i forhold til eksplosjonsrisiko. Unngå stagnante soner, hjørner og lignende i modulene med stillestående luft Raskere trykkavlastning og mindre gass-segmeneter i brannområdet Lokalisering av gass-segmeneter og utstyr som har høy lekkasjefrekvens i områder som har bedre ventilasjon, Orientering og plassering av utstyr og større objekter, slik at som reduserer potensialet for trykkoppbygging begrenses og gir effektiv trykkavlastning av eksplosjonen maksimeres Bruk av eksplosjonspaneler for å bedre eksplosjonsavlastning, som reduserer designlastene. Eksplosjonspaneler som åpner raskt med høy pålitelighet også i arktiske forhold. Det er også muligheter knyttet til fremtidig utvikling av inert atmosfære
5	Layout	Begrense mulighet for antenning Begrense varighet og størrelse på lekkasje/brann redusere eksplosjonstrykk effektiv bekjempelse, røming og redning	B	Operasjonelle snø og islaster kan i perioder påvirke layout i et området fysisk. Kan påvirke brann og eksplosjonsforhold i noe grad.	Mellom A og C	Mellom A og C		se A)
5	Layout	Begrense mulighet for antenning Begrense varighet og størrelse på lekkasje/brann redusere eksplosjonstrykk effektiv bekjempelse, røming og redning	C	Operasjonelle snø og islaster kan i perioder påvirke layout i området fysisk. Kan påvirke brann og eksplosjonsforhold i større grad.	C) vil normalt tillate mindre tetthet av utstyr og større fleksibilitet i orientering av utstyr, siden vegger og eksplosjonspaneler tar plass, resulterer i mindre oppbygging av turbulens som igjen påvirker overtrykk. I snitt bedre ventilasjon og utlufting av lekkasjer. Større moduler gir muligheter for større skyer og lange flammebaner som gir høye eksplosjonstrykk. Resulterende overtrykk er vesentlig påvirket av åpningsarealer mot sjø.	Ekstern spredning mellom områder lettere ved åpne moduler.		se A)
6	Strukturell integritet	Motstå brann- og eksplosjon for å muliggjøre bekjempelse, rømning og redning	A	Mindre utsatt for vær og vind og lettere å inspisere struktur, dermed mer pålitelig enn C	Avhengig av brann og eksplosjonslaster. Forutsettes at desinglaster samsvarer med dimensjonerende laster og WCPF så vil risikoen være tilsvarende som for innelukket modul.	Avhengig av brann og eksplosjonslaster, forutsettes at desinglaster samsvarer med dimensjonerendelaster og WCPF Dersom eksplojsonspaneler er brukt som tiltak for å håndtere eksplosjonstrykk er den strukturelle integriteten sårbar dersom panelene ikke åpner raskt nok Dersom HVAC stopper vil de mindre leakksjeratene kunne gi større skyer, viktig å være bevisst på om designlast tar med effekten av HVAC.	Man må ta stilling til om WCPF er med eller uten forutgående eksplosjon (brensels- eller ventilasjonskontrollert brann) Eksplosjonspanel må fungere under forhold med snø og is for å ikke overskride DAL; sannsynlige tiltak: varmetråder, mekanisk fjerning av snø/is Aktive paneler er ikke testet ut i praksis og ytelsen er ikke kjent; medfører behov for hjelpesystemer (strøm, pneumatikk, hydraulikk) og vedlikehold Uklart vedrørende krav/praksis for redundans og pålitelighet av HVAC.	Velge eksplosjonspaneler som åpner raskt med høy sannsynlighet for å redusere eksplojsonslast Verifisere åpning av eksplosjonspaneler (f.x. ingen obstruksjoner) Stenge ned produksjon ved tap av HVAC dersom ventilasjon er tatt hensyn til ved dispersjon av lekkasjer for å beregne dimensjonerende eksplosjonslast
6	Strukturell integritet	Motstå brann- og eksplosjon for å muliggjøre bekjempelse, rømning og redning	B	Mer utsatt for vær og vind enn A)			I gjennomsnitt vil risikoen være lavere enn for innelukket modul. Betydelig grad av værbeskyttelse betyr at ved ugunstige vindretninger og/eller lave vindhastigheter vil ventilasjonen være dårligere enn i A) og eksplosjonslaster vil bli høyere enn designlastene. Utfallsrommet for antente gasslekkasjer er større enn for en innelukket modul.	Vurdere tiltak ved ugunstige vindretninger og/eller lave vindhastigheter Designere for snø og islaster

NORSOK S-001 kapittel	Barriere	Barrierens rolle ved lekkasje/tenning/ brann/eksplosjon i en prosessmodul	Type modul	Hvordan påvirkes barrierens pålitelighet av A) Mekanisk ventilasjon B) Naturlig ventilert med stor grad av innelukking C) Naturlig ventilert modul med mindre grad av innelukking (på nivå med Nordsjø-design)	Hvordan påvirkes barrierens funksjon av A) Mekanisk ventilasjon B) Naturlig ventilert med stor grad av innelukking C) Naturlig ventilert modul med mindre grad av innelukking (på nivå med Nordsjø-design)	Hvordan påvirkes barrierens sårbarhet for ulykkeslaster av A) Mekanisk ventilasjon B) Naturlig ventilert med stor grad av innelukking C) Naturlig ventilert modul med mindre grad av innelukking (på nivå med Nordsjø-design)	Kommentar til de ulike designløsningene	Mulige kompenserende løsninger
6	Strukturell integritet	Motstå brann- og eksplosjon for å muliggjøre bekjempelse, rømning og redning	C	Mer utsatt for vær og vind enn A)		eksponert for is/snø/kulde		Designet for snø og islaster
7	Forhindre lekkasjer	Forhindre lekkasje	A	A) Kontrollert atmosfære, mindre ekstern korrosjon, bedre arbeidsmiljø, større mulighet for kvalitet i arbeidsutførelse. Vesentlig teoretisk potensiale for riskoreduksjon på grunn av innelukket atmosfære, men i praksis liten (ref. RNNP) da det er andre faktorer som er utløsende for lekkasjer.		A) Unngår fallende is.	Å forhindre lekkasje blir enda mer kritisk for innelukket prosessmodul, fordi konsekvensene av antent lekkasje er alvorligere	Materialvalg (reduere potensiale for utmatting, erosjon, korrosjon, etc.) Minimere potensiale for vibrasjoner Minimere potensiale for menneskelige feil som kan føre til lekkasjer Sveise istedenfor flenser Flytte lekkasjekilder ut Øke frekvens/kvalitet på inspeksjon og vedlikehold Velge flenser/koblinger med lavere sannsynlighet for å lekke Fjerne isolasjon av rør og utstyr ved å sikre integritet av rør/utstyr på andre måter clamp-on instrumenter Velge teknologi/utstyr som innebærer mindre sannsynsynlighet for lekkasjer eller mindre volum
7	Forhindre lekkasjer	Forhindre lekkasje	B	B) Som A) men i mindre grad.	B) Som A) men i mindre grad.	B) Som A) men i mindre grad.	B) Som A) men i mindre grad.	Materialvalg (reduere potensiale for utmatting, erosjon, korrosjon, etc.) Minimere potensiale for vibrasjoner Minimere potensiale for menneskelige feil som kan føre til lekkasjer Sveise istedenfor flenser Øke frekvens/kvalitet på inspeksjon og vedlikehold Velge flenser/koblinger med lavere sannsynlighet for å lekke Fjerne isolasjon av rør og utstyr ved å sikre integritet av rør/utstyr på andre måter clamp-on instrumenter Velge teknologi/utstyr som innebærer mindre sannsynsynlighet for lekkasjer eller mindre volum Vedlikeholdsvennlighet innbakt i design og høy kvalitet på inspeksjon og vedlikehold i drift.
7	Forhindre lekkasjer	Forhindre lekkasje	C	Stor grad av isolasjon på utstyr/rør øker risiko for korrosjon og overvåking Ubeskyttede rør/utstyr har større risiko for å bli utsatt for korrosjon eller frostsprengning Mindre gunstige forhold for preventivt vedlikehold		større overflate pga. isolasjon betyr at rør blir mer utsatt for eksplosjonslaster (potensiale for eskalering av initiell hendelse)	behov for betydelig grad av heat tracing og/eller varmeelementer og isolasjon	som over
8	Åpent dreneringssystem	fjerne flytende hydrokarboner for å forhindre tenning og redusere varighet	A	Ingen vesentlig påvirkning	Mindre påvirkning av snø, is og temperatur. Med tette modulvegger vil spredning av brennbar væske til andre områder være mindre sannsynlig.			heat tracing gjennomtenkt rørføring
8	Åpent dreneringssystem	fjerne flytende hydrokarboner for å forhindre tenning og redusere varighet	B	Ingen vesentlig påvirkning			rør med små dimensjoner er mer utsatt for frost enn større rør	heat tracing gjennomtenkt rørføring
8	Åpent dreneringssystem	fjerne flytende hydrokarboner for å forhindre tenning og redusere varighet	C	Ingen vesentlig påvirkning	Ved større væskelekkasjer er ofte drain kapasitet ikke tilstrekkelig for å hindre spredning til andre områder.		rør med små dimensjoner er mer utsatt for frost enn større rør	heat tracing gjennomtenkt rørføring
9	Prosesssikring	Overvåke og kontrollere prosessen for å unngå lekkasjer	A	A) forhindrer feil pga snø/is/kulde. Mindre problem med voks i olje, hydrater i gass og mindre behov for sirkulasjon av vann.	Ingen vesentlig påvirkning	Ikke utsatt for fallende snø/is	Mulig mindre behov for heat tracing og isolasjon enn for B) og C siden temperaturen blir bestemt av HVAC	
9	Prosesssikring	Overvåke og kontrollere prosessen for å unngå lekkasjer	B	B) Som A) men i mindre grad.		Lite utsatt for fallende snø/is	Større behov for heat tracing og isolasjon enn for A) siden temperaturen varierer	
9	Prosesssikring	Overvåke og kontrollere prosessen for å unngå lekkasjer	C	Påliteligheten sikres ved oppvarming og isolasjon	Funksjonen sikres ved oppvarming og isolasjon		Større behov for heat tracing og isolasjon enn for A) siden temperaturen varierer	heat tracing, varmeelementer og isolasjon Flere instrumenter for å overvåke heat tracing, etc.

NORSOK S-001 kapittel	Barriere	Barrierens rolle ved lekkasje/tenning/ brann/eksplosjon i en prosessmodul	Type modul	Hvordan påvirkes barrierens pålitelighet av A) Mekanisk ventilasjon B) Naturlig ventilert med stor grad av innelukking C) Naturlig ventilert modul med mindre grad av innelukking (på nivå med Nordsjø-design)	Hvordan påvirkes barrierens funksjon av A) Mekanisk ventilasjon B) Naturlig ventilert med stor grad av innelukking C) Naturlig ventilert modul med mindre grad av innelukking (på nivå med Nordsjø-design)	Hvordan påvirkes barrierens sårbarhet for ulykkeslaster av A) Mekanisk ventilasjon B) Naturlig ventilert med stor grad av innelukking C) Naturlig ventilert modul med mindre grad av innelukking (på nivå med Nordsjø-design)	Kommentar til de ulike designløsningene	Mulige kompenserende løsninger
10	ESD/NAS	Begrense varighet og størrelse på lekkasje/brann ved å seksjonalisere, isolere tennkilder og starte nedblåsning	A	Ingen vesentlig påvirkning	Ingen vesentlig påvirknng	Feltutstyr ikke utsatt for fallende snø/is Beskyttet mot lave temperaturer	Det er et krav i regelverket at ESD-systemet skal være "fail safe" Rask aksjon ved lekkasjedeteksjon er enda viktigere i innelukkede moduler fordi en tennbar blanding kan bygge seg opp raskere, være lenger og dekke større områder (økt sannsynlighet for tenning og større eksplosionslaster)	Seksjonere prosessen i mindre segmenter Justere ned følsomhet på detektorer (tidligdeteksjon/aksjon) øke antall detektorer initiere nedstenging og trykkavlastning på lavere ESD-nivå
10	ESD/NAS	Begrense varighet og størrelse på lekkasje/brann ved å seksjonalisere, isolere tennkilder og starte nedblåsning	B	Kravet om "fail-safe" betyr at påliteligheten ikke kan være avhengig av oppvarming/isolasjon/hjelpesystemer	Kravet om fail-safe funksjon betyr at funksjonen ikke skal påvirkes av snø/is/kulde	Feltutstyr lite utsatt for fallende snø/is/kulde	Det er et krav i regelverket at ESD-systemet skal være "fail safe"	Valg av frostsikre materialer og hydraulikkvæske Justere ned følsomhet på detektorer (tidlig deteksjon/aksjon) øke antall detektorer initiere nedstenging og trykkavlastning på lavere ESD-nivå lokk på manuelle meldere
10	ESD/NAS	Begrense varighet og størrelse på lekkasje/brann ved å seksjonalisere, isolere tennkilder og starte nedblåsning	C	Kravet om "fail-safe" betyr at påliteligheten ikke kan være avhengig av oppvarming/isolasjon/hjelpesystemer	Kravet om fail-safety betyr at funksjonen ikke skal påvirkes av snø/is/kulde	Mer utsatt for fallende snø/is/kulde	Det er et krav i regelverket at ESD-systemet skal være "fail safe"	Valg av frostsikre materialer og hydraulikkvæske
11	Blowdown, flare/vent	Begrense varighet og størrelse på lekkasje/brann	A	Påliteligheten kan være bedre enn ved naturlig ventilert modul, dersom det er fare for at snø/is/temperatur kan påvirke blowdownventiler og rørføring (ingen heat tracing)	Ingen direkte påvirknng, men funksjonen er enda viktigere i A)	Ingen negativ påvirkning. Forhindrer feil pga snø/is/kulde	Funksjonen av blowdown er enda viktigere for A) enn C)	
11	Blowdown, flare/vent	Begrense varighet og størrelse på lekkasje/brann	B	Mellom A og C	Ingen vesentlig påvirknng	Mellom A og C		
11	Blowdown, flare/vent	Begrense varighet og størrelse på lekkasje/brann	C	Påliteligheten blir redusert dersom man er avhengig av for eksempl heat tracing for at blowdown/fakkel skal fungere	Ingen vesentlig påvirknng	Mulig økt sårbarhet for snø/is/kulde		
12	Gassdeteksjon	Varsle sikkerhetssystemer og personell om lekkasje så raskt som mulig	A	Sjansen for å detektere øker når ventilasjonen er mekanisk, gitt like moduler med samme detektorplassering. Lettere å detektere små lekkasjer manuelt og automatisk, forutsigbar ventilasjon så lenge ventilasjon er i gang.	Gode muligheter for å designe effektive deteksjonssystemer. Siden ventilasjonen alltid er lik kan detektorenes plassering optimaliseres bedre.	Detektorer beskyttet mot kulde, snø og is.	A) Kan være vesentlig positive utslag av tidlig gassdeteksjon og iverksetting av ESD inkl tennkildekontroll for små lekkasjer. For større lekkasjer mulighet for spredning til andre områder via utluft-kanaler etc. Dvs avhengig av sikker plassering og utforming av avtrekk.	Optimalisere plassering av utkast i forhold til andre moduler og luftinntak slik at gass ikke spres til andre moduler Justere opp følsomhet på gassdetektorer (tidlig-deteksjon) Optimalisere detektorplassering for å detektere så tidlig som mulig Øke detektortettheten
12	Gassdeteksjon	Varsle sikkerhetssystemer og personell om lekkasje så raskt som mulig	B	Sannsynligheten for å detektere er bedre enn ved C), mindre potensiale enn for A)	Bedre muligheter for optimalisere detektorplassering enn ved C), mindre potensiele enn for A)	Kan bli utsatt for snø og is		optimalisere plassering av detektorer varmelementer tiltak for å fjerne snø/is
12	Gassdeteksjon	Varsle sikkerhetssystemer og personell om lekkasje så raskt som mulig	C	Sannsynligheten for å detektere vil variere med ulike vindretninger og -styrker	Vanskelig å optimalisere detektorplassering optimalt når ventilasjonen varierer	Kan bli utsatt for snø og is		optimalisere plassering av detektorer varmelementer tiltak for å fjerne snø/is
13	Branndeteksjon	Varsle sikkerhetssystemer og personell om brann så raskt som mulig	A	Innelukking tar bort muligheten for å detektere brann i feil område	Liten effekt av mekanisk ventilasjon/innelukking da synligheten av flammer ikke påvirkes.	feltutstyr ikke eksponert for snø/is/kulde		
13	Branndeteksjon	Varsle sikkerhetssystemer og personell om brann så raskt som mulig	B	Kan bli utsatt for snø og is	Kan bli utsatt for snø og is	Kan bli utsatt for snø og is		optimalisere plassering av detektorer varmelementer tiltak/tilkomst for å fjerne snø/is
13	Branndeteksjon	Varsle sikkerhetssystemer og personell om brann så raskt som mulig	C	Kan bli utsatt for snø og is	Kan bli utsatt for snø og is	Kan bli utsatt for snø og is		optimalisere plassering av detektorer varmelementer tiltak/tilkomst for å fjerne snø/is
14	Tennkilde-kontroll	Forhindre tenning av lekkasje	A	Ingen påvirkning på utkobling av elektriske tennkilder da disse tas ved hjelp av brytere i skap i LER. Mindre behov for heat tracing og varmeelementer enn B) og C) betyr færre poteniselle tennkilder i området			Rask tennkildeutkobling blir ekstra viktig siden gasskyer kan bli store raskere. Såkalt "dilution ventilation" for å holde konsentrasjon av gass under LEL krever urealistiske ventilasjonsrater fra et HVAC- anlegg: I følge EI15 (Annex F, tabell F3) kreves ventilasjonsrate på 163 ACH for et 10mm hull fra typisk naturgass med 100 bar.	Klassifisere områder som Zone 1 istedenfor Zone 2 pga dårligere ventilasjon - EX-klasse. Iverksette tennkildeutkobling på lavere ESD-nivå redusere sjansen for feil på elektrisk utstyr som kan føre til tenning, f.x. temperaturovervåking, overspenningsvern, EX- sikring materialvalg og jording for å unngå statisk elektrisitet maksimere avstand fra klassifisert område til roterende utstyr og luftinntak

NORSOK S-001 kapittel	Barriere	Barrierens rolle ved lekkasje/tenning/ brann/eksplosjon i en prosessmodul	Type modul	Hvordan påvirkes barrierens pålitelighet av A) Mekanisk ventilasjon B) Naturlig ventilert med stor grad av innelukking C) Naturlig ventilert modul med mindre grad av innelukking (på nivå med Nordsjø-design)	Hvordan påvirkes barrierens funksjon av A) Mekanisk ventilasjon B) Naturlig ventilert med stor grad av innelukking C) Naturlig ventilert modul med mindre grad av innelukking (på nivå med Nordsjø-design)	Hvordan påvirkes barrierens sårbarhet for ulykkeslaster av A) Mekanisk ventilasjon B) Naturlig ventilert med stor grad av innelukking C) Naturlig ventilert modul med mindre grad av innelukking (på nivå med Nordsjø-design)	Kommentar til de ulike designløsningene	Mulige kompenserende løsninger
14	Tennkilde-kontroll	Forhindre tenning av lekkasje	B	Ingen påvirkning på utkobling av elektriske tennkilder da disse tas ved hjelp av brytere i skap i LER. Større mengde heat tracing og varmeelementer medfører et større potensiale for feil som kan resultere i tenning mer isolasjon kan medføre økt fare for selvantenning ved lekkasje inne i isolasjonen		Lite utsatt for fallende snø/is		Klassifisere områder som Zone 1 istedenfor Zone 2 pga dårligere ventilasjon - EX-klasse. Iverksette tennkildeutkobling på lavere ESD-nivå resusere sjansen for feil på elektrisk utstyr som kan føre til tenning, f.x. temperaturovervåking, overspenningsvern, EX- sikring materialvalg og jording for å unngå statisk elektrisitet maksimere avstand fra klassifisert område til roterende utstyr og luftinntak
14	Tennkilde-kontroll	Forhindre tenning av lekkasje	C	Ingen påvirkning på utkobling av elektriske tennkilder da disse tas ved hjelp av brytere i skap i LER. Større mengde heat tracing og varmeelementer medfører et større potensiale for feil som kan resultere i tenning mer isolasjon kan medføre økt fare for selvantenning ved lekkasje inne i isolasjonen		elektrisk utstyr i området blir eksponert for snø/is/kulde		Iverksette tennkildeutkobling på lavere ESD-nivå resusere sjansen for feil på elektrisk utstyr som kan føre til tenning, f.x. temperaturovervåking, overspenningsvern, EX- sikring materialvalg og jording for å unngå statisk elektrisitet maksimere avstand fra klassifisert område til roterende utstyr og luftinntak
15	HMI	HMI i CCR skal gi korrekt infomasjon til operatører og mulighet for inngripen	A	Ingen vesentlig påvirknng da grensesnittet er i kontrollrommet	Ingen vesentlig påvirknng da grensesnittet er i kontrollrommet	I utgangspunktet minimal effekt. HVAC kan bli et sikkerhetskritisk system som må fungere i henhold til intensjonen og det kan være sårbart for feiloperasjon.		
15	HMI	HMI i CCR skal gi korrekt infomasjon til operatører og mulighet for inngripen	B	Ingen vesentlig påvirknng da grensesnittet er i kontrollrommet	Ingen vesentlig påvirknng da grensesnittet er i kontrollrommet			
15	HMI	HMI i CCR skal gi korrekt infomasjon til operatører og mulighet for inngripen	C	Ingen vesentlig påvirknng da grensesnittet er i kontrollrommet	Ingen vesentlig påvirknng da grensesnittet er i kontrollrommet			
16	Ventilasjon	begrense varighet og gasskystørrelser med konsentrasjon over LEL stoppe gass og røyk fra andre områder fjerne giftig gass og røyk redusere fare for feil av andre barrierer pga snø/is/kulde	A	Ikke relevant	Konstant/kjent ventilasjon når HVAC fungerer. 12 luftvekslinger vil ved de fleste forhold gi betydelig dårligere utlufting enn i C), men kan gjennomsnitlig gi like mange luftvekslinger som B)	Ikke relevant	Medfører investerings- og vedlikeholdskostnad og energiforbruk. Gir høyere dimensjonerende brann- og eksplosjonslaster enn B) og C) I følge standard for områdeklassifisering må produksjonen stenge ned dersom HVAC stopper. A) kan være mer aktuelt for olje-produsenter enn for gass-produsenter (mindre potensiale for gasslekkasjer)	Redusere sannsynligheten for lekkasjer Man kan vurdere å designe HVAC for mer enn 12 ACH, men vil neppe klare rater som man får ved alternativ B eller C Man kan redusere størrelsen på modulene Man kan seksjonere modulen med "soft barriers" for eksempel plast- eller vanngardiner Man kan starte deluge på gassdeteksjon for å redusere ekspl. trykk Man kan fylle modulen med intertgass for å hindre tenning Man minimere segmentstørrelse for å begrense gasskyer og varighet av lekkasjer (ekstra og hurtigere isolasjonsventiler og hurtig trykkavlastning). forbedret tennkildekontroll Utstyr som tåler kulde/is og som kan gi HC-lekkasje kan flyttes ut i åpne områder trykk-tanker med hydrokarboner i dekk-/veggstruktur for å minimere "congestion ratio" i prosessområdet Passive eksplosjonspaneler er standard kompenserende tiltak Aktive paneler kan styres for å åpne ved gassdeteksjon. Layout bør uansett optimaliseres nøye for å minimere eksplosjonsrisiko

NORSOK S-001 kapittel	Barriere	Barrierens rolle ved lekkasje/tenning/ brann/eksplosjon i en prosessmodul	Type modul	Hvordan påvirkes barrierens pålitelighet av A) Mekanisk ventilasjon B) Naturlig ventilert med stor grad av innelukking C) Naturlig ventilert modul med mindre grad av innelukking (på nivå med Nordsjø-design)	Hvordan påvirkes barrierens funksjon av A) Mekanisk ventilasjon B) Naturlig ventilert med stor grad av innelukking C) Naturlig ventilert modul med mindre grad av innelukking (på nivå med Nordsjø-design)	Hvordan påvirkes barrierens sårbarhet for ulykkeslaster av A) Mekanisk ventilasjon B) Naturlig ventilert med stor grad av innelukking C) Naturlig ventilert modul med mindre grad av innelukking (på nivå med Nordsjø-design)	Kommentar til de ulike designløsningene	Mulige kompenserende løsninger
16	Ventilasjon	begrense varighet og gasskystørrelser med konsentrasjon over LEL stoppe gass og røyk fra andre områder fjerne giftig gass og røyk redusere fare for feil av andre barrierer pga snø/is/kulde	B	Ikke relevant	B) vil ved de fleste forhold gi betydelig dårligere utlufting enn C), men er bedre enn A) ved gunstige værforhold. Ved ugunstige værforhold vil B) være dårligere enn A). En gasslekkasje vil bruke mindre tid på å bli drevet ut av området. værbeskyttelse kan gi utfordringer med genererte trykkeffekter, turbulens og støy	Ikke relevant	Lokal assistert ventilasjon kan være nødvendig for å forhindre stagnante soner ved stor grad av innlukking kombinert med naturlig ventilasjon	Layout bør uansett optimaliseres nøye for å minimere eksplosjonsrisiko Man kan redusere størrelsen på modulene Man kan starte deluge på gassdeteksjon for å redusere ekspl. trykk Man minimere segmentstørrelse for å begrense gasskyer og varighet av lekkasjer (ekstra og hurtigere isolasjonsventiler og hurtig trykkavlastning). forbedrett tennkildekontroll Redusere sannsynligheten for lekkasjer Utstyr som tåler kulde/is og som kan gi HC-lekkasje kan flyttes ut i åpne områder trykk-tanker med hydrokarboner i dekk-/veggstruktur for å minimere "congestion ratio" i prosessområdet design værbeskyttelse som minimerer problemer med trykkeffekter, turbulens og støy
16	Ventilasjon	begrense varighet og gasskystørrelser med konsentrasjon over LEL stoppe gass og røyk fra andre områder fjerne giftig gass og røyk redusere fare for feil av andre barrierer pga snø/is/kulde	C	Ikke relevant	Dette alternativet gir den beste utluftingen, bortsett fra ved helt vindstille forhold.	Ikke relevant	Det må undersøkes under hvilke værforhold man ikke lenger kan oppnå WCI-grensene uten stor grad av innelukking.	Layout bør uansett optimaliseres nøye for å minimere eksplosjonsrisiko Man kan redusere størrelsen på modulene Man kan starte deluge på gassdeteksjon for å redusere ekspl. trykk Man minimere segmentstørrelse for å begrense gasskyer og varighet av lekkasjer (ekstra og hurtigere isolasjonsventiler og hurtig trykkavlastning). forbedrett tennkildekontroll Redusere sannsynligheten for lekkasjer Utstyr som tåler kulde/is og som kan gi HC-lekkasje kan flyttes ut i åpne områder trykk-tanker med hydrokarboner i dekk-/veggstruktur for å minimere "congestion ratio" i prosessområdet design værbeskyttelse som minimerer problemer med trykkeffekter, turbulens og støy
17	PA/GA	varsle og veilede personell	A	pålitelighet lite påvirket	Mindre påvirkning av snø, is og temperatur Fjerner bakgrunnstøy ved innelukking Lettere å oppfylle funksjonskrav kontinuerlig i mekanisk ventilerte moduler, (arbeidsmiljø ikke utsatt for vær og vind)	beskyttet mot snø/is/kulde		
17	PA/GA	varsle og veilede personell	B	pålitelighet lite påvirket	Mellom A og C	Mellom A) og C)		
17	PA/GA	varsle og veilede personell	C	pålitelighet lite påvirket	Utsatt for kulde, snø og islaster	feltutstyr utsatt for snø/is	Hodeplagg kan redusere evnen til å høre/se alarmer	egnet hodeplagg/hjelm med høytalere
17	Kommunikasjon	muliggjøre koordinering og gjennomføring av bekjempelse og evakuering	A	Feltutstyr beskyttet				
17	Kommunikasjon	muliggjøre koordinering og gjennomføring av bekjempelse og evakuering	B	Feltutstyr utsatt for snø/is/kulde	Feltutstyr utsatt for snø/is/kulde	Feltutstyr utsatt for snø/is/kulde		Varmeelementer, heat tracing isolasjon Valg av teknologi som er mindre følsom for snø/kulde/is
17	Kommunikasjon	muliggjøre koordinering og gjennomføring av bekjempelse og evakuering	C	Feltutstyr utsatt for snø/is/kulde	Feltutstyr utsatt for snø/is/kulde	Feltutstyr utsatt for snø/is/kulde		Varmeelementer, heat tracing isolasjon Valg av teknologi som er mindre følsom for snø/kulde/is
18	Nødkraft	forsyne utstyr som skal virke etter lekkasje med strøm, f.eks. nødbelysning	A	Luftinntak til nødgenerator utsatt for snø/is	Dersom HVAC er sikkerhetskritisk vil det øke behovet for nødkraft og funksjonen kan påvirkes dersom systemet ikke har tilstrekkelig kapasitet	ikke påvirket		Varmetråder i luftinntak utforming og plassering av luftinntak varmeelementer i koblingsbokser Tilstrekkelig kapasitet og robusthet av nødkraftssystemet
18	Nødkraft	forsyne utstyr som skal virke etter lekkasje med strøm, f.eks. nødbelysning	B	Luftinntak til nødgenerator utsatt for snø/is	større last på nødkraft pga. heat tracing og annen oppvarming UPS batteriere kan fungere dårligere ved lav temperatur	ikke påvirket		Varmetråder i luftinntak utforming og plassering av luftinntak varmeelementer i koblingsbokser Tilstrekkelig kapasitet og robusthet av nødkraftssystemet
18	Nødkraft	forsyne utstyr som skal virke etter lekkasje med strøm, f.eks. nødbelysning	C	Luftinntak til nødgenerator utsatt for snø/is	større last på nødkraft pga. heat tracing og annen oppvarming UPS batteriere kan fungere dårligere ved lav temperatur	ikke påvirket		Varmetråder i luftinntak utforming og plassering av luftinntak varmeelementer i koblingsbokser Tilstrekkelig kapasitet og robusthet av nødkraftssystemet
18	Nødbelysning	muliggjøre rømning og redning	A	Beskyttet i en innelukket modul	Beskyttet i en innelukket modul	Sårbart dersom nødbelysningen er avhengig av at HVAC fungerer		Valg av teknologi for lys og strømforsyning

NORSOK S-001 kapittel	Barriere	Barrierens rolle ved lekkasje/tenning/brann/eksplosjon i en prosessmodul	Type modul	Hvordan påvirkes barrierens pålitelighet av A) Mekanisk ventilasjon B) Naturlig ventilert med stor grad av innelukking C) Naturlig ventilert modul med mindre grad av innelukking (på nivå med Nordsjø-design)	Hvordan påvirkes barrierens funksjon av A) Mekanisk ventilasjon B) Naturlig ventilert med stor grad av innelukking C) Naturlig ventilert modul med mindre grad av innelukking (på nivå med Nordsjø-design)	Hvordan påvirkes barrierens sårbarhet for ulykkeslaster av A) Mekanisk ventilasjon B) Naturlig ventilert med stor grad av innelukking C) Naturlig ventilert modul med mindre grad av innelukking (på nivå med Nordsjø-design)	Kommentar til de ulike designløsningene	Mulige kompenserende løsninger
18	Nødbelysning	muliggjøre rømning og redning	B	Lyskilder og strømforsyning kan påvirkes av snø/is/kulde	Lyskilder og strømforsyning kan påvirkes av snø/is/kulde			Valg av teknologi for lys og strømforsyning
18	Nødbelysning	muliggjøre rømning og redning	C	Lyskilder og strømforsyning kan påvirkes av snø/is/kulde	Lyskilder og strømforsyning kan påvirkes av snø/is/kulde			Valg av teknologi for lys og strømforsyning
19	Passiv brannbeskyttelse (PBB), utstyr og rør	forhindre eskalering av brann til nabosegmenter - begrense varighet og laster	A	Lettere å inspisere PBB dermed mer pålitelig.	Ingen vesentlig påvirkning,	Ingen vesentlig påvirkning	Eventuelt mindre behov for heat tracing kan også medføre at det blir mindre PBB som "gratis" ALARP tiltak. PBB skal tåle design eksplosjonslaster (som kan være høye i en innelukket modul)	Tiltak som reduserer muligheten for lekkasjer og tenning reduserer også behovet for brannbeskyttelse.
19	Passiv brannbeskyttelse (PBB), utstyr og rør	forhindre eskalering av brann til nabosegmenter - begrense varighet og laster	B	Mellom A og C	Ingen vesentlig påvirkning	Ingen vesentlig påvirkning	PBB skal tåle design eksplosjonslaster	Tiltak som reduserer muligheten for lekkasjer og tenning reduserer også behovet for brannbeskyttelse.
19	Passiv brannbeskyttelse (PBB), utstyr og rør	forhindre eskalering av brann til nabosegmenter - begrense varighet og laster	C	PBB mer utsatt for vær og vind, snø og is. Gir større behov for utskifting av PBB.	Ingen vesentlig påvirkning	Ingen vesentlig påvirkning	PBB skal tåle design eksplosjonslaster	Tiltak som reduserer muligheten for lekkasjer og tenning reduserer også behovet for brannbeskyttelse.
19	PBB struktur	sikre strukturell integritet ved brann	A	Lettere å inspisere PBB dermed fortutsetning for å være mer pålitelig.			WCPF vil være veldig forskjellig for scenario etter eksplosjon sammenlignet med scenario uten eksplosjon (tilgang på oksygen)	Tiltak som reduserer muligheten for lekkasjer og tenning reduserer også behovet for brannbeskyttelse.
19	PBB struktur	sikre strukturell integritet ved brann	B		mer eksponert for is/snø/kulde som kan svekke PBB materialet	mer eksponert for is/snø/kulde enn A)		Tiltak som reduserer muligheten for lekkasjer og tenning reduserer også behovet for brannbeskyttelse. Velge materiale og isolasjonsdetaljer som er mest motstandsdyktig mot snø/is/kulde
19	PBB struktur	sikre strukturell integritet ved brann	C		mer eksponert for is/snø/kulde som kan svekke PBB materialet	mer eksponert for is/snø/kulde enn A)		Tiltak som reduserer muligheten for lekkasjer og tenning reduserer også behovet for brannbeskyttelse. Velge materiale og isolasjonsdetaljer som er mest motstandsdyktig mot snø/is/kulde
20	Brannslukkingssyst emer	begrense varighet og størrelse på brann	A	Distribusjonssystem i modulen mindre utsatt for frost og dermed mer pålitelig		lite eksponert for snø/is/kulde fordi innelukking/HVAC beskytter Dersom brannvann er avhengig av tracing eller tracing for å fungere, så er systemet sårbart for feil på disse systemene	dersom utløsning av deluge krediteres i spesifikasjon av designlaster, er det kritisk at det utløses før antenning	Sikre høy pålitelighet på varmelementer og heat tracing Robustgjøring a rørføringer hvis utsatt for scenarier - tåle de lastene som rørene kan bli utsatt for Sikre så tidlig utløsning som mulig Materialvalg
20	Brannslukkingssyst emer	begrense varighet og størrelse på brann	B	Distribusjonssystem i modulen mer utsatt for frost og dermed mindre pålitelig deluge-utløsningsventilen kan fryse		feltutstyr mer eksponert for snø/is/kulde Dersom brannvann er avhengig av tracing for å fungere, så er systemet sårbart for feil på disse systemene	Utløsning av systemet ved lave temperaturer kan medføre store problemer med ising	Sikre høy pålitelighet på varmelementer og heat tracing Robustgjøring a rørføringer hvis utsatt for scenarier - tåle de lastene som rørene kan bli utsatt for Sikre så tidlig utløsning som mulig Materialvalg
20	Brannslukkingssyst emer	begrense varighet og størrelse på brann	C	Distribusjonssystem i modulen mer utsatt for frost og dermed mindre pålitelig deluge-utløsningsventilen kan fryse		feltutstyr mest eksponert for snø/is/kulde Dersom brannvann er avhengig av tracing for å fungere, så er systemet sårbart for feil på disse systemene	Utløsning av systemet ved lave temperaturer kan medføre store problemer med ising	Sikre høy pålitelighet på varmelementer og heat tracing Robustgjøring a rørføringer hvis utsatt for scenarier - tåle de lastene som rørene kan bli utsatt for Sikre så tidlig utløsning som mulig Materialvalg
21	Rømningsveier	muliggjøre rømning og redning	A	Ingen vesentlig påvirknng	Ikke utsatt for snø og islaster	Dårligere utlufting i gjennomsnitt gir større ulykkeslaster på lokale rømningsveier. Rømningsveier i naboområder mindre påvirket.		
21	Rømningsveier	muliggjøre rømning og redning	B	Ingen vesentlig påvirknng	Mellom A og C	Mellom A) og C)		
21	Rømningsveier	muliggjøre rømning og redning	C	Ingen vesentlig påvirknng	Utsatt for snø og islaster. Kan kreve heat tracing av rømningsveier eller andre vinteriseringstiltak	sårbar ved feil på vinterisering av rømningsveier		oppvarming av rømningsveier og/eller andre vinteriseringstiltak
21	Evakuering	NA	A				Ikke relevant for denne studien	
21	Evakuering	NA	B				Ikke relevant for denne studien	
21	Evakuering	NA	C				Ikke relevant for denne studien	
22	Rednings- og sikkerhetssutstyr	muliggjøre rømning og redning (for eksempel rømningsmasker)	A	utstyret er beskyttet møt snø/is/kulde	utstyret er beskyttet	utstyret er beskyttet	I innelukkede moduler kan behovet for rømningsmasker være større enn i åpne moduler pga større konsentrasjon av gass og røyk og mindre oksygen ved en brann	Sørge for tilstrekkelig utstyr i modulen for å sikre rømning og redning

NORSOK S-001 kapittel	Barriere	Barrierens rolle ved lekkasje/tenning/ brann/eksplosjon i en prosessmodul	Type modul	Hvordan påvirkes barrierens pålitelighet av A) Mekanisk ventilasjon B) Naturlig ventilert med stor grad av innelukking C) Naturlig ventilert modul med mindre grad av innelukking (på nivå med Nordsjø-design)	Hvordan påvirkes barrierens funksjon av A) Mekanisk ventilasjon B) Naturlig ventilert med stor grad av innelukking C) Naturlig ventilert modul med mindre grad av innelukking (på nivå med Nordsjø-design)	Hvordan påvirkes barrierens sårbarhet for ulykkeslaster av A) Mekanisk ventilasjon B) Naturlig ventilert med stor grad av innelukking C) Naturlig ventilert modul med mindre grad av innelukking (på nivå med Nordsjø-design)	Kommentar til de ulike designløsningene	Mulige kompensierende løsninger
22	Rednings- og sikkerhetsutstyr	muliggjøre rømning og redning (for eksempel rømningsmasker)	B	kan eksponeres for snø/is/kulde	kan eksponeres for snø/is/kulde	kan eksponeres for snø/is/kulde		
22	Rednings- og sikkerhetsutstyr	muliggjøre rømning og redning (for eksempel rømningsmasker)	C	kan eksponeres for snø/is/kulde	kan eksponeres for snø/is/kulde	kan eksponeres for snø/is/kulde	god ventilasjon kan redusere behovet før rømnings- og redningsutstyr	
23	Marine systemer og posisjonering	NA	A				Ikke relevant for denne studien	
23	Marine systemer og posisjonering	NA	B				Ikke relevant for denne studien	
23	Marine systemer og posisjonering	NA	C				Ikke relevant for denne studien	
24	Kollisjons-barrierer	NA	A				Ikke relevant for denne studien	
24	Kollisjons-barrierer	NA	B				Ikke relevant for denne studien	
24	Kollisjons-barrierer	NA	C				Ikke relevant for denne studien	