

ST13

# Driftsutfordringer for prosessanlegg i sterk kulde

Petroleumstilsynet

**Rapportnr.:** 2018-0875, Rev. 3

**Dokumentnr.:** 221337

**Dato:** 2019-01-11



Prosjektnavn: ST13 DNV GL AS Region Norway  
Rapporttittel: Driftsutfordringer for prosessanlegg i sterk kulde 12965,Region Norway  
Oppdragsgiver: Petroleumstilsynet, Professor Olav Hanssens vei P.O. Box 300,,  
10, 4021, STAVANGER, Norway  
Kontaktperson: Jorun Bjørvik  
Dato: 2019-01-11  
Prosjektnr.: 10115154  
Org. enhet: Safety Risk Management Høvik  
Rapportnr.: 2018-0875, Rev. 3  
Dokumentnr.: 221337

Levering av denne rapporten er underlagt bestemmelsene i relevant(e) kontrakt(er):

Oppdragsbeskrivelse: På oppdrag for Petroleumstilsynet (Ptil) har DNV GL gjort en studie som har som formål å etablere en kunnskapsplattform for driftsmessige utfordringer for prosessanlegg og sikkerhetssystemer i sterk kulde.

Utført av:



Børre Johan Paaske  
Group Leader

Verifisert av:

Espen Funnemark  
Principal Specialist

Godkjent av:

Marianne Hauso  
Head of Section

Henning Martinsen Olin  
Principal Engineer

[Name]  
[title]

Gaute Fossheim  
Principal Engineer

[Name]  
[title]

Beskyttet etter lov om opphavsrett til åndsverk m.v. (åndsverkloven) © DNV GL 2019. Alle rettigheter forbeholdes DNV GL. Med mindre annet er skriftlig avtalt, gjelder følgende: (i) Det er ikke tillatt å kopiere, gjengi eller videreformidle hele eller deler av dokumentet på noen måte, hverken digitalt, elektronisk eller på annet vis; (ii) Innholdet av dokumentet er fortrolig og skal holdes konfidensielt av kunden, (iii) Dokumentet er ikke ment som en garanti overfor tredjeparter, og disse kan ikke bygge en rett basert på dokumentets innhold; og (iv) DNV GL påtar seg ingen aktsomhetsplikt overfor tredjeparter. Det er ikke tillatt å referere fra dokumentet på en slik måte at det kan føre til feiltolkning. DNV GL og Horizon Graphic er varemerker som eies av DNV GL AS.

DNV GL distribusjon:

- ☐ ÅPEN. Fri distribusjon, intent og eksternt.  
☐ INTERN. Fri distribusjon internt i DNV GL.  
☒ KONFIDENSIELL. Distribusjon som angitt i distribusjonsliste. Distribution within DNV GL according to applicable contract.\*

☐ HEMMELIG. Kun autorisert tilgang.

\*Distribusjonsliste:

Nøkkelord:

Prosessanlegg, lav temperatur, kulde, sikkerhet

| Rev.nr. | Dato       | Årsak for utgivelser | Utført av              | Verifisert av | Godkjent av |
|---------|------------|----------------------|------------------------|---------------|-------------|
| 0       | 2018-10-16 | Arbeidsutkast        | HENOL, KESO, GFOS, BJP | FUNN          | MHAUS       |
| 1       | 2018-11-02 | Høringsutkast        | HENOL, KESO, GFOS, BJP | FUNN          | MHAUS       |
| 2       | 2018-11-30 | Endelig rapport      | HENOL, KESO, GFOS, BJP | FUNN          | MHAUS       |
| 3       | 2019-01-11 | Oppdatering          | HENOL, KESO, GFOS, BJP | FUNN          | MHAUS       |



## Innholdsfortegnelse

|     |                                                                    |    |
|-----|--------------------------------------------------------------------|----|
| 1   | SAMMENDRAG.....                                                    | 1  |
| 1.1 | Konklusjon                                                         | 1  |
| 1.2 | Funn og anbefalinger                                               | 1  |
| 2   | DEFINISJONER OG AVGRENSETING ..... 4                               | 4  |
| 3   | INNLEDNING.....                                                    | 6  |
| 4   | METODE .....                                                       | 7  |
| 4.1 | Komponenter og systemer                                            | 8  |
| 5   | STUDIEBASIS OG LITTERATUR.....                                     | 9  |
| 6   | DRIFTSMESSIGE UTFORDRINGER AV STERK KULDE OG RASK NEDKJØLING ..... | 10 |
| 6.1 | Temperaturgrenser                                                  | 11 |
| 6.2 | Eksempler på vinteriseringsmetoder                                 | 12 |
| 6.3 | Prosessanlegg                                                      | 13 |
| 6.4 | Rask nedkjøling ved ikke-planlagt nedstengning                     | 18 |
| 6.5 | Sikkerhetssystemer                                                 | 19 |
| 7   | KUNNSKAP OG ERFARINGER FRA ANDRE AKTØRER.....                      | 22 |
| 8   | PRIORITERINGER OG ANBEFALINGER .....                               | 25 |
| 9   | REFERANSER .....                                                   | 27 |

Vedlegg A      [Register over driftsutfordringer for prosessanlegg og sikkerhetssystemer i sterk kulde](#)

## 1 SAMMENDRAG

På oppdrag for Petroleurstilsynet (Ptil) har DNV GL gjennomført en studie som har som formål å etablere en kunnskapsplattform for driftsmessige utfordringer for prosessanlegg og utvalgte sikkerhetssystemer i sterk kulde. Oppdraget skal gi Ptil en bedre forståelse av i hvilken grad og på hvilken måte sterk kulde kan skape driftsmessige utfordringer for prosessanlegg med tilhørende sikkerhets- og hjelpesystemer.

Oppdraget er en del av Ptils satsning på nordområdene, med ønske om å omsette denne kunnskapen for å oppnå bedre og sikrere operasjoner i nordområdene.

Det er også gitt en oppsummering av informasjonsinnhenting fra operatører med erfaring fra design og drift av anlegg i kaldt klima.

### 1.1 Konklusjon

Prosessanlegg i sterk kulde vil kunne møte utfordringer i normal drift og ved lengre tids stans dersom nødvendige vinteriseringstiltak ikke er identifisert og gjennomført. Dette kan være tiltak både av teknisk karakter (valg og design av utstyr) og operasjonelle tiltak som for eksempel fjerning av akkumulert is / snø eller tiltak som hindrer kritisk nedkjøling av (deler av) anlegget til omgivelsestemperatur ("cold soaking").

Denne studien har ikke identifisert fenomener som ikke er kjent fra før, men det er identifisert en del faktorer som har betydning for en vellykket vinterisering. Det er ikke identifisert problemstillinger som forhindrer operasjon ned mot -30°C. Noen fenomener som ellers ikke forekommer hyppig, kan bli mer fremtredende som følge av man oftere og over lengre perioder opererer i lave temperaturer, og som det derfor er viktig å ha fokus på både i design og drift. Disse faktorene er oppsummert i studien og er et resultat både av gjennomgang av aktuelle standarder og åpne kilder, materiale og informasjon mottatt fra Ptil, erfaring fra design og drift av prosessanlegg i lave temperaturer, samt arbeidsgruppens erfaring og kompetanse.

Preventive tiltak som reduserer sannsynlighet for prosessforstyrrelser er viktige å identifisere tidlig i beslutningsprosessen, både under design av et anlegg, men også under drift når man skal håndtere en kommende kuldeperiode. Basert på identifisert kunnskap om utfordring ved sterk kulde bør det etableres en strategi for å håndtere (teknisk og/eller operasjonelt) disse utfordringene. Dette omfatter alt fra materialvalg, egenskaper for utstyr og kjemikalier (bla. smøremidler), arrangement, tilleggsvarme, værbeskyttelse etc. til manualer for drift og vedlikehold i kulde. Det er avgjørende at driftsorganisasjonen har kunnskap om strategi og prinsipper for hvordan anlegget er designet for lave temperaturer slik at konsekvensene for hvordan anlegget skal opereres er godt forstått, samt at driftserfaring også er med tidlig i designprosessen for å avklare konsekvenser for drift av valgt designfilosofi.

### 1.2 Funn og anbefalinger

Arbeidet har fokusert på tre hovedtemaer, og funn og anbefalinger er sortert etter disse.

#### 1. Spesielle hensyn som må tas for å sikre tilgjengelighet av sikkerhetssystemer

For sikkerhetssystemene er **design av fakkelsystemet** for operasjon i sterk kulde avgjørende for å oppnå tilfredsstillende sikkerhet. Dette omfatter særlig tiltak for å unngå kondensering og akkumulering av væske som kan gi isdannelse og sette fakkelsystemet ut av drift, samt sikre at systemet ikke eksponeres for kritisk lave temperaturer ved bruk. Ved lave temperaturer kan prosessen kjøles raskere

ned, og som medfører at man raskere kan komme under minimumstemperatur for å initiere trykkavlastning. Sentrale tiltak til være:

- Fokuserer på gjennomføring av tiltak mot akkumulering av væske som er beskrevet i aktuelle designstandarder, f.eks API RP 521 og DNV GL OS A-201, samt forsterke dette med HAZOP-studier som fokuserer på kulde-effekter.
- Sikre at driftsorganisasjon har god kunnskap om anleggets temperaturgrenser for å gjennomføre trykkavlastning, og hvordan nedkjølingstid påvirkes av lav temperatur, og hvordan anlegget opereres kan øke sannsynligheten for akkumulering av væske.
- Vurdere lavtemperatur-alarmer i nedblåsnings-og trykkreduksjonslinjer .
- Redusere sårbarhet i fakkell-systemet ved å ha flere fakkellheadere som skiller tørre, våte og kalde kilder fra hverandre.

**Prosess-sikringssystemet og nødavstengning** er avgjørende for på en sikker måte å bringe prosessen til sikker tilstand ved prosessavvik eller uønskede hendelser. Kompleksiteten av prosess-sikringssystemet, med omfattende koblinger mellom sensorer, transmittere, logikk, aktuatorer og ventiler, gjør at systemet generelt vil være bredt eksponert for effekter av lav temperatur. Sentrale tiltak vil være:

- Plan for ettersyn og testing av kritiske ventiler før og under kuldeperioder.
- Valg av trykktransmittere som er mindre påvirket av lav temperatur, f. eks ved større diameter på målelinje, isolering, varmetilførsel og tilstandsovervåkning av trykktransmittere.
- Plassering av komponenter (logikk, sensorer) som er sårbare for lave temperaturer i lukket og evt. oppvarmet boks eller med ekstra varme.
- Velge rett hydraulikkolje, samt sikre mot kritisk økning av viskositet med sirkulasjon, isolasjon eller varmetilførsel.
- Unngå kondensering og ising i trykkluft for avlufting av aktuatorer med isolasjon og eventuelt varmetilførsel, for å sikre mot treg eller manglende reguleringsrespons.
- Velge rett smøremiddel, som sikrer mot treg respons i lav temperatur.
- Materialvalg i ventiler og pakninger for lave temperaturer, for å sikre nødvendig bevegelse og tetning i lave temperaturer og unngå kritiske forskjeller i termiske utvidelse/sammentrekning.

**Brannvannsystemer og åpen drenering** er utsatt for frysing, og må utformes for lave temperaturer for å hindre redusert eller manglende funksjon ved at de blokkeres. Sentrale tiltak vil være:

- Tørre og selvdrenerende systemer for å unngå akkumulering og frysing.
- Plassering av utstyr i oppvarmede skap eller rom.
- Valg av skummidler for lave temperaturer.
- Prosedyrer og utstyr for å sikre funksjonalitet av brannvannsystemet dersom ising oppstår etter at det har vært utløst eller at vann feilaktig har kommet inn i systemet.
- Benytte større rørdiameter der det reduserer faren for blokkering som følge av frysing.



- Isolering og varmekabler der det kan benyttes.

Innelukkings-barrieren er avgjørende for god sikkerhet. Materialbruk egnet for relevante minimumstemperaturer er svært viktig for å ivareta denne barrierene. Det er veletablerte prosesser for kvalifisering og utvelgelse av materialer, ut fra krav til operasjons- og designtemperatur. I sammensatte systemer, som et prosessanlegg, vil en utfordring være å ha oversikt over **hvordan de forskjellige materialenes egenskaper spiller sammen over et bredt temperaturområde** som spenner fra «normal» operasjonstemperaturer for prosessanlegg til lave ekstremtemperaturer.

Mange av sikkerhets-systemene er passive i normal drift. For å bidra til god tilgjengelighet av sikkerhetssystemene bør det derfor kunne **demonstreres at sikkerhetssystemene vil fungere i representative temperatur- og værforhold**, og at dette inngår i operasjons- og vinteriseringsmanualene for lave temperaturer. Dette kan omfatte ettersyn og testing av kritiske ventiler (ESD, BDV etc.), fakkelsystem, brannvannsystem og åpen drenering før og under kuldeperioder. For anlegg i drift i dag er det vanlig å ha planer for vinterklargjøring og drift i lave temperaturer.

## 2. Systemer og utstyr som vil trenge særskilte designløsninger forårsaket av lav temperatur.

Kraftproduksjon er i seg selv viktig for vinterisering av en innretning. For systemer og utstyr i sterk kulde er følgende problemstillinger og tiltak vurdert å være viktigst med tanke på drift i sterk kulde:

- Sikre **nødvendig kraftproduksjon**, inkludert nødkraft og UPS. Dette omfatter også vinterisering av forbrenningsluft, kjølevann og ellers støttesystemer som er påkrevet for å sikre kraftproduksjon. Det må vurderes om det er behov for å koble sikkerhetskritiske forbrukere til nødkraftsystemet.
- Funksjon til **kontroll- og seksjoneringsventiler**, inkludert aktuatorer, sensorer, logikk og styring ( se eget punkt ovenfor).
- **Frostsikring** og design for å unngå at uønsket faseovergang <sup>1</sup>for fluider i rør, slanger, tanker og beholdere uten minimumsstrømning eller rør med liten diameter fører til blokkering eller redusert strømning i prosess- og støttesystemer.

For problemstillingene er det gitt en overordnet beskrivelse av funksjonen til relevante tiltak.

Inspeksjon og vedlikehold av prosess-anlegg i sterk kulde krever god kunnskap om hvordan kulde påvirker anlegget og hva slags behov for oppfølging som kan oppstå, samt hvordan sterk kulde kan begrense muligheter til å gjennomføre vedlikeholdsoppgaver. Det må tidlig etableres en strategi som kobler sammen anleggets driftsfilosofi (bemanningsnivå, vedlikeholdsfilosofi etc.) med vinteriseringsfilosofien (design vs. operasjonelle tiltak). Erfaring fra anlegg i drift i sterk kulde viser at en av de største utfordringene er mangelfull isolasjon og effekt fra varmekabler, med tilhørende driftsforstyrrelser og vedlikeholdsarbeid knyttet til dette. Aktuelle tiltak for å følge opp tilstand på varmekabler er å installere alarmer på tap av funksjon i varmekabler, samt temperaturovervåkning av kritiske punkter med varmekabel.

---

<sup>1</sup> Med faseovergang menes kondensering av gass til væske, eller at væske går over til fast form (f.eks vann som fryser eller voksdannelse).

### 3. Spesielle hensyn til utforming eller operasjon knyttet til ikke-planlagte nedstengninger

Ved en ikke-planlagt stengning av et prosessanlegg stenges prosessen raskt ned som følge av en feil i anlegget (f.eks. feil på pumper, kompressor, kraftproduksjon, black-out) eller etter en operasjonell beslutning. For å redusere utfordringene knyttet til ikke-planlagte nedstengninger er det **viktig hvor lang tid en sikker nedstengning tar, samt kraftbehov for å gjennomføre nødvendige nedstengningsaktiviteter**. I tillegg er det nødvendig å vite hvor lang tid det tar før en nedstengt prosess når kritisk lav temperatur (dvs. når vesentlige kulde-effekter inntreffer i form av frysing, faseovergang og økt viskositet). Hensikten er å vite når tiden det tar før kritiske kulde-effekter oppstår er kortere enn den tiden det tar å gjennomføre en sikker nedstengning. Anleggets UPS-kapasitet for å dekke nedstenging, og eventuelle eksterne varmekilder (også for varmegenerering ved oppstart etter nedkjøling) må tilpasses behovet.

## 2 DEFINISJONER OG AVGRENSINGER

Studien er gjennomført med følgende definisjoner og avgrensinger:

**Sterk kulde:** Prosjektet har definert sterke kulde som temperaturer lufttemperatur i området -20°C til -30°C. I henhold til NORSOK N-003 tilsvarer dette laveste temperatur med 24-timer varighet/ frekvens  $10^{-2}$  per år, i de områdene av Barentshavet som er åpnet for petroleumsvirksomhet - med unntak av en mindre del av de åpne områdene lengst nord-øst. I Ptils studie «ST8 – Vinteriseringstiltak», sammenfaller definisjonen med «Sone 2». Vinteriserings-temperatur ( $t_w$ ) på -30°C er i kategori «Cold» iht. til DNVGL-OS-A201.

Som en sammenlikning er tilsvarende temperatur med 24 timer varighet/frekvens  $10^{-2}$  per år for området Nordsjøen og Norskehavet, -14°C. I praksis vurderer studien kuldeeffekter som kan oppstå ved lave temperaturer, og som er forventet å være mer fremtredende for prosessanlegg som skal opereres i områder med lavere minimumstemperaturer enn Nordsjøen, Norskehavet og på land i kystnære strøk.

**Rask nedkjøling:** Rask nedkjøling er nedkjøling som inntreffer ved ikke planlagt nedstenging av prosessen (trip), dvs. prosessanleggets interne varmetilførsel opphører, og som også kan også skje i kombinasjon med stans av kraftproduksjon. Tap av kraft-/varmeproduksjon/ ses på som avvik, som igjen kan være årsak til stans og nedkjøling av prosessen.

**Prosessanlegg:** fra isoleringsventil på vingventil på juletre/ riserventil subsea brønner til isoleringsventil mot eksport/til lagertanker

**Sikkerhetssystemer:** Sikkerhetssystemer definert i NORSOK S-001

Merk: I denne studien vurderes de funksjonene og sikkerhetssystemene som er nødvendig for drift og sikring av prosessen, med tilhørende støttesystemer. Hovedsikkerhetsfunksjoner knyttet til strukturell bæreevne, stabilitet, rømning og evakuering samt øvrig beredskap er ikke dekket av dette arbeidet.

**Driftsmessige utfordringer:** Driftsmessige utfordringer er delt i tre kategorier:

- 1) Avvik som direkte kan bidra til en uønsket hendelse
- 2) Avvik som gir brudd eller vesentlig redusert funksjon på enn eller flere barrierefunksjoner eller sikkerhetssystemer.
- 3) Driftsmessig avvik som krever at anlegget stenges ned, eller som krever ikke planlagte kompenserende tiltak for sikker drift.





### 3 INNLEDNING

På oppdrag for Petroleurstilsynet (Ptil) har DNV GL gjort en studie som har som formål å etablere en kunnskapsplattform for driftsmessige utfordringer for prosessanlegg og sikkerhetssystemer i sterk kulde. Oppdraget skal gi Ptil en bedre forståelse av i hvilken grad og på hvilken måte sterk kulde kan skape driftsmessige utfordringer for prosessanlegg med tilhørende sikkerhets- og hjelpesystemer.

Oppdraget er en del av Ptils satsning på nordområdene, med ønske om å omsette kunnskapen for å oppnå bedre og sikre operasjoner i nordområdene. Ptil skriver i bakgrunnen for oppdraget at resultatene fra arbeidet skal benyttes i Ptils videre tilsynsarbeid, samt til «å utfordre næringen mer spesifikt for at de skal kunne ta tak i konkrete problemområder».

Prosjektet har tatt for seg følgende hovedtema:

- Systemer og utstyr som vil trenge særskilte designløsninger forårsaket av *lav temperatur*, inkludert en beskrivelse av mulige løsninger og tiltak.
- Spesielle hensyn til utforming eller operasjonelle krav som må tas knyttet til *rask nedkjøling (voks, is, hydrat) ved ikke-planlagte nedstengninger* med tilhørende problemer ved oppstart
- Spesielle hensyn som må tas for å sikre tilgjengelighet på sikkerhetssystemer

DNV GLs oppdrag omfatter også å innhente erfaringer og kunnskap på området fra relevante aktører. Disse aktørene ble invitert til å gi innspill underveis i prosjektet til de utfordringene som er identifisert og vurdert, samt til å dele erfaringer og kunnskap innen dette temaet. Alle bidrag er anonymisert, med mindre aktørene selv ønsket å bli identifisert.

## 4 METODE

Studien er gjennomført etter en metode med følgende hovedsteg:

1. Litteraturstudie, gjennomgang av aktuelle standarder og etablering av basis for studien, samt avklaring av viktige forutsetninger og avgrensinger i samarbeid med Ptil. Identifisere og prioritere materialer, komponenter og systemer for gjennomgangen. Arbeidet bygger videre på de studiene Ptil har fått gjennomført innen tema vinterisering og vinteriseringstiltak, bl.a. hva gjelder områdeinndeling og relevante temperatur-intervaller, ref. /1/
2. Gjennomføring av DNV GL intern FMEA/HAZOP for å systematisere kunnskap og erfaringer mht. utfordringer og løsninger/praksis knyttet beskyttelse av ovennevnte systemer med tilhørende komponenter ved lave temperaturer.

I denne vurderingen ble det sett på risikoforhold som skyldes feil på utstyr, årsaksforhold og mulige konsekvenser, kunnskap om hvordan utstyr beskyttes mot kulde i dag, hvordan vedlikehold av utstyr blir påvirket av behov for beskyttelse mot kulde, og identifisere mulige ytterligere tiltak. Gjennomgangen benyttet ledeord knyttet til operasjon i lave temperaturer:

- Materialer (endret egenskap, utvidelse/sammentrekning, styrke, duktilitet/formbarhet, ledningsevne, etc.)
- Fluidier (fase-overgang, viskositet, mer/mindre strømning, ikke strømning etc.)
- Rør, tanker, prosessenheter (mer/mindre strømning, ingen strømning, fase-overgang)
- Roterende utstyr (intern/ekstern lekkasje, friksjon/smøreevne, tilgjengelighet etc.)
- Sensorer, logikk og styring (tilgjengelighet, feilkilder og målesikkerhet, kalibrering, etc.)
- Nedstengning og oppstart
- Generell drift og vedlikehold

Workshopen og den videre analysen oppsummerer driftsutfordringer identifisert gjennom litteraturstudien, materiale mottatt fra Ptil, samt erfaring og kompetanse fra DNV GLs prosjektgruppe. Resultatene fra workshopen ble gjennomgått i et arbeidsmøte med Ptils prosjektgruppe.

3. Funnene er kategorisert med tanke på kritikalitet (ikke kritisk - noe kritisk - kritisk), ut fra i hvilken av de tre typene driftsutfordringer de gir, samt i hvilken grad det finnes kjente/egnede tiltak for å håndtere utfordringen. I Vedlegg A er de forskjellige driftsutfordringene per temaområde oppsummert, se eksempel i Figur 1.

Følgende kritikalitets-kategorier er benyttet:

- 1 (ikke kritisk) = Kjente/velprøvde tiltak eller ikke sikkerhetskritisk konsekvens
- 2 (moderat kritisk) = Bidrar til hendelse/reduisert barriereytelse, med kjente tiltak.
- 3 (kritisk) = Ukjent/uprøvd tiltak og sikkerhetskritisk konsekvens

| Tema | No. | System/komponent          | Del-system/komponent     | Effekt/betydning                                             | Konsekvens/<br>sikkerhetsutfordring                                                             | Kritikalitetsnivå<br>(konsekvens, kunnskap om<br>tiltak) | Kommentar                                                                                                                            |
|------|-----|---------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| C2   | 26  | Ventiler                  | Prosessfluidier - væsker | Ventil lukker ikke sfa. fast stoff i ventillåpning.          | Prosessregulering og sikring fungerer ikke som forutsatt. Prosess går ikke til sikker tilstand. | 1                                                        | Flere barrierer                                                                                                                      |
| C2   | 27  | Fluidier i rør og slanger | Prosessfluidier - væsker | Is-/hydratdannelse, eller redusert flow sfa. høy viskositet, | Redusert/no flow, trykkoppygging, PSV løfter, nedstengning.                                     | 2                                                        | Erfart hendelser kuldeperiode landanlegg 2009/2010 og 2010/2011 - isdannelse i rørsystemer som førte til nedstengning av landanlegg. |

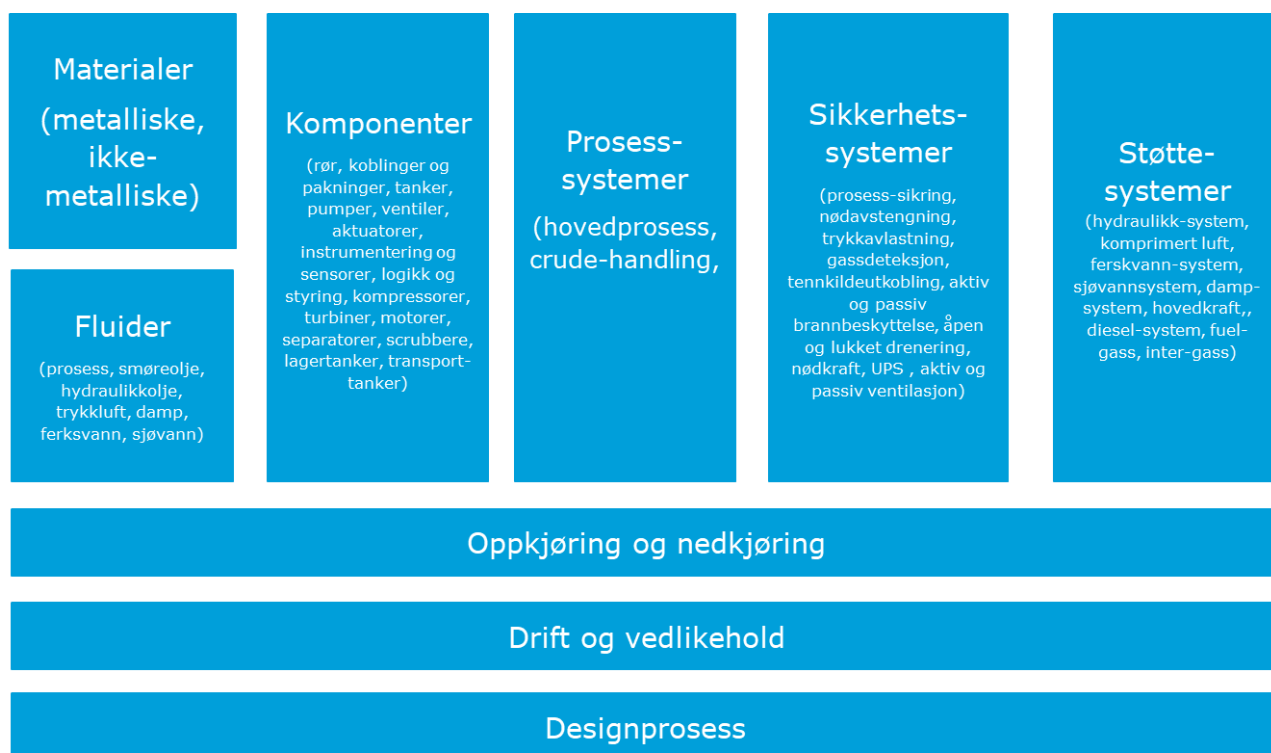
**Figur 1 Utklipp fra tabell over driftsutfordringer.**

4. Resultatene fra identifisering og systematisering av driftsutfordringer er videre presentert og diskutert med aktører i petroleumsnæringen som har kunnskap og mulig praktisk operativ erfaring i kaldt klima. Formålet med dette var å kvalifisere funn og å innhente eksempler på hva som vurderes som de vesentligste utfordringene.

På basis av punktene 3 og 4 er det gjort en vurdering av de viktigste problemstillingene og anbefalinger innenfor de tre hovedtemaene studien dekker.

## 4.1 Komponenter og systemer

Studien dekker de typiske materialer, komponenter, prosess-systemer, sikkerhetssystemer og støttesystemer som finnes i prosessanlegg innen petroleumsvirksomheten på land og til havs. De enkelte delene er naturlig nok behandlet generelt, men med fokus på hvordan spesielt lave temperaturer kan påvirke deres egenskaper og funksjon. Figur 2 viser en oversikt over de delene av drift og operasjon av et prosessanlegg som studien har gjennomgått.



5

**Figur 2 Deler og operasjoner for et prosessanlegg som er vurdert**

Komponent- og systeminndeling er basert på de objekter for vinterisering listet i DNV GL OS-A201 knyttet til prosessanlegg, samt sikkerhetssystemene i S-001.

For sikkerhetssystemer er det de systemene som beskrives i NORSOK S-001 som er behandlet, men med vekt på de systemene som er særlig viktig for å opprettholde prosessanleggets integritet og å begrense eller stanse videre eskalering av et prosessavvik.

## 5 STUDIEBASIS OG LITTERATUR

Studiene bygger på gjennomgang og systematisering av relevante driftsutfordringer for prosessanlegg i sterk kulde hentet fra følgende standarder og studier:

- DNVGL-OS-A201 - Winterization standard for cold climate operations
- ISO 19906 - Arctic Offshore Structures
- ISO 35105 - Arctic Operations - Material Requirements for arctic operation
- ISO 35102 - Arctic Operations - EER
- NORSOK N-003
- ST8 - Vinteriseringstiltak for innretninger i Barentshavet, SINTEF, 2016.
- OG21 - Technology Challenges for year round oil and gas production at 74N in the Barents Sea, DNV GL, 2016
- IRIS – Technology and operations challenges for the high north, Report IRIS -2011/166
- Arctic Operations Handbook - Joint Industry Project, Report no. MAR11908-E1133-RP01, 2013
- Barents 2020 - Harmonisation of HSE standards for the Barents Sea (Phase 3 report), DNV GL, 2010

DNV GLs arbeid med den store JIP Arctic Materials (som ledes av SINTEF) inngår som en del av kunnskapsgrunnlaget. Som del av denne JIP'en er det også utarbeidet en guideline for som omhandler anvendelse av polymere materialer under arktiske forhold (-10 °C til -60 °C).

Det er gjennomført litteratursøk i forskningsdatabasene Engineering Village, Scopus og OnePetro. Der det ble identifisert relevante kilder er dette referert direkte i teksten.

I tillegg til DNV GL sin arbeidsgruppes egen erfaring med temaer knyttet til petroleumsvirksomhet i lave temperaturer, er det mottatt dokumentasjon fra Ptil som grunnlag for studien, samt direkte erfaringsoverføring fra Ptil til prosjektet.

## 6 DRIFTSMESSIGE UTFORDRINGER AV STERK KULDE OG RASK NEDKJØLING

Sterk kulde gir utfordringer for prosessanlegg og tilgjengelig av sikkerhetssystemer. De fenomenene man i hovedsak må håndtere er:

- Nedbør eller sjøsprøyt som fryser på utstyr og komponenter og dermed gjør dem utilgjengelige for tiltenkt funksjon og vedlikehold/reparasjon (f.eks. rømningsveier, detektorer, ventilasjonsinntak), kan medføre fallende is (f.eks. fra boretårn, kraner, flammeforvarmere) eller påvirke stabiliteten til fartøyet
- Lave temperaturer som påvirker funksjonaliteten til komponenter (f.eks. elektriske, hydrauliske, pneumatiske), rørsystemer og tanker (frysing eller endring av viskositet for væsker og smøremidler) eller materialeegenskaper (metalliske og ikke metalliske)
- Lave temperaturer i eller uten kombinasjon med vind (Wind chill effect) som har negativ påvirkning på menneskelig evne til konsentrasjon og arbeid.

For materialer vil et gjennomgående fenomen være redusert duktilitet/formbarhet ved lavere temperaturer. Dette gjelder både metaller og ikke metaller. Med redusert duktilitet/formbarhet får materialene lavere slagmotstand, og blir sprøere. Materialer som skal ta opp bevegelser eller tette/slutte inntil (slanger, vibrasjonsdemping, pakninger) kan bli stivere og miste tiltenkt funksjon. Materialers termiske ekspansjonskoeffisient kan påvirke påførte laster i et system. Forskjellige materialer har forskjellige termiske ekspansjon-koeffisienter, som kan medføre tap av vedheft mellom forskjellige materialer, klaringer utenfor toleranser (f.eks. i lagre) eller økt friksjon mellom bevegelige deler. Som et eksempel har polymerer generelt vesentlig høyere termisk ekspansjonsfaktor enn stål.

For væsker i et prosessanlegg kan uønsket faseovergang (kondensering, frysing) gi utfordringer, i form av tetting av rør og utløp eller fastfrysing av utstyr. Dette gjelder både hovedprosess, støtte- og hjelpesystemer. Væskers viskositet øker ved lavere temperaturer. Høyviskøse væsker vil renne tregere, og dette kan f.eks. gi langsommere respons for hydrauliske systemer eller mindre effektiv smøring av roterende utstyr, eller ikke ønsket strømningsforhold i deler av hovedprosessen. Økt viskositet av hydraulikkolje kan forlenge responstiden for ventiler. Både frysing og økt viskositet kan gi uønsket trykkoppbygging i et prosess-system, og som dermed må håndteres av prosess-sikringsanlegget. Kondensering i elektriske eller elektroniske systemer kan gi kortslutninger eller feil funksjon.

For komponenter og systemer er utfordringen å se hvordan de forskjellige effektene som påvirker materialer, væsker og ytre effekter (snø, ising) spiller sammen og kan påvirke komponentens eller systemenes funksjon og forårsake feil.

Varmetapet fra prosessen vil skyldes både den lav temperatur, men også effekten av vindavkjøling. Både prosessvarme og tilført varme skal motvirke at varmetapet blir så stort at det påvirker prosessen negativt. Vindavkjøling kan bidra til at utstyr eller prosesser ikke oppnår forutsatt operasjonstemperatur, noe som kan gi driftsavvik/ redusert effektivitet eller økt slitasje på utstyr. Dersom nødvendig varmetilførsel opphører som følge av en ikke planlagt prosess-nedstengning eller tap av kraftproduksjon kan det gi store utfordringer. Dersom en nedstenging ikke kan gjennomføres på en måte som tar hensyn til utfordringer med nedkjøling av anleggsdeler (f.eks. nødvendig drenering og tørking/fjerning av fuktighet i gassfase for å unngå uønsket kondensering eller duggpunktproblemer) vil det være store utfordringer ved oppstart av anlegget igjen. Dersom et anlegg blir stående uten nødvendig

varmetilførsel, sirkulasjon etc., vil det kunne oppstå såkalt «cold soaking», som betyr at anlegget som helhet går inn i kald tilstand uten nødvendige forberedelser eller tiltak for å kunne starte opp igjen.

I studien «Vinteriseringstiltak for innretninger i Barentshavet», ref. /1/, er følgende syv hovedutfordringer ved lave temperaturer definert:

- C1: Materialers og utstyrs egenskaper
- C2: Frostsikring av væsker og i rørsystemer og slanger
- C3: Frostsikring av væsker i tanker og beholdere
- C4: Frostsikring av smøreoljer/hydraulikkoljer/drivstoff
- C5: Kondens i trykkluft-system
- C6: Kondens i HVAC-system
- C7: Vindavkjølingstemperatur/Væreksposering

Disse syv kategoriene er også benyttet i dette arbeidet. I tillegg er følgende fire andre kategorier innført:

5. C8: Effekter av vinteriseringstiltak
6. C9: Tilstrekkelig og tilpasset kraftgenerering
7. C10: Operasjonelle forhold, inkludert opp-/nedkjøring og vedlikehold.
8. C11: Design-prosess

I Vedlegg A er de identifiserte driftsutfordringene kategorisert per hovedutfordring, med tilordning til materiale/komponent/system osv., samt tilhørende kritikalitetskategori. Totalt er det identifisert 176 temaer, dersom man inkluderer gjentakelse av hvordan utfordringene knyttet til materialer, væsker og komponenter påvirker ytelsen i de forskjellige systemene (hovedprosess, støttesystemer, sikkerhetssystemer). Utfordringene fordelt i de forskjellige kritikalitets-kategoriene som følger, ref. kap 4:

- «ikke kritisk» 85% (148 registreringer)
- «noe kritisk» 16% (28 registreringer)
- «kritisk» Ingen

Kapittel 6.3, 6.4 og 6.5 gir en beskrivelse av de vesentligste problemstillingene som er identifisert.

## 6.1 Temperaturgrenser

Prosessanlegg i seg selv kan designes for svært lave temperaturer, jmf. LNG-anlegg med intern temperaturer ned mot -163°C. Slik sett er sterk kulde på ingen måte ukjent for petroleumsvirksomheten. Å snakke om absolutte nedre temperaturgrenser er derfor ofte mindre aktuelt innenfor de temperaturene denne studien omhandler. Utfordringen vil heller handler om å forstå og beskrive kravene til de materialene, komponentene og væskene som skal benyttes og å kvalifisere disse ut fra de temperaturene som legges til grunnlag for design og operasjon.

Imidlertid vil et prosessanlegg operere mellom relativt store temperaturspenn og med mange forskjellige materialer involvert, slik at f.eks. materialenes egenskap over dette spennet og i samspill med det øvrige systemet må hensyntas.



Stål i prosessanlegg er generelt designet for å tåle svært lave temperaturer grunnet prosessmessige forhold, f.eks. som følge av Joule-Thomson-effekter, og påvirkes lite av temperatur-endringer innenfor det intervallet denne studien omfatter. Et unntak er fakkelsystemer, hvor trykk- og temperaturreduksjon over en nedblåsningsventil kan gi kritisk lav temperatur i fakkelsystemet dersom temperatur på prosesssiden har sunket for mye som følge av nedkjøling. Joule-Thomson effekten oppstår når en trykkavlast og systemet har da normalt minimalt med spenninger, og da er sjansen for sprøbrudd minimal. Hvis en ved lave temperaturer allerede har en høy utnyttelse av stålet, må det dokumenteres at de spenningene som oppstår som følge av Joule-Thomson, er akseptable. Aluminium har et temperaturspenn som dekker langt lavere temperaturer enn de som vurderes i denne studien og benyttes bl.a. i varmevekslere for anlegg som produserer LNG.

Polymere materialer (plast, gummi og kompositter) kan designes og kvalifiseres for anvendelse i svært lave temperaturer. Det store felles industriprosjektet Arctic Materials har utarbeidet retningslinjer for kvalifisering og testing av stål og polymere materialer ned til -60°C. Polymer korrosjonsbeskyttelse kvalifiseres i dag for bruk ned til -20°C gjennom NORSOK M-501.

Råolje eller raffinerte og fraksjonerte produkter i prosessanlegg kan komme under væskens «pour-punkt», dette vil avhenge av komposisjoner av prosesstrømmene, men kan ofte ligge godt over de minimumstemperaturene denne studien dekker. Det finnes en lang rekke hydraulikkoljer og smøremidler for bruk i lavere temperaturer. Som eksempel finnes det flere hydraulikkoljer med flytepunkt ned under -60°C. Selv om slike produkter har høy viskositetsindeks – dvs. viskositeten regnes som mindre avhengig av temperaturendringer, vil produktets egenskaper endres med fallende temperatur.

Internasjonalt finnes det AFFF (slukkemiddel for tilsetning til brannvann) for bruk i lave temperaturer (under -30°C), men noen av disse kan forutsette særskilt utslippstillatelse (såkalt «svart kjemikalie»). Dette gjelder for eksempel AFFF med frysepunkt -18°C som brukes på norsk sokkel, ref. /3/.

Ifølge Innretningsforskriften §10 skal «Komponenter utformes slik at de eller det er egnet for bruk og i stand til å motstå de lastene de eller det kan bli utsatt for under drift». I praksis vil det si at utbygger må ta hensyn til værdata, herunder lave temperaturer, for de aktuelle lokasjonene ved valg av materialer og prinsipper for design. Innretningsforskriften gir ingen føringer for godkjenningssprosedyrer/regimer, og det blir opp til utbygger å dokumentere samsvar. Det finnes eksempel på komponenter som fra leverandøren er godkjent ned til en gitt temperaturgrense, og hvis komponentene skal benyttes i lavere temperaturer kan det være behov for ytterligere testing eller kvalifisering.

## 6.2 Eksempler på vinteriseringsmetoder

Vinterisering er et samlebegrep for flere alternative tiltak/løsninger som kan anvendes for å motvirke og/eller kontrollere uønskede hendelser/konsekvenser ved operasjon i kaldt klima. Selve fenomenene som forårsaker utfordringene i sterk kulde er i stor grad kjent. Hovedutfordringen vil være å identifisere omfanget av det for et aktuelt prosessanlegg og lokasjon, og å velge egnede vinteriseringstiltak, som gir et forsvarlig sikkerhets- og regularitetsnivå, og som samtidig er kostnadssvarende.

Vinteriseringstiltak kan være aktive eller passive.

- Passiv vinterisering er tiltak som ikke krever tilført energi, f.eks. skjerming, isolering, innbygging, senking av frysepunkt for væsker eller ved å velge væsker (hydraulikkoljer, smøreoljer, fett) med egnet viskositet, materialkvalifikasjon og utvelgelse.

- Aktiv vinterisering er tiltak som baserer seg på tilført energi, f.eks. oppvarming, væskesirkulering, eller fysisk fjerning av is/snø.

Noen ganger vil en kombinasjon av aktive og passive tiltak være ønskelig. F.eks. rør på åpent dekk eller i uoppvarmede rom kan ha både elektrisk/damp/varm væske oppvarming (aktiv) og isolasjon (passiv).

Rømningsveier kan man velge å legge innendørs (passiv) eller utvendig med oppvarmet dekk (aktiv) evt. i kombinasjon med skjerming (passiv).

Vinterisering innebærer også operasjonelle tiltak som å tilrettelegge/planlegge nødvendig utendørs operasjon med egnet bekledning/utstyr, varmemoder og/eller kortere eksponeringstid mot kaldt klima.

Vinterisering omfatter også beredskapsplaner for bortfall av aktive vinteriseringstiltak.

Vinteriseringstiltak står også beskrevet i DNV GL-OS-A201. Studien «Vinteriseringstiltak for innretninger i Barentshavet» ref. /1/, presenterer kjente vinteriseringstiltak for utfordringene C1-C7 som er listet i kap. 6.

## 6.3 Prosessanlegg

Prosessanlegg i kulde vil kunne møte utfordringer i normal drift, og ved lengre tids stans dersom nødvendig vinteriseringstiltak ikke er identifisert og gjennomført. Dette kan være tiltak både av teknisk karakter (valg og design av utstyr) og operasjonelle tiltak som for eksempel fjerning av akkumulert is / snø eller oppstart/kjøring av utstyr som hindrer kritisk nedkjøling av (deler av) anlegget til omgivelsestemperatur ("cold soaking").

Denne studien har ikke identifisert fenomener som ikke er kjent fra før, men det er identifisert en del faktorer som har betydning for en vellykket vinterisering. Disse faktorene er oppsummert i dette kapittelet og er et resultat både av gjennomgang av aktuelle standarder og åpne kilder, materiale og informasjon mottatt fra Petroleurstilsynet samt arbeidsgruppens erfaring og kompetanse. I kapittel 7 er det gitt en oppsummering fra intervjuer/informasjonsinnhenting fra operatører med erfaring fra drift av anlegg i kaldt klima.

Det er ikke identifisert problemstillinger som forhindrer operasjon ned mot -30°C. Preventive tiltak som reduserer sannsynlighet for prosessforstyrrelser er viktig å identifisere tidlig i beslutningsprosessen, både under design av et anlegg, men også under drift når man skal håndtere en kommende kuldeperiode. Basert på identifisert kunnskap om utfordringer ved sterk kulde bør det etableres en strategi for å håndtere (teknisk og/eller operasjonelt) disse utfordringene. Dette omfatter alt fra materialvalg, egenskaper for utstyr og kjemikalier (bla. smøremidler), arrangement, tilleggsvarme, værbeskyttelse etc.

Operatørene må være kjent med etablerte konsekvensreduserende tiltak som beredskap mot sterk kulde.

Slike konsekvensreduserende tiltak bør beskrive bl.a.:

- begrensninger i normal operasjon (Safe Limit State)
- hva som må gjøres i tilfelle en ikke-planlagt stans
- hva som må gjøres i tilfelle langvarig stans (Cold soaking).

### 6.3.1 Vinteriseringsfilosofi

Ved valg av utbyggingsløsning i områder eksponert for sterk kulde er det noen tema som ansees særlig viktige i etablering av design basis og ved valg av vinteriseringsfilosofi denne sammenheng:

- Robusthet av vær og temperaturdata – for å kunne sette robust design basis og identifisere mulige utfordringer forbundet med sterk kulde, raske temperaturendringer, kombinasjon fuktighet og kulde.
- Valg av strategi for vinterisering f.eks. innbygging vs isolasjon og ekstern oppvarming, samt strategi for energi (varme og elektrisitet) og sikring av anlegget i perioder hvor anlegget blir stående uten produksjon i sterk kulde.
- Valg av strategi for operasjon f.eks. grad av automatisering vs manuelle operasjoner (i felt) og/eller sette temperatur/værbegrensninger for produksjon.
- Valg av redundansgrad for vs behov for (korrektivt) vedlikehold i sterk kulde. Vedlikeholdsfilosofien må ta stilling til omfang av korrektivt vedlikehold man forutsetter kan gjøres i kalde perioder, og å knytte dette sammen med utstyr som settes i redundans. En forutsetning om å kunne gjøre alt av kritisk vedlikehold også i kuldeperioder, kan være utfordrende pga. begrensninger på arbeid i kulde.
- Planer og manualer for oppfølging av utstyr i standby/redundante systemer i lave temperaturer, og for start av anlegg i sterk kulde.
- Petroleumsindustrien har et omfattende sett av standarder og retningslinjer for design av prosess-, støtte- og sikkerhetssystemer. Det er viktig å være særlig bevisst de delene av disse standardene som omhandler tema relevant for lav temperatur, f.eks. faseovergang, kondensering, akkumulering av væske og drenering, frostbeskyttelse osv., og vurdere om de aktuelle designtemperaturene krever andre løsninger enn de man tradisjonelt har valgt. Det bør vurderes å etablere egne aktiviteter for å sikre dette, f.eks. HAZOP/prosess-gjennomganger med fokus på lav temperatur.

Det ansees viktig at man tidlig i designprosessen har dette klart og det er etablert et kvalitetssikringssystem som kan fange opp de potensielle problemstillinger som kan relateres til design og eller utstyrsleveranser for anlegg som skal operere utenfor standard temperatur områder; spesialbygget for lav temperaturoperasjon.

En aktuell strategi er også å velge å ikke designe anlegget for minimumstemperaturene på lokasjonen (f.eks en 100-års temperatur), men heller legge inn en temperaturgrense som ligger høyere minimumstemperaturen hvor man vil stenge ned prosessanlegget. På denne måten kan man redusere omfanget av den delen vinteriseringstiltakene som er rettet inn mot temperaturer som forekommer sjelden. Men man må samtidig forutsette at produksjonen stenges ned et lite antall dager gjennom levetiden for anlegget, og at tapt produksjon forsvares av reduserte kostander knyttet til vinterisering.

### 6.3.2 Identifiserte utfordringer for prosessanlegg

Her presenteres problemstillinger identifisert for typiske komponenter og systemer i prosessanlegg. De fleste vinteriseringstiltak vil i større eller mindre grad omfatte insolasjon / værbeskyttende innbygging med eventuell tilførsel av ekstern varme, ref. 6.2. Dette medfører at man i design må identifisere for hvilke driftstilstander som varmetilførsel er en sikkerhetskritisk funksjon; er funksjonen sikkerhetskritisk i noen eller alle tilstander som normal drift (produksjon), stillstand (stans men ikke frostsikret), eller nedstengt (stanset og frostsikret).

## Sensorer, impulslinjer og signalføring

Det er ikke identifisert nye problemstillinger i forbindelse med sterk kulde. Noen fenomener som ellers ikke forekommer hyppig kan bli mer fremtredende eller er viktige å ha fokus på både i design og drift:

- Plassering av tappepunkter på prosessrør må sikres «pålitelig» plassering for å unngå tetting av voks/utfellinger/hydrater.
- *Impuls-linjer (tubing)* må planlegges for å unngå lommer og om nødvendig sikres med isolasjon/tilført varme for å sikre åpent løp til sensor.
- *Sensorer og transmittere* – kan være utsatt for frysing, særlig trykktransmittere. Ofte plasseres disse i beskyttende kabinetter eller oppvarmede bokser, disse kan fungere som værbeskyttelse av "standard" komponenter dersom kabinettet tilføres varme. Økt diameter på impuls-linje kan redusere faren for frysing. Ved valg av andre løsninger enn kabinett,
  - hindre at sensorer, transmittere etc. påvirkes av negativt av vinteriseringstilak (fysisk fjerning av is og snø)
  - hindrer kondensering i elektronisk og elektrisk utstyr (kan gi kortslutning).
  - vurdere selvdetektering for frysing av transmittere
- *Signalføring* – typiske signalkabler (BFOU) finnes for installasjon i temperaturer ned mot -35 - -40°C og det er ikke identifisert problemstillinger utover potensiell mekanisk overbelastning. Dette kan oppstå spesielt i overgang fra temperert til kald sone hvor isdannelse kan føre til brudd/kortslutning. Ved utforming og dimensjonering av kabelgater må det tas hensyn til potensiell tilleggs-last fra is og snø akkumulering.
- *Tilstandovervåkning på varmekabler blir viktig.* Aktuelle tiltak for å følge opp tilstand på varmekabler er å installere alarmer på tap av funksjon i varmekabler, samt temperaturovervåkning av kritiske punkter med varmekabel.

## Kontroll- og seksjonerings-ventiler, inkludert aktuator, kontrollkabinett med akkumulatorfunksjon

Det er ikke identifisert nye problemstillinger i forbindelse med sterk kulde. Noen kjente fenomener kan bli mer fremtredende eller er viktige å ha fokus på både i design og drift:

- *Kontroll- og seksjonerings-ventiler* – Det er funnet flere potensielle utfordringer ved ventiler, enten disse er regulerings eller av/på ventiler som seksjoneringsventiler, trykkavlastingsventiler etc. Ved materialvalg i hus, seter og tetnings-materialer er det viktig å ta hensyn til forskjeller i termisk ekspansjon for de forskjellige materialene. Feil valg her kan føre til intern eller ekstern lekkasje, i tillegg kan dette medføre økt friksjon som forsinker / hindrer operasjon av ventilen. Ventiler kan også få tregere respons som følge av høyere viskositet på prosessvæske ved lave temperaturer. Fastfrysing av ventiler er også erfart. Ved valg av ventilutforming bør fare for blokkering av operasjon (f.eks. lineær bevegelse på spindel) på grunn av ekstern is/snø akkumulering vurderes. Ventiler som regulerer og trykkreduserer gass kan være utsatt for kondensering og frysing ved lave temperaturer, da varmetapet over ventilen blir større når omgivelsestemperaturen er svært lav. Dette kan gi kondensering og frysing (i prosess-strømmen og i selve ventilen). Det kan også

feste seg fast stoff (is, hydrat, voks) i ventilåpningen. Dette påvirker strømningskarakteristikken, og kan medføre mangelfull eller ingen regulering. Dette er vurdert som særlig kritisk dersom dette oppstår på trykksikringsventiler (PSV). Aktuelle tiltak for å motvirke effektene er isolasjon og varmekabler/tilføre varme.

- **Aktuator og solenoidventil** – respons (gangtid/kraftoverføring) kan reduseres eller falle bort om ikke tilstrekkelige vinteriseringstiltak er gjennomført. Respons fra hydrauliske aktuatorer kan påvirkes av økt viskositet i hydraulikkolje eller frysing/blokkering av hydraulikk-olje systemet. Luftstyrte aktuator kan påvirkes av kondensering og frysing, og da særlig ved frysing/blokkering av avluften for aktuatoren. Det er vurdert at solenoidventiler er mer utsatt for denne effekten, pga. små dimensjoner. Ventiler av små dimensjoner vurderes generelt mer utsatt for kuldeeffekter. Sprøbrudd i utløserfjær for solenoidventiler og aktuatorer som medfører helt eller delvis tap av kraftoverføring kan forekomme i lave temperaturer. Aktuelle tiltak for å motvirke effektene er isolasjon og varmekabler, evt. sirkulasjon av hydraulikk-olje.

**Rør, flenser og manuelle ventiler** – det er ikke funnet spesielle forhold som indikerer sikkerhetsmessige utfordringer med lavere ekstern temperatur. Det er imidlertid identifisert potensiale for mer termisk isolasjon (varmekonservering) for flere av vinteriseringstiltakene, med medfølgende

- mulig økt omfang av korrosjon under isolasjon (KUI) som følge av mer bruk av isolasjon
- redusert mulighet for visuell inspeksjon / deteksjon av lekkasjer,
- redusert tilkomst for operasjon, feilretting, utbedring osv.

Ved utforming av anleggene bør fare for ekstern is/snø akkumulering som kan føre til blokkering av operasjon av manuelle ventiler og ekstern last (is/snø) vurderes.

Man må også være oppmerksom på potensialet for frostsprengning i flensforbindelser, og i utstyr som står i ro/stand by uten ekstra varmetilførsel.

**Roterende utstyr - Pumper og kompressorer** – det er ikke avdekket forhold som direkte kan tilskrives sterk kulde. Det er imidlertid identifisert noen forhold relatert til kaldt klima generelt som kan påvirke pumper og kompressorer.

Tetningssystemer kan være følsomme for lav temperatur, som i første rekke kan skape problemer ved oppstart av anlegg etter stans eller nedstengning. Lav temperatur etter stans kan:

- for mekaniske tetninger føre til feiltoleranser ved oppstart som kan medføre økt friksjon/slitasje som derved medfører tap av tetningsegenskaper (lekkasje)
- føre til at medium i pumpe og tilhørende rørsystemer kan ha for høy viskositet så forventet gjennomstrømning eller effektforbruk ikke nås.
- i normaldrift kan drivere (el-motorer) få for lav arbeidstemperatur på grunn av for effektiv kjøling – hvis standardkomponenter benyttes.

Snø og is akkumulering er ikke ansett som en direkte konsekvens av lavere minimumstemperatur, men er et fenomen som bør adresseres både i design av anleggene og i operasjons/nedstengnings rutiner.

Aktuelle problemstillinger for roterende utstyr er akkumulering av is/snø eksternt som kan stoppe utstyr i drift eller forhindre start av samme utstyr; vifte på el-motor frosset fast, kobling mellom driv-enhet og pumpe/kompressor fastfrosset / ubalanse ved is-akkumulering.

- tetningsgass systemer (kompressorer) lokale utluftinger fra tetningsgass-systemene kan tettes/strupes av is/snø
- Smøreolje systemer kan få redusert ytelse ved nedkjøling av olje ved stans eller nedstengning – kan medføre redusert smøreevne / utstyrshavari om ikke tilstrekkelig temperatur eller sirkulasjon kan sikres.
- Fastfrysing av pumper forekommer, særlig for pumper som står i standby.

**Elektriske varmekolber og varmekabler** – ingen spesielle utfordringer identifisert utover potensiell mekanisk overbelastning (brudd/kortslutning) ved isdannelse (vann-inntrengning i gjennomføringer/koblingsbokser). Generelle problemer som er erfart spesielt med selvregulerende varmekabel er hyppige brudd / feilfunksjon ved ujevn varmeoverføring (overoppheting av deler av lengden). Det er også kjent at det er utfordringer med å sikre at varmekablene leverer forutsatt kapasitet/gir rett temperatur, og at dette kan kreve ekstra inspeksjon og justering av sett-punkt for termostat evt. temperaturoversvåkning. Gode alarm-systemer for feil på varmekabler er nødvendig.

**Forbrenningsmotorer/turbiner og fyrte enheter** – ingen spesielle utfordringer identifisert. De generelle temaene som er av betydning er funksjon til pakninger og tetninger (også væske-lås) i lave temperaturer, funksjon av smøremidler for å redusere lekkasje ved lave temperaturer, beskyttelse av luftinntak mot tetting av snø og is, og funksjon av vibrasjonsdemping i fundamenter ved lav temperatur. Dieselmotorer må ha diesel egnet for lave temperaturer.

**Materialer og materialvalg:** Material-bruk egnet for relevante minimumstemperaturer er avgjørende for å ivareta denne barrieren. Det er veletablerte prosesser for kvalifisering og utvelgelse av materialer, ut fra krav til operasjons- og designtemperatur. I sammensatte systemer, som et prosessanlegg, vil en utfordring være å ha oversikt over hvordan de forskjellige materialenes egenskaper spiller sammen (temperatur-utvidelse/kontraksjon, duktilitet, plastisitet, vibrasjonsdemping, hefte-evne) over et temperaturområde som spenner fra normale operasjonstemperaturer til lave ekstremtemperaturer.

**Væsker i rør, slanger, tanker og beholdere.** Et prosess-anlegg vil inneholde en mengde væsker hvis egenskaper påvirkes av temperatur. I tilfeller der redusert temperatur gir utilsiktet faseovergang (kondensering, frysing, hydratdannelse, voksdannelse) eller strømningsegenskaper (viskositet, flytepunkt) vil det påvirke driften av anlegget. Videre vil det kunne oppstå problemer for systemer som går over fra varm til kald sone (f.eks. åpen og lukket drenering, brannvann, fakkelsystem skal være selvdrenerende etc.). Effekter er redusert strømning, væskeakkumulering, blokkert strømning, trykkoppbygging etc. som kan gi driftsstans med mer. Det finnes en rekke prinsipper (drenering, unngå væske-akkumulering, frostsikring osv.) for å unngå slike effekter som er beskrevet i aktuelle designstandards, og disse blir svært viktig å følge for anlegg i sterk kulde. Det er erfart relativt hyppige driftsproblemer knyttet til dette temaet for anlegg som har operert i perioder med sterk kulde. Se for øvrig kapittel 6.5 som omhandler design av fakkell og dreneringssystemer i lave temperaturer, hvor effektene over er sentrale å håndtere.

**Kraftproduksjon, inkludert hovedkraft, nødkraft og UPS** er kritisk for alle anlegg, men særlig for anlegg i sterk kulde. Kraft trengs både til drift av prosess- og sikkerhetssystemer, men også til å opprettholde nødvendige vinteriseringstiltak (strøm, varme, damp osv.). Følgende tema er viktige for kraftproduksjon i sterk kulde:

- Kraftproduksjon avhenger av forbrenningsluft og kjølevann som begge kan påvirkes av vinterforhold (snø/is i luftinntak) og lave temperaturer (frysing av kjølevann). Det er derfor avgjørende at disse systemene er godt designet og med hensiktsmessige tiltak for operasjon i lav temperatur. Tiltak for å unngå is og snø i ventilasjon- og luftinntak er sentralt. Dette er ikke

et nytt fenomen i seg selv, men hyppighet og varighet av perioder med ising og snø vil forlenges.

- Det kreves mer kraft (nødkraft eller UPS) for å sikre en forsvarlig nedkjøring i sterk kulde, se kapittel 6.5, for å unngå store problemer ved oppstart av nedkjølte prosessanlegg.
- Kraftbehovet vil generelt være større, både for hovedkraft, nødkraft og UPS - dette kan gi mindre marginer mot fremtidig utvidelser eller endringer i anlegget dersom dette ikke planlegges for.

**Inspeksjon og vedlikehold:** Inspeksjon og vedlikehold av prosess-anlegg i sterk kulde krever god kunnskap om hvordan kulde påvirker anlegget og hva slags behov for oppfølging som kan oppstå, samt hvordan sterk kulde kan begrense muligheter til å gjennomføre vedlikeholdsoppgaver. Et vinterisert anlegg gir en del ekstra vedlikeholdsoppgaver, f.eks. inspeksjon under isolasjon og av varmekabler, drenering og tørking av tanker og rør, fjerning av is og snø. Kulde vil også påvirke hvor lenge personell kan jobbe utendørs av gangen, samt at man må ta hensyn til at vinterbekledning påvirker motorikk og operasjonsevne. Det må tidlig etableres en strategi som kobler sammen anleggets driftsfilosofi (bemanningsnivå, vedlikeholdsfilosofi etc.) med vinteriseringsfilosofien (design vs. operasjonelle tiltak).

## 6.4 Rask nedkjøling ved ikke-planlagt nedstengning

Ved ikke-planlagt stengning av et prosessanlegg stenges prosessen raskt ned som følge av en feil i anlegget (f.eks. feil på pumper, kompressor, kraftproduksjon, black-out) eller en operasjonell beslutning (f.eks. ekstremvær). Varmetilførsel fra et reservoar eller annen tilført prosessvarme og sirkulasjon/strømning er forventet å opphøre, i tillegg vil varme fra vinteriseringstiltak eller annen tilført varme falle bort. Jo lavere omgivelsestemperaturen er, jo raskere vil et anlegg i en nedstengt tilstand kjøles ned. Ved nedkjøling kan flere av de effektene som er beskrevet i de foregående kapitlene inntre, og særlig utfordrende vil nedkjøling av væsker være - noe som gir økt viskositet, kondensering, voksutfelling og frysing. Et prosessanlegg som kjøles ned uten beskrevne nødvendige tiltak og forberedelser, og hvor disse kuldeeffektene inntre, kan være utfordrende å starte opp igjen. Med riktige tiltak i forkant eller innenfor et kritisk tidsvindu i etterkant kan utfordringene med en slik ikke-planlagt nedstengning i stor grad kontrolleres. Dette krever imidlertid at tiltakene er godt beskrevet i operasjons-/vinteriseringsmanualer samt når og hvordan slike tiltak skal utføres.

Følgende utfordringer knyttet til rask nedkjøling ved ikke-planlagt nedstengning er identifisert:

- Nødvendige nedstengningsprosedyrer ved strømutfall (drenering, tørking, sirkulasjon av væske-segmenter for å unngå frysing, frostvæske, ekstra varme etc.) kan kreve større kraftbehov (essensiell/nød- og evt. UPS-kapasitet) enn det som standard kapasiteter (NORSOK) angir. I tillegg kan UPS batterikapasitet bli redusert dersom batterier eksponeres for lave temperaturer.
- Oppstart med blokkerte rørsystemer eller væsker med økt viskositet gir trykkoppbygging eller redusert strømning.
- Is/hydrat/voks-plugger løsner under oppkjøring og lager trykkstøt eller hammer-effekter i prosess-systemet.
- Brannvann/deluge utløses (ved feil eller uten at det er lekkasje), og blir stående med vann i lav temperatur. Anleggets tilstand i etterkant (akkumulert vann, frysing) er ikke kjent.
- Redusert effekt av smøremidler for roterende utstyr ved oppstart, som gir treg respons og økt slitasje på utstyr.



- Generelle kulde-effekter for materialer og utstyr, og væsker.
- Antall forbrukere av nødstrøm må vurderes med tanke på ikke-planlagt nedstenging, opp mot prinsippet om å ikke belaste nødstrømssystemet med for mange brukere (prioritering)

For å redusere utfordringene knyttet til ikke-planlagt nedstengning er det viktig å vite hvor lang tid og hva kraftbehovet er for å gjennomføre nødvendige nedstengningsaktiviteter. I tillegg er det nødvendig å vite hvor lang tid det tar før en nedstengt prosess når kritisk lav temperatur (dvs. når vesentlige kulde-effekter inntreffer i form av frysing, faseovergang og økt viskositet). Tid til kritisk nedkjøling vil avhenge av hvor lav omgivelsestemperaturen er, i tillegg til effekten av vindavkjøling. Dersom det tar lengre tid å gjennomføre tiltak enn man har til rådighet før temperatur i anlegget blir kritisk lav, vil man ikke rekke å unngå kritiske kuldeeffekter. Operasjonsmanualen bør derfor både beskrive nødvendige tiltak for å begrense effektene av en ikke planlagt nedstenging inkludert tap av kraftproduksjon. Videre bør det angis ved hvilken temperatur det ikke er tilstrekkelig tid til å gjennomføre tiltak, og man derfor må vurdere om prosessen heller skal stenges for å unngå langvarig nedstenging pga. nedkjøling ved ikke-planlagt stans i produksjon.

Anleggets UPS-kapasitet for å dekke nedstenging, og eventuelle eksterne varmekilder (også for varmegenerering ved oppstart etter nedkjøling) må tilpasses behovet. Ved en ESD-situasjon vil man ofte ikke kunne sende personell ut i anlegget for å gjennomføre manuelle tiltak knyttet til drenering, varmetilførsel etc. For å håndtere slike situasjoner bør man derfor vurdere forventet varighet av nedstengningen, og hvilke vinteriseringstiltak det da er behov for innenfor denne tidsperioden. Dette kan f.eks. omfatte fjernoperering av dreneringsventiler, sirkulasjonskretser eller tilleggs-varme.

I tillegg nevner DNV GL-OS-A201 viktigheten av å gjennomføre HAZOP på rør- / prosess-systemer med fokus på oppstart fra kaldt anlegg (etter lenger tids nedstengning), ref. /5/.

## 6.5 Sikkerhetssystemer

Sikkerhetssystemene vil berøres av de samme utfordringene som er beskrevet i kapittel 6.3. Imidlertid vil slike feil kunne være mer kritisk dersom de påvirker sikkerhetssystemene, fordi de bidrar til svekket barrierefunksjon. Av driftsutfordringene som er kategorisert som «noe kritisk», er om lag 30% knyttet til redusert funksjon på sikkerhetssystemer, og hovedvekten av disse er igjen knyttet til væsker i rør og slanger og dernest egenskapene til materialer og utstyr.

**Fakkelsystemet** er vurdert som et system som krever særskilt fokus ved operasjon i sterk kulde. Fra anlegg i drift er det erfart flere situasjoner med is-plugger i fakkelsystemet i kuldeperioder. Disse effektene oppstår ikke nødvendigvis med en gang temperaturen synker, men opptrer først etter en tid. Vintrene 2009 og 2010 var det lengre kuldeperioder som påvirket landanleggene i Norge, og som medførte redusert eller ingen fakkelskapasitet på flere av anleggene, ref. /4/. Man mister da en svært viktig barriere. En slik situasjon vil også kunne kreve vesentlige operasjonelle tiltak i driften, knyttet til fjerning av blokkering, omlegging og eventuell midlertidig nedstengning av drift. Årsaker til ising i fakkelsystemene kan være:

- kondensering av damp direkte tilført fakkelsystemet (dette er ikke vanlig for offshore-anlegg)
- damp som kondenserer i systemene fra prosess-strømmer som avlastes til fakkelsystemene ved operasjonelle tiltak,
- kondensert væske/akkumulert væske ikke dreneres bort
- manglende frostbeskyttelse.



Aktuelle design-standarder (f.eks. API RP 521) og DNV GL OS A201 viser til tiltak for å unngå slike tilfeller. Redusert funksjon av selve trykkavlastningsventilen kan også oppstå dersom det skjer kondensering eller frysing over ventilen ifm. med fakling, og denne effekten kan forsterkes ved lave omgivelsestemperaturer.

Det er også viktig å kjenne til anleggets temperaturgrenser for å gjennomføre trykkavlastning. Under trykkreduksjon vil anleggets temperatur falle. I sterk kulde vil anleggets temperatur reduseres ved en nedstengning. Dersom det tar for lang tid før man iverksetter trykkavlastning kan videre temperatur-reduksjon som følge av trykkavlastningen (faklingen) gjøre at temperatur på både prosess- og fakkelsiden kommer under designtemperatur. Ved lave omgivelsestemperaturer er det viktig å kjenne til hvordan temperaturen faller i prosessen ved nedstengning, og hvordan dette kan påvirke mulighetene for å gjennomføre trykkavlastning. Aktuelle tiltak, som er valgt for enkelte anlegg i dag, er også å designe anlegg med lavtemperatur-alarmer i nedblåsnings- og trykkreduksjonslinjer. Fakkelsystemets sårbarhet kan også reduseres ved at man har flere fakkellheadere og skiller tørre, våte og kalde kilder fra hverandre.

**Prosess-sikringssystemet og nødavstengning** er avgjørende for å bringe prosessen til sikker tilstand på en sikker måte ved prosessavvik eller uønskede hendelser. Kompleksiteten av prosess-sikringssystemet, med omfattende koblinger mellom sensorer, transmittere, logikk, aktuatorer og ventiler, gjør at systemet generelt vil være bredt eksponert ved lav temperatur, ref. kapittel 6.3.2. Metoder for å avdekke slike effekter og hvordan de håndteres er da viktig å kjenne til, f.eks. at HAZOP av systemene fokuserer særskilt på «lav temperatur». Det anbefales også å vurdere særskilt om redusert responstid på sikkerhetskritiske ventiler, også i HIPPS-systemer, som følge av økt viskositet på prosessvæsker, smøremidler eller hydraulikkoljer ved lave temperaturer etc. kan gi kritiske effekter, og hvordan dette kan motvirkes.

**Lufttilførsel til sikkerhetskritiske** brukere (nødgenerator, brannvannspumper, osv.) kan bli redusert pga. ising eller snø. Dersom inntakene tettes stanser kritisk utstyr. Ved bortfall av nødgeneratorer oppstår en ikke-planlagt stans, som kan være særlig kritisk i en situasjon med sterk kulde. Som nevnt over vil kraftbehovet for anlegg i sterk kulde være stort, og en overgang til UPS medfører at annet sikkerhetskritisk utstyr da kan falle ut (f.eks. gass-deteksjon) som følge av at batterikapasiteten er begrenset. Diesel/nød-generatorer må kunne startes opp umiddelbart ved aktuell minimumstemperatur på forbrennings- og kjøleluft.

**Brannvannsystemet** er eksponert for frysing. Oftest vil brannvannsystemet derfor være «tørt» i kalde områder. Likevel kan det oppstå utfordringer dersom det er lekkasjer inn i systemet som fryser i rør, ventiler eller dyser. Brannvannsystemet vil derfor ha dreneringshull eller punkter som skal drenere ut slike lekkasjer. AFFF-tanker kan være utstyr med oppvarming for å unngå frysing. Ved utløsning vil vann strømme inn i et kaldt rørsystem. Vann vil raskt kjøles ned, og man kan se for seg at vann kan fryse i rørsegmenter et stykke vekk fra tilførselspunktet, og særlig i rør med liten diameter (pga. større varmetap til omgivelsene). Slike effekter kan motvirkes ved å tilsette frostvæske i brannvannet inntil jevn strømming er oppnådd. Under normalisering etter at brannvann er utløst må man sikre at rørsystemet ikke er tettes av is. I sterk kulde kan dette være et omfattende arbeid, hvor man må velge flere metoder for å sikre at det ikke er igjen is-plugger i systemet (blåse med trykkluft, varmetilførsel etc.). Det er også erfart en rekke hendelser med frysing av manuelt brannslukningsutstyr (monitorer, hydranter etc.).

**Åpen drenering/dekks-drenering** kan uten tilstrekkelig vinterisering være utsatt for blokkering pga. frosset vann/annen væske, eller blokkering søm følg av ising eller snø. Dette vil bidra til at



farlige/brennbære væske ikke vil kunne dreneres vekk fra dekksområder. Aktuelle vinteriseringsløsninger er varmekabel (inne i eller utenpå dreneringslinjer og header) og isolasjon.

**Gass-detektorer** vil også være sårbare for snø eller ising som fester seg på sensorene, og dette kan skje samtidig som annet utstyr, ref. luftinntak til sikkerhetskritiske brukere, også påvirkes av dette.

**Sikre tilgjengelighet av sikkerhetssystemer i kulde-perioder:** Mange av sikkerhets-systemene er normalt ikke i drift (står i beredskap). For å bidra til god tilgjengelighet av de sikkerhetssystemene under kuldeperioder bør det kunne demonstreres at disse systemene vil fungere i representative omgivelsesbetingelser (vær og temperatur). Beskrivelse av når og hvordan dette gjøres bør inngå i operasjons- og vinteriseringsmanualene. Dette kan omfatte ettersyn og testing av kritiske ventiler (ESD, BDV etc.), fakkelsystem, brannvannsystem og åpen drenering før og under kuldeperioder. For anlegg i drift i dag er det vanlig å ha planer for vinterklargjøring og drift i lave temperaturer.

## 7 KUNNSKAP OG ERFARINGER FRA ANDRE AKTØRER

### Erfaringer fra anlegg i Norge

Det er registrert flere vesentlige utfordringer relatert til prosessanlegg på land i kuldeperioder. Anleggene har vinteriseringsmanualer, men disse er erfart ikke å være fullt ut dekkende, og at det dermed oppstår driftsutfordringer og avvik som er sikkerhetskritiske. Problemer har oppstått før omgivelses-temperaturen kommer ned mot anleggets design-temperatur.

Med tanke på driftsutfordringer synes frysing av væsker i rør og tanker (som følge av kondensering, manglende sirkulasjon/stagnante soner, frysing i væskeutløp på drenerings- og knock-out siden) å være en betydelig utfordring – ved at den er hyppig forekommende og at den krever relativt omfattende tiltak for å håndtere. Dette gjelder både prosess-, støtte- (f.eks. kjølevann, drikkevann, damp) og sikkerhetssystemer. Utfelling av vann (og isdannelse) i produkter er også rapportert i tilfeller med lave temperaturer. Med tanke på sikkerhet er kondensering og isdannelse i fakkelsystemet vurdert som det mest kritiske, ref. /4/. Dette har gitt redusert eller ingen fakkelpasitet for deler av anlegget. Med tanke på prosessregulering og prosess-sikring er erfaringen at man opplever mer treg respons eller frysing av ventiler og pumper, som er viktig å lære av. Sammen med fakkelsystemet er det registrert flere utfordringer med brannvann-systemet; hydranter, monitører, tåkeanlegg, kabinetter etc. Gassdetektorer (linjedetektorer) er rapportert å være sårbare for snø og ising. Tap av hovedkraft, og deretter bortfall av nødkraft pga. luftinntak som tettes av snø, med videre overgang til UPS med begrenset kapasitet, viser at vinteriseringstiltak er viktig for å opprettholde sikkerhetskritisk kraftproduksjon.

Bruk av isolasjon og varmekabler som vinteriseringstiltak gir omfattende behov for inspeksjon, og medfører krevende vedlikeholdsarbeid. Tiltakets funksjon skal verifiseres samt at det må inspiseres for eventuell korrosjon under isolasjonen. Dette er også erfaring fra flere anlegg med manglende funksjons-/kritikalitets-kategorisering av varmekabler, slik at vedlikehold ikke gis nødvendig prioritet ut fra funksjon/kritikalitet.

Eksempler på valgte vinteriseringsløsninger for offhore-anlegg i lave temperaturer er:

- Selvdetektering av fastfrost trykk-transmitter
- Lav-temperaturindikator på nedblåsnings- og trykkreduksjonslinjer
- Purgning av fakkelsystem med tørr gass
- Oppvarming av AFFF-tank
- Isolasjon og oppvarming av lukket drenering
- Operasjonell temperaturgrense ligger høyere enn lokasjonens minimumstemperatur

### Erfaringer fra anlegg i Nord-Amerika

Det er innhentet erfaring fra landanlegg for produksjon og prosessering av petroleum i Nord-Amerika. Anleggene opplever jevnlig temperaturer mellom -20 og -30°C, og det er heller ikke uvanlig med temperaturer under -40 °C. Det foretrukne vinteriseringstiltaket er å legge systemer i oppvarmede bygninger der dette er praktisk mulig. Særlig størrelse på enhetene legger begrensninger på muligheter for å bygge inn. Byggene har installert varme, og av og til er det behov for tilleggsvarme i deler av



byggene som ikke blir tilstrekkelig oppvarmet. Ingen spesielle utfordringer er erfart i overgang mellom varm og kald sone (utendørs).

Utendørs er det omfattende bruk av isolasjon og forskjellige former for varmekabler (elektrisk, damp, glykol). Alle disse tiltakene har sine vesentlige utfordringer i bruk. Elektriske varmekabler forekommer hyppigst. Å oppnå tilfredsstillende pålitelighet av de elektriske varmekablene er en stor utfordring, og det krever omfattende overvåkning, inspeksjon og vedlikehold. Gode systemer for alarmhåndtering ved feil på varmekabler er viktig. Riktig installasjon og utlegging/tildekking er avgjørende for et godt resultat, og her har de erfart en del feil. Glykol er enklest å holde i drift, men krever mye ekstra infrastruktur.

Det er varierende erfaring med egnethet av isolasjonsløsninger. Isolasjonsmatter brukes når fast isolering er fjernet, fordi det er lett å ta av og på, men med en del dårlige erfaringer - f.eks ved at det gir dårligere isolasjon og man får frysing selv med varmekabler under. Det forekommer skader på isolasjonsmaterialet som følge av arbeid ved siden av.

Det er flere hendelser knyttet til frysing i dreneringspunkter hvor varmekabler ikke er hensiktsmessig lagt, hvor det også fryser i flenser som gir frostsprengning og lekkasje av hydrokarboner. Tilsvarende hendelser har også skjedd ved frysing i piping. Slik sett har manglende varmekabling/-tilførsel bidratt til kritiske hendelser og lekkasjer.

Utfordringer med å kontrollere/styre åpning på spjeld på luftinntak gir kondensering og frysing luftkjølte varmevekslere.

For rørsystemer som transporterer damp (uten varmekabling) er det erfart at det oppstår kondensering ved nedstengning, selv for kortere perioder, som har gitt væskehammer-effekt ved oppstart. Dampsystemene designes som selvforsynte med varme, slik at ekstern varme (kabler) ikke tilføres.

For hydraulikk-linjer med liten diameter benyttes det som regel ikke varmekabling for systemer der det er sirkulasjon, men stoler på leverandørens temperaturspesifikasjoner. For hydraulikk-systemer til aktuator hvor det er liten sirkulasjon/bevegelse, brukes det varmekabling helt frem til aktuator fordi det er erfart at statisk hydraulikkolje kan stivne også over flytetemperatur.

Ventiler velges med tanke på at det ikke skal oppstå lommer av væske (vann) som kan fryse. For PSV'er brukes det normal varmekabler for å hindre frysing.

Tørr gass (fuel gass) brukes til å flushe fakkelsystemet/fakkeltupp, og ved ikke injisering av damp.

Nød-dusjer har oppvarmede vanntantanker.

Den hyppigst forekomne utfordringen knyttet til operasjon i lav temperatur er utilstrekkelig isolasjon og varmekabling og følger av dette. Videre er uplanlagte nedstengninger en stor utfordring, og de legger derfor ned mye arbeid i å holde anlegget i gang. En nedstengning er svært krevende fordi det kan medføre at anlegget må dreneres fullstendig, som er en svært omfattende jobb. Oppstart etter en slik nedstengning, dvs. fra kaldt anlegg, medfører en betydelig risiko – f.eks i form av sprøbrudd som følge av lav temperatur på deler av anlegget.

For en del år siden var sprøbrudd i enkelte stålkomponenter en utfordring, men dette er forbedret som følge av økt kompetanse om temperetutkrav tilpasset bruken av komponentene. Videre er det utarbeidet driftsprosedyrer som skal sikre at komponenter/enheter ikke overbelastes ved lave temperaturer, f.eks begrensninger i trykksetting under oppstart av kaldt anlegg.

For materialvalg og design benyttes typisk ASME- og CSA-koder, i tillegg til selskapsinterne design-spesifikasjoner.



Anleggene har egne vedlikeholds-team for vinterisering, med tilhørende spesialist-kompetanse på vinterisering og operasjon i kaldt klima.

Anleggene har liten gass-produksjon, og lite utfordringer med hydratdannelse.

## 8 PRIORITERINGER OG ANBEFALINGER

Preventive tiltak som reduserer sannsynlighet for prosessforstyrrelser er viktig å identifisere tidlig i beslutningsprosessen, både under design av et anlegg, men også under drift når man skal håndtere en kommende kuldeperiode. Basert på identifisert kunnskap om utfordringer ved sterk kulde bør det etableres en strategi for å håndtere (teknisk og/eller operasjonelt) disse utfordringene. Dette omfatter alt fra materialvalg, egenskaper for utstyr og kjemikalier (bla. smøremidler), arrangement tilleggsvarme, værbeskyttelse etc.

For sikkerhetssystemene er design av fakkelsystemet for operasjon i sterk kulde avgjørende for å oppnå tilfredsstillende sikkerhet. Dette omfatter særlig tiltak for å unngå kondensering og akkumulering av væske som kan gi isdannelse og sette fakkelsystemet ut av drift, samt sikre at systemet ikke eksponeres for kritisk lave temperaturer ved bruk. Ved lave temperaturer kan prosessen kjøles raskere med, og som medfører at man raskere kan komme under minimumstemperatur for å initiere trykkavlastning. Sentrale tiltak til være:

- Fokuserer på gjennomføring av tiltak mot akkumulering av væske som er beskrevet i aktuelle designstandarder, f.eks API RP 521 og DNV GL OS A-201, samt forsterke dette med HAZOP-studier som fokuserer på kulde-effekter.
- Sikre at driftsorganisasjon har god kunnskap om anleggets temperaturgrenser for å gjennomføre trykkavlastning, og hvordan nedkjølingstid påvirkes av lav temperatur, og hvordan anlegget opereres kan øke sannsynligheten for akkumulering av væske.
- Vurdere lavtemperatur-alarmer i nedblåsnings-og trykkreduksjonslinjer .
- Redusere sårbarhet i fakkelsystemet ved å ha flere fakkelsheadere som kan skille tørre, våte og kalde kilder fra hverandre

Prosess-sikringssystemet og nødavstengning er avgjørende for på en sikker måte å bringe prosessen til sikker tilstand ved prosessavvik eller uønskede hendelser. Kompleksiteten av prosess-sikringssystemet, med omfattende koblinger mellom sensorer, transmittere, logikk, aktuatorer og ventiler, gjør at systemet generelt vil være bredt eksponert for effekter av lav temperatur. Sentrale tiltak vil være:

- Plan for ettersyn og testing av kritiske ventiler før og under kuldeperioder
- Frostsikring og tilstandsovervåkning av trykktransmittere
- Plassering av komponenter (logikk, sensorer) som er sårbare for lave temperaturer i lukket og evt. oppvarmet boks eller med ekstra varme)
- Velge rett hydraulikkolje, samt sikre mot kritisk økning av viskositet med sirkulasjon, isolasjon eller varmetilførsel.
- Unngå kondensering og ising i trykkluft for avlufting av aktuatorer med isolasjon og eventuelt varmetilførsel, for å sikre mot treg eller manglende reguleringsrespons.
- Velge rett smøremiddel, som sikrer mot treg respons i lav temperatur.
- Materialvalg i ventiler og pakninger for lave temperaturer, for å sikre nødvendig bevegelse og tetning i lave temperaturer og unngå kritiske forskjeller i termiske utvidelse/sammentrekning.

Petroleumsindustrien har et omfattende sett av standarder og retningslinjer for design av prosess-, støtte og sikkerhetssystemer. Det er viktig å være særlig bevisst de delene av disse standardene omhandler tema som er særlig relevant for lav temperatur, f.eks. faseovergang, kondensering, akkumulering av væske og drenering, frostbeskyttelse osv, og vurdere om de aktuelle





designtemperaturene krever andre løsninger enn de man tradisjonelt har valgt. Det bør vurderes å etablere egne aktiviteter for å sikre dette, f.eks. HAZOP/prosess-gjennomganger med fokus på lav temperatur.

Innelukkings-barrieren (containment) er avgjørende for god sikkerhet. Material-bruk egnet for relevante minimumstemperaturer er svært viktig for å ivareta denne barrierene. Det er veletablerte prosesser for kvalifisering og utvelgelse av materialer, ut fra krav til operasjons- og designtemperatur. I sammensatte systemer, som et prosessanlegg, vil en utfordring være å ha oversikt over hvordan de forskjellige materialenes egenskaper spiller sammen over et temperaturområde som spenner fra «normal» operasjonstemperaturer for prosessanlegg til lave ekstremtemperaturer.

For systemer og utstyr i sterk kulde er følgende problemstillinger og tiltak vurdert å være viktigst med tanke på drift i sterk kulde:

- Sikre nødvendig kraftproduksjon, inkludert nødkraft og UPS. Dette omfatter vinterisering av forbrenningsluft, kjølevann og ellers støttesystemer som er påkrevet for å sikre kraftproduksjon.
- Funksjon til kontroll- og seksjoneringsventiler, inkludert aktuatorer, sensorer, logikk og styring.
- Frostsikring og design for å unngå at væsker i rør, slanger, tanker og beholdere fører til blokkering eller redusert strømning i prosess-systemet.

Mange av sikkerhets-systemene er passive i normal drift. For bidra til god tilgjengelighet av sikkerhetssystemene bør derfor kunne demonstreres at sikkerhetssystemene vil fungere i representative temperatur- og værforhold, og at dette inngår i operasjons- og vinteriseringsmanualene for lave temperaturer. Dette kan omfatte ettersyn og testing av kritiske ventiler (ESD, BDV etc.), fakkelsystem, brannvannsystem og åpen drenering før og under kuldeperioder. For anlegg i drift i dag er det vanlig å ha planer for vinterklargjøring og drift i lave temperaturer.

Inspeksjon og vedlikehold av prosess-anlegg i sterk kulde krever god kunnskap om hvordan kulde påvirker anlegget og hva slags behov for oppfølging som kan oppstå, samt hvordan sterk kulde kan begrense muligheter til å gjennomføre vedlikeholdsoppgaver. Det må tidlig etableres en strategi som kobler sammen anleggets driftsfilosofi (bemanningsnivå, vedlikeholdsfilosofi etc.) med vinteriseringsfilosofien (design vs. operasjonelle tiltak).

Ved ikke-planlagt stengning av et prosessanlegg stenges prosessen raskt ned som følge av en feil i anlegget (f.eks. feil på pumper, kompressor, kraftproduksjon, black-out) eller en operasjonell beslutning (f.eks. ekstremvær). For å redusere utfordringene knyttet til ikke-planlagt nedstengning er det viktig å vite hvor lang tid og hva kraft-behovet er for å gjennomføre nødvendige nedstengningsaktiviteter. I tillegg er det nødvendig å vite hvor lang tid det tar før en nedstengt prosess når kritisk lav temperatur (dvs. når vesentlige kulde-effekter inntreffer i form av frysing, faseovergang og økt viskositet). Anleggets UPS-kapasitet for å dekke nedstenging, og eventuelle eksterne varmekilder (også for varmegenerering ved oppstart etter nedkjøling) må tilpasses behovet.

Basert på erfaring fra anlegg i drift i sterk kulde synes den største utfordringen å være mangelfull isolasjon og effekt fra varmekabler, med tilhørende driftsforstyrrelser og vedlikeholdsarbeid knyttet til dette.



## 9 REFERANSER

- /1/ SINTEF (for Petroleumstilsynet), ST8 - Vinteriseringstiltak for innretninger i Barentshavet, 2016
- /2/ NORSOK N-003 - Action and action effects
- /3/ Utslippstillatelse Goliat-feltet, Miljødirektoratet, 24.02 2016.
- /4/ [www.ptil.no/barrierer/kuldesjokk-for-landanlegg-article7645-828.html](http://www.ptil.no/barrierer/kuldesjokk-for-landanlegg-article7645-828.html)
- /5/ DNVGL-OS-A201 - Winterization standard for cold climate operations



## **VEDLEGG A**

---

### **Register over driftsutfordringer for prosessanlegg og sikkerhetssystemer i sterk kulde**

## Register over driftsutfordringer for prosessanlegg og sikkerhetssystemer i sterk kulde

Kontekst: Minimumstemperatur i området -20 - 30°C

I studien «Vinteriseringstiltak for innretninger i Barentshavet», ref. /1/, er følgende syv hovedutfordringer ved lave temperaturer definert:

- C1: Materialers og utstørs egenskaper
- C2: Frostsikring av væsker og i rørsystemer og slanger
- C3: Frostsikring av væsker i tanker og beholdere
- C4: Frostsikring av smøreoljer/hydraulikoljer/drivstoff
- C5: Kondens i trykkluft-system
- C6: Kondens i HVAC-system
- C7: Vindavkjølingstemperatur/Værekspnering

Disse syv kategoriene er også benyttet i dette arbeidet. I tillegg er følgende fire andre kategorier innført:

- C8: Effekter av vinteriseringstiltak
- C9: Tilstrekkelig og tilpasset kraftgenerering
- C10: Operasjonelle forhold, inkludert opp-/nedkjøring og vedlikehold.
- C11: Design-prosess

**Kritikalitetsnivå (konsekvens, kunnskap om tiltak**

- 1 (ikke kritisk) = Kjente/velprøvede tiltak eller ikke sikkerhetskritisk konsekvens
- 2 (moderat kritisk) = Bidrar til hendelse/reduert barrierereyelse, med kjente tiltak.
- 3 (kritisk) = Ukjent/uprøvd tiltak og sikkerhetskritisk konsekvens

[illegible]

|    |     |            |                               |                                                                                                                                               |                                                                                                                                                        |                                                 |   |                                                                                                                                                                                                    |   |
|----|-----|------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| C1 | 5   | Materialer | Plastiske materialer/polymere | Miste elastisitet/duktilitet i plastiske materialer som pakninger, tetninger, ventilakslinger, pumper etc.                                    | Pakninger blir utette/mister tetningsegenskaper; inntrengning av fuktighet, korrosjon, lekkasje                                                        | DNV GL OS-A201, ISO 19906-3, ISO 35105          | x | Materialspesifikasjoner og kvalifisering, plassere i oppvarmet område                                                                                                                              | 1 |
| C1 | 6   | Materialer | Plastiske materialer/polymere | Miste elastisitet/duktilitet i plastiske materialer som pakninger i flenser, ventilakslinger, pumper etc.                                     | Pakninger blir utette/mister tetningsegenskaper; ekstern lekkasje                                                                                      | DNV GL OS-A201, kap. 2, seksjon 2, ISO 35105    | x | Materialspesifikasjoner og kvalifisering plassere i oppvarmet område                                                                                                                               | 1 |
| C1 | 6b  | Materialer | Plastiske materialer/polymere | Termisk ekspansjon/kontraksjon ved temperatur-variasjoner                                                                                     | Polymere har relativt stor termisk ekspansjo/kontraksjon - opptill 10 ganger større enn stål. Kan medføre glipper mellom segmenter/tetninger/pakninger | Arbeidsgruppen                                  | x | Materialkvalifisering                                                                                                                                                                              | 1 |
| C1 | 6c  | Materialer | Plastiske materialer/polymere | Heftegenskaper mellom metall og polymer (lim) kan endres ved lave temperaturer, og kan gi redusert vedheft.                                   | Utfordring ved reprasjoner og vedlikehold som krever heft i kaldt klima, samt at limte forbindelser kan løсне.                                         | Arbeidsgruppen                                  | x | Materialkvalifisering. Planlegging av reparasjon - bruk av habitat.                                                                                                                                | 1 |
| C1 | 6d  | Materialer | Plastiske materialer/polymere | Frysing av vann (eller andre fluider) som trenger inn i kompositter og polymere skum.                                                         | Kan gi sprekkdannelse og svekkelse av materialets funksjon (isolasjon, tetting etc.).                                                                  | Arbeidsgruppen                                  | x | Materialkvalifisering. Rett installasjon.                                                                                                                                                          | 1 |
| C1 | 6f  | Materialer | Plastiske materialer/polymere | Polymerts egenskaper endres over tid (aldring) - kan gi økt glassovergangstemperatur                                                          | Materialet mister sin plastiske effekt ved høyere temperatur, kan gi sprekkdannelse, lekkasjer                                                         | Arbeidsgruppen                                  | x | Materialkvalifisering                                                                                                                                                                              | 1 |
| C1 | 7   | Materialer | Ikke-ledende materialer       | Akkumulering av statisk elektrisitet på ikke-ledende materialer i kaldt/tørt klima.                                                           | Akkumulert av statisk elektrisitet kan opptre som tennkilde                                                                                            | Barents202/ISO 13702                            | x | Jording, materialvalg                                                                                                                                                                              | 1 |
| C1 | 8   | Materialer | Kabler                        | Sprøhet i kabelisolasjon, sprekker ved bevegelse                                                                                              | Sprekker i isolasjonsmateriale. Kortslutning. Brann. Elektrisk støt.                                                                                   | ISO 19906-3                                     | x | Kvalifisering og utvalgelse av materialer, ut fra krav til operasjons- og designntemperatur.                                                                                                       | 1 |
| C1 | 9   | Materialer | Bevegelige deler              | Ikke-statiske elementer (f.eks. drag chains for boretårn)                                                                                     | Sprekker i isolasjonsmateriale/slanger. Kortslutning. Brann. Elektrisk støt.                                                                           | DNV GL OS-A201, kap. 2, seksjon 2               | x | Kvalifisering og utvalgelse av materialer, ut fra krav til operasjons- og designntemperatur.                                                                                                       | 1 |
| C1 | 10  | Materialer | Vibrasjons-demping            | Redusert vibrasjonsdemping for roterende utstyr, forplantning av vibrasjon til annet utstyr                                                   | Utmatting av materialer, sprekker/brudd, lekkasjer                                                                                                     | DNV GL OS-A201, kap. 2, seksjon 2, ISO 35105    | x | Kvalifisering og utvalgelse av materialer, ut fra krav til operasjons- og designntemperatur.                                                                                                       | 1 |
| C4 | 11  | Fluidi     | Hydraulikkolje                | Økt viskositet ved lav temperatur; større strømningsmotstand i hydraulikkslanger                                                              | Økt responstid. Forsinket lukking/prosesregulering. Lengre tid før anlegg går til sikker tilstand eller at en lekkasje isoleres.                       | DNV GL OS-A201, kap. 2, seksjon 2               | x | - Velge rett smøreolje ift. temperatur<br>-Heat trace.<br>-Isolasjon av rør (blant annet for å kunne få en kontrollert oppstart etter black out før kritisk tid for cold soaking.<br>- sirkulering | 1 |
| C4 | 12  | Fluidi     | Hydraulikkolje                | Fleksible slanger - sprøhet.                                                                                                                  | Sprekkdannelse ved bevegelse. Lekkasje av hydraulikkolje.                                                                                              | DNV GL OS-A201, kap. 2, seksjon 2               | x | Kvalifisering og utvalgelse av materialer, ut fra krav til operasjons- og designntemperatur.                                                                                                       | 1 |
| C4 | 13  | Fluidi     | Hydraulikkolje                | Vann i hydraulikk-olje fryser                                                                                                                 | Tetting/blokkering. Økt responstid. Forsinket lukking/prosesregulering. Lengre tid for anlegg går til sikker tilstand eller at en lekkasje isoleres.   | DNV GL OS-A201, kap. 2, seksjon 2               | x | Kvalifisering og utvalgelse av materialer, ut fra krav til operasjons- og designntemperatur.<br><br>Prosedyrer for å unngå vann i hydraulikk.                                                      | 1 |
| C4 | 14  | Fluidi     | Smøreolje/smøremidler         | Økt viskositet                                                                                                                                | Noe redusert smøreevne og økt slitasje. Forlenget oppstartstid (forvarming av maskineri og smøremidler).                                               | DNV GL OS-A201, kap. 2, seksjon 2               | x | Velge rett smøremiddel ift. temperatur. Forvarming av smøremiddel Oppvarming av smøremiddel under drift                                                                                            | 1 |
| C4 | 14b | Fluidi     | Smøreolje/smøremidler         | Kondensering i utvendige smøreoljetanker. Fr                                                                                                  | Redusert smøreevne og økt slitasje.                                                                                                                    | Arbeidsgruppen                                  | x | Isolasjon. Varmetiltaksforl.                                                                                                                                                                       | 1 |
| C3 | 15  | Fluidi     | Run-down tanker               | Redusert tilførsel fra run-down tank sfa. økt viskositet (gravitasjons-tilførsling fra tank), særlig for kompressorer.                        | Redusert/for lite smøreolje. Varmgang under nedkjøring. Økt slitasje, nedetid/vedlikehold.                                                             | DNV GL OS-A201, kap. 2, seksjon 2               | x | Isolasjon/varmetiltaksforl. Sirkulering.                                                                                                                                                           | 1 |
| C2 | 16  | Fluidi     | Kjølevann                     | Eksponering av ekspansjonstanker for roterende utstyr; isdannelse hvis denne står ute. Ikke etterfylling av kjølevann. Overtrykke kjølekrets. |                                                                                                                                                        | AISO 19906                                      | x | Kjølevæske tilpasset ekspansjonstankens omgivelsestemperatur. Oppvarming/plassering innendørs                                                                                                      | 1 |
| C2 | 17  | Fluidi     | Steam (damp-system)           | Is i ferskvann-system                                                                                                                         | Tap av damp som vinteriseringstiltak. Nedstengning dersom vinterisering ikke kan gjennomføres ved behov.                                               | AISO 19906<br>DNV GL OS-A201, kap. 2, seksjon 2 | x | Vinterisering av ferskvann-system.                                                                                                                                                                 | 1 |
| C2 | 18  | Fluidi     | Steam (damp-system)           | Tap av damp-system sfa. driftssvikt                                                                                                           | Tap av damp som vinteriseringstiltak. Nedstengning dersom vinterisering ikke kan gjennomføres ved behov.                                               | ISO 19906                                       | x | Gen. tiltak for stabil drift                                                                                                                                                                       | 1 |

|    |     |                                                            |                                                                             |                                                                                                                                                                              |                                                                                                        |                                                                     |   |                                                                                                                                                         |   |
|----|-----|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| C2 | 19  | Fluidi i rør og slanger                                    | Sjøvannsinntak                                                              | Isdannelse i kjølesystem, sjøvannsinntak                                                                                                                                     | Trip/nedstengning av prosessen sfa. tap av kjølevann.                                                  | DNV GL OS-A201                                                      | x | Isolering. Varmetilførsel. Plassering i i oppvarmet rom. Frostvæske for lukket krets.                                                                   | 1 |
|    |     | Fluidi i rør og slanger                                    | Sjøvannssystem                                                              | Isdannelse i kjølesystem, piping, sjøvannsinntak                                                                                                                             | Trip/nedstengning av prosessen sfa. tap av kjølevann.                                                  | DNV GL OS-A201                                                      | x | Sirkulasjon<br>Oppvarming/routing<br>Drenering når ikke i bruk<br>Heat-tracing                                                                          | 1 |
| C2 | 20  | Fluidi i rør og slanger                                    | Sjøvann - utløp                                                             | Clogging av utløp for kjølevann                                                                                                                                              | Trip/nedstengning av prosessen sfa. tap av kjølevann.                                                  | DNV GL OS-A201                                                      | x | Som over.                                                                                                                                               | 1 |
| C2 | 21  | Fluidi i rør og slanger                                    | Prosessfluidi - væsker                                                      | Trykkstøt fra hydrat, "is-plugg" e.l. som løsner under oppkjøring etter cold soaking, eller fra kondensering av damp/gass som gir væskeakkumulering                          | Lekkasje sfa. trykkstøt/væskehammer.                                                                   | Arbeidsgruppe                                                       | x | Kontrollert oppkjøring/bruke tid.                                                                                                                       | 2 |
| C2 | 22  | Fluidi i rør og slanger                                    | Prosessfluidi - væsker                                                      | Trykkoppbygging sfa. "clogging" etter frysing                                                                                                                                | Overtrykking. Brudd. Lekkasje.                                                                         | DNV GL OS-A201                                                      | x | Heating. Prosessdesign.                                                                                                                                 | 1 |
| C2 | 23  | Fluidi i rør og slanger                                    | Prosessfluidi - væsker                                                      | Endret viskositet i prosessen. Redusert strømnig. Endret/økt trykk i anlegget.                                                                                               | Trykkoppbygging                                                                                        | DNV GL OS-A201                                                      | x | Isolering. Varmetilførsel. Plassering i i oppvarmet rom.                                                                                                | 1 |
| C2 | 24  | Ventiler                                                   | Prosessfluidi - væsker                                                      | Annen reguleringskarakteristikk i ventil sfa. fast stoff (frosset) som tetter åpning.                                                                                        | Prosessregulering og sikring fungerer ikke som forutsatt. Prosess går ikke til sikker tilstand.        | Arbeidsgruppen                                                      | x | Oppvarming                                                                                                                                              | 1 |
| C2 | 25  | Ventiler                                                   | Prosessfluidi - væsker                                                      | Ventil lukker ikke sfa. fast stoff i ventilåpning.                                                                                                                           | Prosessregulering og sikring fungerer ikke som forutsatt. Prosess går ikke til sikker tilstand.        | Arbeidsgruppen                                                      | x | Oppvarming                                                                                                                                              | 1 |
| C2 | 26  | Fluidi i rør og slanger                                    | Prosessfluidi - væsker                                                      | Is-/hydratdannelse, eller redusert flow sfa. høy viskositet,                                                                                                                 | Redusert/no flow, trykkoppbygging, PSV løfter, nedstengning.                                           | ISO 19906, 15.2.8.2                                                 | x | Heating. Prosess-design.                                                                                                                                | 2 |
| C2 | 27  | Piping                                                     | Korrosjon                                                                   | Korrosjon på piping sfa kondensering i isolasjon.                                                                                                                            | Sprekk, brudd, lekkasje                                                                                | A201, kap. 2, seksjon 2 (2.1.5), ISO 19906 15.2.8.2                 | x | Materialvalg. Inspeksjon                                                                                                                                | 2 |
| C8 | 28  | Piping                                                     | Korrosjon                                                                   | Piping med utvendig korrosjonsbeskyttelse (polymer) påført med heftemiddel; relativ større termisk kontraksjon for polymer enn stål, kan gi sprekker i korrosjonsbeskyttelse | Redusert effekt av korrosjonsbeskyttelse, svekkelse av pipingmaterial, sprekkdannelse, brudd, lekkasje | Arbeidsgruppen                                                      | x | Kvalifisering og utvelgelse av materialer, ut fra krav til operasjons- og designtemperatur. Inspeksjon                                                  | 1 |
| C1 | 28b | Fluidi i rør og slanger                                    | Dreneringslinjer for flowlines, pumper, hydrauliske enheter og annet utstyr | Fuktighet/væske fryser i tankutløp/drenering.                                                                                                                                | Ikke mulig å drenere før isplugg er fjernet. Forsinket nedkjøring.                                     | ISO 19906, 15.1.1.1                                                 | x | Selvdrenering/unnå akkumulering av væske. Isolering. Varmetilførsel. Plassering i i oppvarmet rom. Utstyr for å fjerne isplugg                          | 1 |
| C2 | 29  | Fluidi i rør og slanger                                    | Dreneringslinjer for flowlines, pumper, hydrauliske enheter og annet utstyr | Isplugg nedstrøms dreneringspunkt med lavere trykkklasse. Mulighet for overtrykking av dreneringslinje.                                                                      | Trykkoppbygging, overtrykking, lekkasje.                                                               | DNV GL OS-A201, ISO 19906                                           |   | Selvdrenering/unnå akkumulering av væske. Isolering. Varmetilførsel. Plassering i i oppvarmet rom. Utstyr for å fjerne isplugg                          | 1 |
| C2 | 29b | Piping                                                     | Korrosjon                                                                   | Korrosjon sfa. heat tracing og termisk isolasjoner                                                                                                                           | Sprekk, brudd, lekkasje                                                                                | A201, kap. 2, seksjon 2 (2.1.5)                                     | x | Materialvalg. Inspeksjon                                                                                                                                | 2 |
| C8 | 30  |                                                            |                                                                             |                                                                                                                                                                              |                                                                                                        |                                                                     |   |                                                                                                                                                         |   |
|    | 30b | BLANK                                                      |                                                                             |                                                                                                                                                                              |                                                                                                        |                                                                     |   |                                                                                                                                                         |   |
|    |     | Rørkoblinger/flenser                                       | Tetthet, pakninger                                                          | Se felt 5, 6                                                                                                                                                                 | Se felt 5, 6                                                                                           | DNV GL OS-A201, ISO 19906                                           | x | Kvalifisering og utvelgelse av materialer, ut fra krav til operasjons- og designtemperatur.                                                             | 1 |
| C1 | 31  | Rørkoblinger/flenser                                       | Tetthet - ekstern, utvidelse/sammentrekning i rørsystem                     | Se felt 2                                                                                                                                                                    | Se felt 2                                                                                              | DNV GL OS-A201, ISO 19906                                           | x | Kvalifisering og utvelgelse av materialer, ut fra krav til operasjons- og designtemperatur.                                                             | 1 |
| C1 | 32  | Rørkoblinger/flenser                                       | Boltede koblinger                                                           | Arbeid på bolter/pakninger i kaldt klima - se felt 3                                                                                                                         | Forlenget nedstengning/mer vedlikehold                                                                 | Arbeidsgruppe                                                       |   | Spesifikasjon og materialvalg ut fra aktuelle operasjons- og designtemperaturer.<br>'-Kunnsakp om planlegging og gjennomføring av arbeid i sterk kulde. | 1 |
| C1 | 32b | Rørkoblinger/flenser                                       | Generelt                                                                    | Væske i pakninger/rørkobling fryser og gir frostsprengning                                                                                                                   | Utett kobling, lekkasje.                                                                               | Erfaringsinnhenting                                                 | x | Lukket pakning, isolasjon, oppvarming                                                                                                                   | 1 |
| C1 | 32c | Instrumentering og sensorer (trykk, nivå, temperatur etc.) | Generelt sensorer/instrumenter                                              | Hydrat/isdannelse i impuls- og målelinjer                                                                                                                                    | Feil i målinger. Prosess-regulering ikke etter hensikt.                                                | ISO ISO 19906, DNV GL OS-A201, kap. 2, seksjon 2                    | x | Plassering i oppvarmet boks, ekstra tetning rundt sensorer                                                                                              | 1 |
| C2 | 33  | Instrumentering og sensorer (trykk, nivå, temperatur etc.) | Generelt sensorer/instrumenter                                              | Fastfrysing av trykk-transmittere                                                                                                                                            | Feil/manglende målinger. Prosess-regulering ikke etter hensikt.                                        | ISO 19906, DNV GL OS-A201, kap. 2, seksjon 2, erfaring fra industri | x | Plassering i oppvarmet boks, ekstra tetning rundt sensorer                                                                                              | 1 |
| C2 | 33  |                                                            |                                                                             |                                                                                                                                                                              |                                                                                                        |                                                                     |   |                                                                                                                                                         |   |

|    |     |                                                            |                                                     |                                                                                                                                                                                       |                                                                                      |                                   |   |                                                                                                                                                                                                                                               |   |
|----|-----|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| C8 | 34  | Instrumentering og sensorer (trykk, nivå, temperatur etc.) | Generelt sensorer/instrumenter                      | Sensorer/detektorer skades av vinteriseringstiltak                                                                                                                                    | Feil i målinger. Prosess-regulering ikke etter hensikt.                              | ISO 19906, 15.1.1.1               | x | Plassering i oppvarmet boks, ekstra tetning rundt sensorer                                                                                                                                                                                    | 1 |
| C7 | 35  | Instrumentering og sensorer (trykk, nivå, temperatur etc.) | Generelt sensorer/instrumenter                      | Snø- og isdannelse på sensorer, detektorer, transmittere                                                                                                                              | Feil i målinger. Prosess-regulering ikke etter hensikt.                              | DNV GL OS-A201, kap.2, seksjon 2  | x | Plassering i oppvarmet boks                                                                                                                                                                                                                   | 1 |
| C8 | 36  | Instrumentering og sensorer (trykk, nivå, temperatur etc.) | Generelt sensorer/instrumenter                      | Sensorer påvirker av varmetilførsel som vinteriseringstiltak (for mye varme tilføres)                                                                                                 | Feil i målinger, samt manglende målinger. Prosess-regulering ikke etter hensikt.     | ISO 19906, 15.2.6                 | x | Kjente tiltak, men konsekvent gjennomføring ikke gitt/kjent i hele bransjen.                                                                                                                                                                  | 2 |
|    | 37  | BLANK                                                      |                                                     |                                                                                                                                                                                       |                                                                                      |                                   |   |                                                                                                                                                                                                                                               |   |
| C7 | 38  | Instrumentering og sensorer (trykk, nivå, temperatur etc.) | Prøvetakingspunkter                                 | Frysing og blokkering av prøvetakingspunkter, frysing av analyseskap                                                                                                                  | Ingen/liten betydning for sikkerhet, påvirker regularitet av produksjon og kvalitet. | DNV GL OS-A201, kap. 2, seksjon 5 | x | Isolasjon. Varmetilførsel. Plassering i oppvarmet skap/boks. Velge større diameter på prøvetakingslinjer der det er hensiktsmessig.                                                                                                           | 1 |
| C1 | 39  | Logikk og styring                                          | LCD display                                         | LCD-display tregt/viser ikke i lav temperatur                                                                                                                                         | Dårligere kalibrering/verifisering av målte nivåer.                                  | DNV GL OS-A201, kap. 2, seksjon 5 | x | Definere temperaturkrav for komponenter. Plassering i oppvarmet boks.                                                                                                                                                                         | 1 |
| C7 | 40  | Logikk og styring                                          | Antenner                                            | Ising på antenner kan gi bortfall av intern kommunikasjon.                                                                                                                            | Redusert mulighet til å koordinere og utføre beredskapsoppgaver i felt.              | ISO 19906                         | x | Plassering/skjerming. Utstyr og adkomst for å fjerne ising.                                                                                                                                                                                   | 1 |
| C7 | 40b | Logikk og styring                                          | Antenner                                            | Ising på antenner kan gi bortfall av fjernstyring av ventiler etc.                                                                                                                    | Redusert/manglende prosessregulering/sikring                                         | DNV GL OS-A201, ISO 19906         |   | Plassering/skjerming. Utstyr og adkomst for å fjerne ising.                                                                                                                                                                                   | 1 |
| C2 | 41  | Logikk og styring                                          | Hardware                                            | Kondensering i lav temperatur/på kalde overflater, kan gi fuktighet og kortslutning.                                                                                                  | Feil/ikke fungerende styring                                                         | DNV GL OS-A201                    | x | Isolering mot kalde overflater. Plasseres i varme rom/kontrollert atmosfære                                                                                                                                                                   | 1 |
| C2 | 42  | Logikk og styring                                          | Lokale logikkenheter (turbinkontroller, HIPPS etc.) | Kondensering i lav temperatur/på kalde overflater, kan gi fuktighet og kortslutning.                                                                                                  | Feil/ikke fungerende styring                                                         | DNV GL OS-A201                    | x | Isolering mot kalde overflater. Plasseres i varme rom/kontrollert atmosfære                                                                                                                                                                   | 1 |
|    |     | Sikkerhetssystemer                                         | Nødvstengning (system 79)                           | HIPPS - redusert responstid sfa. forsinket reguleringsventil (hydraulikk, luft etc.).                                                                                                 | Marginal forlenget responstid kan gi kritisk effekt (sekunder).                      | Arbeidsgruppe                     | x | - Isolasjon og varmetilførsel.<br>-Plan for ettersyn og testing av kritiske ventiler før og under kuldeperioder.<br>- Velge rett hydraulikkolje, samt sikre mot kritisk økning av viskositet med sirkulasjon, isolasjon eller varmetilførsel. | 2 |
| C2 | 42b | Logikk og styring                                          | Koblingsskap, fordelingspaneler, etc.               | Kondensering i lav temperatur/på kalde overflater, kan gi fuktighet og kortslutning.                                                                                                  | Feil/ikke fungerende styring                                                         | ISO 19906, 15..2.4                | x | Isolasjon. Varmetilførsel. Plassering i oppvarmet skap/boks.                                                                                                                                                                                  | 1 |
| C2 | 43  | Logikk og styring                                          | Koblingsskap, fordelingspaneler, etc.               | Akkumulering av statisk elektrisitet på elektronisk utstyr/logikk i kaldt/tørt klima                                                                                                  | Feil/ikke fungerende styring                                                         | Arbeidsgruppe/artikkel            | x | Jording, materialvalg                                                                                                                                                                                                                         | 1 |
| C1 | 44  | Logikk og styring                                          | Trykk-knapper og brytere                            | Smøremiddel/fett fryser eller høy friksjon i kald klima. Bryter kan ikke opereres.                                                                                                    | Ikke utført aksjon/sent utført aksjon for bryter, f.eks. manuell alarm eller ESD.    | Arbeidsgruppe/artikkel            | x | Kjent prosedyre for kravspesifisering av smøremidler, finnes tilgjengelig for lave temperaturer. Plassering av sikkerhetskritiske brytere.                                                                                                    | 1 |
| C1 | 45  | Aktuatorer                                                 | Instrumentluft                                      | Se felt 106; redusert/ikke avlufting av instrument luft; Pakninger, se felt 5,6                                                                                                       | Se felt 106                                                                          | DNV GL OS-A201, ISO 19906         | x | Isolasjon. Varmetilførsel. Plassering i oppvarmet skap/boks. Velge større diameter på linjer der det er hensiktsmessig.                                                                                                                       | 2 |
| C5 | 46  | Aktuatorer                                                 | Hydraulikkolje                                      | Se egne felt 11, 12, 13; hydraulikk-lekkasje, redusert responstid pga. økt viskositet; Pakninger; se felt 5, 6                                                                        | Treg respons prosessikrings-ventil.                                                  | DNV GL OS-A201, ISO 19906         | x | Velge rett hydraulikkolje, samt sikre mot kritisk økning av viskositet med sirkulasjon, isolasjon eller varmetilførsel.                                                                                                                       | 1 |
| C4 | 47  | Aktuatorer                                                 | Tetthet ekstern                                     | Ekstern lekkasje av hydraulikk pga. utett pakning kan medføre at ventiler ikke lukker på signal.                                                                                      | Treg/manglende respons. Ved lekkasje går ventil til sikker tilstand.                 | Arbeidsgruppen                    | x | Spesifisering og materialvalg etter aktuelle operasjons- og designtemperaturer.                                                                                                                                                               | 1 |
| C1 | 48  | Aktuatorer                                                 | Elektrisk aktuator                                  | Kan blir marginalt tregere respons sfa. redusert smøring. Fastfrysing. Problemstilling er mer aktuelt for el-aktuatorene siden de er mindre i bevegelse en el-motorer for pumper etc. | Treg respons prosessikrings-ventil.                                                  | DNV GL OS-A201, kap. 2, seksjon 2 | x | Smøring/grease iht. temperatur                                                                                                                                                                                                                | 1 |
| C4 | 49  | Aktuatorer                                                 | Utløserfjær                                         | Sprøbrudd i utløserfjær pga. lav temperatur                                                                                                                                           | Ventil stenger ikke                                                                  | Arbeidsgruppen                    | x | Spesifisering og materialvalg etter aktuelle operasjons- og designtemperaturer.                                                                                                                                                               | 1 |
| C1 | 49b | Ventiler                                                   | Tetthet - intern                                    | Redusert duktilitet, se felt 5, 6                                                                                                                                                     | Intern eller ekstern lekkasje                                                        | DNV GL OS-A201, kap. 2, seksjon 5 | x | Spesifisering og materialvalg etter aktuelle operasjons- og designtemperaturer.                                                                                                                                                               | 1 |
| C1 | 50  |                                                            |                                                     |                                                                                                                                                                                       |                                                                                      |                                   |   |                                                                                                                                                                                                                                               |   |

|    |     |          |                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                      |                                   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                               |   |
|----|-----|----------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| C1 | 51  | Ventiler | Tetthet - ekstern                                     | Redusert duktilitet i pakninger, pakning rundt aksling ventilhus etc., Se felt 5, 6                                                                                                                                                                                      | Intern eller ekstern lekkasje                                                                                                        | DNV GL OS-A201, kap. 2, seksjon 5 | x |   | Spesifisering og materialvalg etter aktuelle operasjons- og designtemperaturer.                                                                                                                                                               | 1 |
|    |     | Ventiler | Responstid                                            | Hydraulisk aktuator; se felt 47                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                      | Arbeidsgruppen                    | x |   | - Isolasjon og varmetilførsel.<br>-Plan for ettersyn og testing av kritiske ventiler før og under kuldeperioder.<br>- Velge rett hydraulikkolje, samt sikre mot kritisk økning av viskositet med sirkulasjon, isolasjon eller varmetilførsel. | 1 |
| C4 | 52  | Ventiler | Instrumentluft                                        | Luftstyrt aktuator; se felt 46                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                      | DNV GL OS-A201, ISO 19906         | x |   | Isolasjon. Varmetilførsel. Plassering i oppvarmet skap/boks. Velge større diameter på linjer der det er hensiktsmessig. Duggpunktskontroll for lave temperaturer.                                                                             | 2 |
| C5 | 53  | Ventiler | Hydraulikkolje                                        | Se felt 12, 13                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                      | DNV GL OS-A201, ISO 19906         | x |   | - Isolasjon og varmetilførsel.<br>-Plan for ettersyn og testing av kritiske ventiler før og under kuldeperioder.<br>- Velge rett hydraulikkolje, samt sikre mot kritisk økning av viskositet med sirkulasjon, isolasjon eller varmetilførsel. | 2 |
| C4 | 54  | Ventiler | Mekanisk motstand sfa. termisk ekspansjon/kontraksjon | Se felt 4, 4b                                                                                                                                                                                                                                                            | Økt responstid. Forsinket lukking/prosesserregulering. Lengre tid for anlegg .går til sikker tilstand eller at en lekkasje isoleres. | DNV GL OS-A201, ISO 19906         | x | x | Spesifisering og materialvalg etter aktuelle operasjons- og designtemperaturer.                                                                                                                                                               | 2 |
| C1 | 56  | Ventiler | Solenoider-ventiler/små ventiler                      | Mer utsatt for kulde-effekter knyttet til blokkering av avlufting (for aktiviering) pga. små dimensjoner                                                                                                                                                                 | Ikke/feil/forsinket respons for regulering av ventil. Se "Trykkluft/komprimert luft"                                                 | DNV GL OS-A201, ISO 19906         | x |   | Isolasjon. Varmetilførsel. Plassering i oppvarmet skap/boks. Velge større diameter på linjer der det er hensiktsmessig. Duggpunktskontroll for lave temperaturer.                                                                             | 1 |
| C5 | 56b | Ventiler | Solenoider-ventiler                                   | Sprøbrudd i utløserfjær pga. lav temperatur                                                                                                                                                                                                                              | Ventil stenger ikke                                                                                                                  | Arbeidsgruppen                    | x |   | Spesifisering og materialvalg etter aktuelle operasjons- og designtemperaturer.                                                                                                                                                               | 2 |
| C1 | 57  | Ventiler | PSVer                                                 | Lav temperatur i tail-pipe etter PSV, kald del av prosessen.                                                                                                                                                                                                             | (Temperatur etter PSV går under design temperatur, utfelling av is/hydrat i tial pipe). Trolig mer relevant for trykkavlastning.     | DNV GL OS-A201, ISO 19906         | x |   | Isolasjon. Varmetilførsel. Lavtemperaturovervåkning i PSV-linje                                                                                                                                                                               | 2 |
| C2 |     | Ventiler | PSVer                                                 | Frysing av PSV eller i utløpslinje sfa. lav omgivelsestemperatur.                                                                                                                                                                                                        | Høyt trykk avlastes ikke. Sprekk, brudd, lekkasje.                                                                                   | DNV GL OS-A201, AISO 19906        | x |   | Standard vinterisering av PSV                                                                                                                                                                                                                 | 1 |
| C1 | 58  | Ventiler | PSVer                                                 | Redusert strømming over PSV dersom temperaturfall over PSV gir kondensering sfa. lav ytterttemperatur og frysing i PSV.<br><br>(temperaturfall over PSV er fast - styrt av prosessbetingelser - videre temperaturfall sfa lav omgivelsestemp kan gi kondensering/frysing | PSV gir ikke avlastning iht. spesifikasjon. Overtrykking av system, brudd, lekkasje                                                  | 19906 15.2.8.2.1                  | x |   | PSV design etter temperaturvariasjoner.                                                                                                                                                                                                       | 2 |
| C1 | 59  | Ventiler | Blow down ventiler                                    | Tilsvarende som for PSVer, se felt 57, 58, 59                                                                                                                                                                                                                            | -                                                                                                                                    | -                                 | x |   | Se felt 57, 58 og 59.                                                                                                                                                                                                                         | 2 |
| C1 | 60  | Ventiler | Regulerings- og trykkreduksjonsventiler               | Dekket av 59                                                                                                                                                                                                                                                             | Ikke/reduisert regulering etter intensjon. Ventil lukker ikke.                                                                       | ISO 19906                         | x |   | Standard vinterisering. Oppvarming.                                                                                                                                                                                                           | 1 |
| C1 | 61b | Ventiler | Bevegelige deler - utvendig                           | Isdannelse på utvendige bevegelige deler forhindrer ventilrespons                                                                                                                                                                                                        | Ikke/reduisert regulering etter intensjon. Ventil lukker ikke.                                                                       | DNV GL OS-A201, ISO 19906         | x |   | Skjerming/plassering. Varmetilførsel.                                                                                                                                                                                                         | 1 |
| C7 | 62  | Pumper   | Sentrifugal, stempel, skruer - akseltetninger         | Lekkasje i pakninger. Se felt, 5, 6                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                      | DNV GL OS-A201, ISO 19906         | x |   | Plassering i oppvarmet område                                                                                                                                                                                                                 | 1 |
| C1 | 63  | Pumper   | Elektrisk drevet pumpe                                | Tetting av inntak for kjøleluft (ising, snø).                                                                                                                                                                                                                            | Trip av motor/trip av maskineri.                                                                                                     | DNV GL OS-A201, ISO 19906         | x |   | Skjerme luftinntak                                                                                                                                                                                                                            | 1 |
| C7 | 64  | Pumper   | El-motor til pumper til hydraulikk-aggregater         | El-motor står ofte eksponert ute, kan gi tetting av inntak fra ising eller snø.                                                                                                                                                                                          | Trip av motor for utvendig plassert utstyr, f.eks kranmotor, hydraulikk til subsea-utstyr                                            | DNV GL OS-A201, ISO 19906         | x |   | Skjerme luftinntak                                                                                                                                                                                                                            | 1 |



|    |     |                     |                                                    |                                                                                                 |                                                                                              |                                     |   |                                                                                                                                                                   |   |
|----|-----|---------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| C2 | 65  | Pumper              | El-motor ved nedstengning                          | Kondensering på kalde overlater etter nedkjøling av varm el-motor, kortslutning.                | Trip av motor. Driftssvikt. Vedlikehold.                                                     | ISO 19906, 15.2.4                   | x | Plassering i oppvarmet område eller med lokal oppvarming/isolering.                                                                                               | 1 |
|    | 65b | Pumper              | Driftstemperatur                                   | Pumpe når ikke driftstemperatur pga. Vindkjøling                                                | Ikke optimale prosessbetingelser, økt slitasje.                                              | Arbeidsgruppe                       | x | Plassering i oppvarmet område eller lokal oppvarming/isolering.                                                                                                   | 1 |
|    |     | Pumper              | Væske-tetning                                      | Væske-tetning av vann fryser                                                                    | Uttett system, lekkasje, økt slitasje                                                        | Arbeidsgruppe                       | x | Isolasjon. Varmetilførsel. Plassering i oppvarmet skap/boks. Frosvæske i lukket krets.                                                                            | 1 |
| C2 | 65c | Pumper              | Dreneringspunkt                                    | Dreneringspunkt fryser.                                                                         | Pumpe kan ikke dreneres.                                                                     | Arbeidsgruppe                       | x | Plassering av dreneringspunkt.                                                                                                                                    | 1 |
|    |     | Kompressor          | Pakninger, vibrasjonsdemping, smøring.             | Se felt 5, 6, 10, 14                                                                            |                                                                                              | DNV GL OS-A201, ISO 19906           | x | Plassering i oppvarmet område. Materialvalg.                                                                                                                      | 1 |
| C1 | 66  | Kompressor          | Tetnings-system (gass)                             | Ising i tetningsgass-utløp; for høyt mottrykk i lokal vent for tetningsgass                     | Økt slitasje på bevegelig utsyr (avstander/bevegelighet, økt friksjon)                       | Arbeidsgruppen                      | x | Isolasjon. Varmetilførsel. Plassering i oppvarmet skap/boks. Velge større diameter på linjer der det er hensiktsmessig. Duggpunktskontroll for lave temperaturer. | 1 |
| C5 | 67  | Kompressor          | Tetnings-system væske                              | Oppstartsproblemer ved lav temp/høy viskositet.                                                 | Økt slitasje på bevegelig utsyr (avstander/bevegelighet, redusert smøring etc.)              | DNV GL OS-A201, ISO 19906           | x | Manual for kald-start. Utstyr for lokal oppvarming.                                                                                                               | 1 |
| C1 | 68  | Gassturbiner        | Pakninger, vibrasjonsdemping, smøring.             | Se felt 5, 6, 10, 14                                                                            |                                                                                              | DNV GL OS-A201, ISO 19906           | x | Plassering i oppvarmet område. Materialvalg.                                                                                                                      | 1 |
| C1 | 69  | BLANK               |                                                    |                                                                                                 |                                                                                              |                                     |   |                                                                                                                                                                   |   |
|    | 70  | Varmevekslere       | Varmeveksler med luft eller vann for kondensering. | Isdannelse i varmeveksler pga lav yttertemperatur                                               | Clogging/now flow, trykkoppbygging, PSV løfter, nedstengning.                                | ISO 19906, 15.1.1.1                 | x | Isolasjon. Varmetilførsel. Plassering i oppvarmet rom.                                                                                                            | 1 |
| C2 | 71  | Forbrenningsmotorer | Forbrenningsluft                                   | Ising i luftinntak. Redusere luft-tilgangen.                                                    | Trip av motor/trip av maskineri (turbin, dieselmotorer, pumper etc.)                         | DNV GL OS-A201, ISO 19906           | x | Plassering/skjerming av luftinntak.                                                                                                                               | 1 |
|    | 72  | Scrubber            | Drain                                              | Fuktighet/væske fryser i tankutløp/drenering.                                                   | Ikke mulig å drenere tank/separator før isplugg er fjernet. Forsinket nedkjøring.            | DNV GL OS-A201, ISO 19906, 15.1.1.1 | x | Selvdrenering/unngå akkumulering av væske. Isolering. Varmetilførsel. Plassering i oppvarmet rom. Utstyr for å fjerne isplugg                                     | 1 |
| C2 | 73  | Scrubber            | Dehydrering                                        | Hydratdannelse som følge av lav temperatur                                                      | Clogging/now flow, trykkoppbygging, PSV løfter, nedstengning.                                | ISO ISO 19906, 15.2.7.3             | x | Prosessdesign tar hensyn til temperaturvariasjon, margin mot yttertemperatur.                                                                                     | 1 |
| C3 | 74  | Separatorer         | Drain                                              | Fuktighet/væske fryser i tankutløp/drenering.                                                   | Ikke mulig å drenere tank/separator før isplugg er fjernet. Forsinket nedkjøring.            | ISO 19906, 15.1.1.1                 | x | Design; unngå væskelommer, lavpunkt, sikre selvdrenering                                                                                                          | 1 |
| C3 | 75  | Separatorer         | Tank vents                                         | Clogging/ising av vent, særlig for flame arrestors, kan gi overtrykk eller undertrykk i tanker. | Separatorer som regel designet for betydelig trykkvariasjoner.                               | Arbeidsgruppe                       | x | Plassering/skjerming. Inspeksjon                                                                                                                                  | 1 |
|    | 76  | Separatorer         | Knock-out drums                                    | Frysing av væske akkumulert i kald knock-out drum                                               | Tetting av væskeutløp, tank overfylles, væske i gass-system/fakkelsystem. Trip, driftsavvik, | ISO 19906, 15.1.1.1                 | x | Selvdrenering/unngå akkumulering av væske. Isolering. Varmetilførsel. Plassering i oppvarmet rom. Utstyr for å fjerne isplugg                                     | 2 |
| C3 | 77  | Separatorer         | Væskeutløp                                         | Frysing i væskeutløp eller separator sfa. ekspansjon av ustabile HC-væske over ventil/utløp.    | Tetting av væskeutløp, tank overfylles, væske i gass-system. Trip, driftsavvik.              | ISO 19906, 15.2.7                   | x | Prosessdesign. PSV.                                                                                                                                               | 1 |
| C3 | 78  | Lagertanker         | Varmetap fra tank                                  | Lav temperatur kan gi økt viskositet på kjemikalier, clogging                                   | Ikke tilgang /påfylling av produksjonskjemikalier. Produksjons-stans.                        | DNV GL OS-A201, kap. 2, seksjon 2   | x | Isolasjon. Varmetilførsel. Plassering i oppvarmet skap/boks. Velge større diameter på linjer der det er hensiktsmessig.                                           | 1 |
| C3 | 79  | Lagertanker         | Tank vents                                         | Clogging av vent, særlig for flame arrestors, kan gi overtrykk eller undertrykk i tanker.       | Designet for små over-/undertrykk. Kan gi lekkasjer/brudd på tanker dersom dette overskride. | Arbeidsgruppe                       | x | Plassering/skjerming. Inspeksjon                                                                                                                                  | 1 |
| C3 | 80  | Transport-tank      | Varmetap fra tank                                  | Økt viskositet/frysing under transport. Ikke tilgang til kjemikalier.                           | Ikke tilgang /påfylling av produksjonskjemikalier. Produksjons-stans.                        | DNV GL OS-A201, kap. 2, seksjon 2   | x | Temperatur- og transport-spec for produksjonskjemikalier                                                                                                          | 1 |
| C3 | 81  |                     |                                                    |                                                                                                 |                                                                                              |                                     |   |                                                                                                                                                                   |   |

|                |     |                    |                            |                                                                                                                              |                                                                                                       |                          |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |   |
|----------------|-----|--------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
|                |     | Sikkerhetssystemer | Innelukking                | Se egne felt for Materialer, Fluider i rør og slanger, Piping, Ventiler, Pumper, PSV,                                        | Ekstern lekkasje som følge av brudd på Innelukking                                                    | -                        | x | - Kvalifisering og utvelgelse av materialer, ut fra krav til operasjons- og designtemperatur.<br>- Oversikt over hvordan de forskjellige materialenes egenskaper spiller sammen over et bredt temperaturområde som spenner fra «normal» operasjonstemperaturer for prosessanlegg til lave ekstretemperaturer.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 2 |
| C1,C2, C4, C5  | 82  | Sikkerhetssystemer | Gass-deteksjon             | Rim, ising, snø fører til obstruksjon av detektorer                                                                          | Gass-detektor fungerer ikke etter hensikt; falsk deteksjon, ikke deteksjon;                           | Arbeidsgruppe            | x | Oppvarming. Innelukking. Inspeksjon                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 1 |
| C7             | 83  | Sikkerhetssystemer | Ventilasjon                | Ventilasjon av innelukkede prosessområder redusert ventilasjon sfa. snø/s/sludd som tetter åpninger i paneler                | Redusert utlufting/økt akkumulering av gass ved lekkasjer, økt eksplosjonstrykk ved antennelse        | ISO 19906                | x | Designprosess.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 1 |
| C8             | 84  | Sikkerhetssystemer | Ventilasjon                | Aktiv ventilasjon; clogging av luftinntak som følge av snø, ising                                                            | Redusert utlufting/økt akkumulering av gass ved lekkasjer, økt eksplosjonstrykk ved antennelse        | DNV GL OS-A201           | x | Plassering/skjerming. Inspeksjon                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 1 |
| C7             | 85  | Sikkerhetssystemer | Ventilasjon                | Kondensering og Isdannelse i HVAC utløp                                                                                      | Stans i aktiv ventilasjon. Redusert luftveksling                                                      | Arbeidsgruppe            | x | Varmetilførsel. Inspeksjon. Duggpunktkontroll                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 1 |
| C6             | 86  | Sikkerhetssystemer | Ventilasjon                | Luftinntak kan ikke stenges pga. ising/ujevn flate langs spjeld                                                              | Hvis sammenfallende med gasslekkasje; gass trekkes inn i områder som ikke er EX; fare for antennelse. | Arbeidsgruppe            | x | Inspeksjon og fjerning. Varmetilførsel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1 |
| C7             | 87  | Sikkerhetssystemer | Nødavstengning (system 79) | Raskere nedkjøling etter nedstengning av prosessen                                                                           | Cold soaking. Driftsstans av lang varighet.                                                           | Arbeidsgruppe            | x | Plan for nødvendige aksjoner ved uplanlagt nedstenging. Isolasjon, heat tracing, sirkulasjon, ekstra varme.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 1 |
| C2, C3         | 88  | Sikkerhetssystemer | Nødavstengning (system 79) | Generell kulde-effekt på sammensatt system. Se felt på Instrumentering og sensorer, Logikk og styring, Ventiler, Materialer, | Manglende prosess-sikring, prosess går ikke til sikker tilstand ved prosessavik.                      | Arbeidsgruppe            | x | -Valg av trykktransmittere som er mindre Frostsikring og tilstandsovervåkning av trykktransmittere.<br>- Plassering av komponenter (logikk, sensorer) som er sårbare for lave temperaturer i lukket og evt. oppvarmet boks eller med ekstra varme.<br>- Velge rett hydraulikkolje, samt sikre mot kritisk økning av viskositet med sirkulasjon, isolasjon eller varmetilførsel. Unngå kondensering og ising i trykkluft for avluftning av aktuatorer med isolasjon og eventuelt varmtilførsel, for å sikre mot treg eller manglende reguleringsrespons.<br>- Velge rett smøremiddel, som sikrer mot treg respons i lav temperatur.<br>'- Materialvalg i ventiler og pakninger for lave temperaturer, for å sikre nødvendig bevegelse og tetning i lave temperaturer og uten kritiske forskjeller i termiske utvidelse/sammentrekning. | 2 |
| C1, C2, C4, C5 | 89  | Sikkerhetssystemer | Flare and vent (system 43) | Raskere nedkjøling av prosess-segmenter til under kritisk temperatur for start av trykkavlastning.                           | Temperatur ved trykkavlastning går under design temperatur. Sprekkdannelse, brudd, lekkasje.          | Arbeidsgruppe            | x | Kunnskap om operasjonelle grenser, lavtemperatur-indikator i BD-linjer                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 2 |
| C1             | 90  | Sikkerhetssystemer | Flare and vent (system 43) | Isdannelse i fakkelsystem sfa. kondensering eller væskeakkumulering                                                          | Trykkoppbygging, overtrykking, lekkasje.                                                              | Arbeidsgruppe, API RP521 | x | Design iht. API RP521 samt forsterke dette med HAZOP-studier som fokuserer på kulde-effekter, flushing med tørr gass.<br>Kan redusere sårbarhet i fakkelsystemet ved å ha flere headere for å skille tørre, våte og kalde kilder                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 2 |
| C2             | 90b |                    |                            |                                                                                                                              |                                                                                                       |                          |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |   |

|        |     |                    |                            |                                                                                                                                                                                    |                                                                                             |                                   |   |                                                                                                                                                                                                  |   |
|--------|-----|--------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
|        |     | Sikkerhetssystemer | Tennkildekontroll          | Se felt på "Logikk og styring" og "Instrumentering og sensorer"                                                                                                                    | Tennkilder stenges ikke ned etter hensikt                                                   | Arbeidsgruppe                     | x | Plassering av komponenter (logikk, sensorer) som er sårbare for lave temperaturer i lukket og evt. oppvarmet boks eller med ekstra varme.                                                        | 1 |
| C1, C2 | 91  | Sikkerhetssystemer | Flare and vent (system 43) | Trykkavlastningsventil har redusert kapasitet eller fryser/blokkeres sfa. kondensering og frysing, ref.                                                                            | Manglende eller redusert trykkavlastning.                                                   | API RP 521,                       | x | Varmetilførsel/heat-tracing                                                                                                                                                                      | 2 |
| C1     | 90c | Sikkerhetssystemer | Aktiv brannbekjempelse     | Brannpumpedriver. Nedising av luftinntak / ant isingsfunksjon skal være selfcontianed/ passiv                                                                                      | Redusert / ingen ytelse                                                                     | DNV GL OS-A201, Seksjon 5         | x | Plassering / skjerming av luftinntak                                                                                                                                                             | 1 |
| C7     | 92  | Sikkerhetssystemer | Aktiv brannbekjempelse     | Isdannelse i brannvann-system, særlig i rørdelene med minst dimensjon.                                                                                                             | Tap av brannvann i deler av systemet som følge av tette rør.                                | A19906                            | x | - Tørre og selvdrenerende systemer for å unngå akkumulering og frysing.<br>-Plassering av utstyr i oppvarmede skap eller rom.                                                                    | 2 |
| C2     | 93  | Sikkerhetssystemer | Aktiv brannbekjempelse     | Ekspansjonstank for brannvann hovedring. Ising i ekspansjonstank for kjølevann; tar ikke opp væskeslag, som dermed kan skade manometer i brannvannsystemet                         | Vedlikehold og nedetid for brannvann                                                        | Arbeidsgruppe                     | x | Innelukking/oppvarming.                                                                                                                                                                          | 1 |
| C3     | 94  | Sikkerhetssystemer | Aktiv brannbekjempelse     | AFFF. Lav temperatur. For høy viskositet/faseomdanning av AFFF før innblanding med sjøvann. Nedkjøling i tilførsels/mikse-linje.                                                   | Redusert slukke-evne som følge av at AFFF ikke blandes inn.                                 | A201, kap 3, seksjon 1            | x | Oppvarming av lagertanker og tilførselslinje for AFFF/slukke-skum. Valg av slukkeskum med rett temperaturspesifikasjon.                                                                          | 2 |
| C1     | 95  | Sikkerhetssystemer | Aktiv brannbekjempelse     | Deluge-ventiler. Fare for isdannelse ved introduksjon av sjøvann i et kaldt og tomt rørsystem, som blir revet løs og transporteres til ut til trangere deler i røret og blokkerer. | Tap av brannvann i deler av systemet, i en periode før is smelter.                          | A201, kap. 2, seksjon 2           | x | Prosedyrer og utstyr (damp, trykkluft etc.) for å sikre funksjonalitet av brannvannsystemet dersom ising oppstår etter at det har vært utløst eller at vann feilaktig har kommet inn i systemet. | 2 |
| C2     | 96  | Sikkerhetssystemer | Aktiv brannbekjempelse     | Lekkasje i brannvannsystem gir vann i rørsystem som fryser i rør eller i sprinkelhodet.                                                                                            | Ingen eller redusert strømning, evt. øker nødvendig trykk for å gi tilstrekkelig spredning. | DNV GL OS-A201, kap. 3, seksjon 1 | x | - Oppvarming/innelukking<br>-Tørre rør.<br>-Sprinkler monterert oppover for å forhindre is-dannelse ved lekkasje.<br>- Dreneringspunkter/hull                                                    | 1 |
| C2     | 97  | Sikkerhetssystemer | Aktiv brannbekjempelse     | Generell vinterisering av brannsluknings-utstyr (hydrantskap, slanger etc.), samt egnet for håndtering med bekledning for lav temperatur                                           | Ikke/forsinket tilgang til manuelt slukkeutstyr                                             | DNV GL OS-A201, kap. 3, seksjon 1 | x | Oppvarmede skap. Heat-tracing                                                                                                                                                                    | 1 |
| C1, C2 | 98  | Sikkerhetssystemer | Aktiv brannbekjempelse     | Frysing eller redusert effekt av drivgass i brannslukningsapparater                                                                                                                | Redusert brannslukningskapasitet fra manuelle systemer                                      | DNV GL OS-A201, kap. 3, seksjon 1 | x | Oppvarmede skap. Heat-tracing                                                                                                                                                                    | 1 |
| C1     | 99  | Sikkerhetssystemer | Aktiv brannbekjempelse     | Mister varme til lukkede rom....kan gi redusert effekt av slukkesystemer.                                                                                                          | Redusert brannslukningskapasitet for system i lukkede rom                                   | DNV GL OS-A201, kap. 3, seksjon 1 | x | Mobile varme-aggregat                                                                                                                                                                            | 1 |
| C2     | 100 |                    |                            |                                                                                                                                                                                    |                                                                                             |                                   |   |                                                                                                                                                                                                  |   |

|                |     |                    |                                                                                                |                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                           |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |   |
|----------------|-----|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
|                |     | Sikkerhetssystemer | Prosessikring/prosess-nedstengning                                                             | Se felt på Instrumentering og sensorer, Logikk og styring, Ventiler, Materialer,                                                 | Manglende prosess-sikring, prosess går ikke - til sikker tilstand ved prosessavik.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                           | x | -Valg av trykktransmittere som er mindre Frostsikring og tilstandsovervåkning av trykktransmittere.<br>- Plassering av komponenter (logikk, sensorer) som er sårbare for lave temperaturer i lukket og evt. oppvarmet boks eller med ekstra varme.<br>- Velge rett hydraulikkolje, samt sikre mot kritisk økning av viskositet med sirkulasjon, isolasjon eller varmetilførsel. Unngå kondensering og ising i trykkluft for avlufting av aktuatorer med isolasjon og eventuelt varmtilførsel, for å sikre mot treg eller manglende reguleringsrespons.<br>- Velge rett smøremiddel, som sikrer mot treg respons i lav temperatur.<br>'- Materialvalg i ventiler og pakninger for lave temperaturer, for å sikre nødvendig bevegelse og tetning i lave temperaturer og uten kritiske forskjeller i termiske utvidelse/sammentrekning. | 2 |
| C1, C2, C4, C5 | 101 | Sikkerhetssystemer | Open drain (system 56)                                                                         | Se felt på Fluidier i rør og slanger, Piping, Støttesystemer - Sjøvann, Støttesystemer - Kjølevann                               | Frysing åpen drenering og tetting av avløp, farlig/brennbar væske dreneres ikke bort, evt. overløp av vann/væske.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | DNV GL OS-A201            | x | -Benytte større rørdiameter der det reduserer faren for blokkering som følge av frysing.<br>- Isolering og varmekabler                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 2 |
| C1, C2         | 102 | Sikkerhetssystemer | Closed drain (system 57)                                                                       | Se felt på Fluidier i rør og slanger, Piping, Støttesystemer - Sjøvann, Støttesystemer - Kjølevann                               | Frysing i lukket drenering, tetting av væskeutløp fra knock-out drums, headeroverfylling av av væske til drain tanker/knock-out drum. Trykkoppbygging. Væskeoverføring til gass-system.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | DNV GL OS-A201, Seksjon 5 | x | - Benytte større rørdiameter der det reduserer faren for blokkering som følge av frysing.<br>- Isolering og varmekabler der det kan benyttes.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 1 |
| C1, C2         | 103 | Generelt           | Redundante komponenter, utstyr som står i stand by, er tatt ut av drift eller i fast posisjon. | Utsyr i stand by/fast posisjon påvirkes av lav temp - økt oppkjøringstid, "sticking", treg respons, ikke tilgjengelig ved behov. | Pumper, bevegelig utstyr ikke tilgjengelig ved behov. Individuel betydning avg. av utstyr, kan gi driftstans og nedstengning                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | DNV GL OS-A201, Seksjon 5 | x | Autodren, varmeisolering, varmetilførsel.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1 |
| C10            | 104 |                    |                                                                                                |                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                           |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |   |
|                | 105 | BLANK              |                                                                                                |                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                           |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |   |
|                |     | Støttesystemer     | Trykkluft/komprimert luft                                                                      | Kondensering og isdannelse. Tetting av lufttilførsel. Mister instrumentluft.                                                     | Tetting. Økt responstid. Forsinket lukking/prosesserulering. Lengre tid for anlegg går til sikker tilstand eller før en lekkasje isoleres. Utisiktet nedstengning sfa. tap av luft til ESD/PSD-ventiler. Ved suksessive åpninger/lukkinger kan is akkumuleres.<br><br>Nedstengning/ESD/PSD gjøres ikke fordi luft ikke avlastes nedstrøms isplugg. Aktuator aktiveres ikke.<br><br>Isdannelse pga. trykkfall i avlastningsventil for solenoideventiler for styring av luft til aktuator for PSD/ESD. ESD/PSD åpner ikke. | A201, kap. 2, seksjon 2   | x | -Tørrking av luft for å unngå at vannpartikler fryser (senke duggpunktet ved maksimal driftstrykk til -25 grader C).<br>-Lagret trykkluft (for å få en kontrollert nedstengning av anlegget).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2 |
| C5             | 106 |                    |                                                                                                |                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                           |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |   |

|        |      |                    |                                       |                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                   |                                            |                                                                                                                                                                                        |   |
|--------|------|--------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
|        |      | Støttesystemer     | Kraftproduksjon                       | Forbrenningsluft, kjølevann etc. - se egne felt                                                                                                                                                                                       | -Pumper og turbiner vil ikke lengere fungere, som kutter sirkulasjon av fluider i rør, som igjen senker temperaturen i anlegget.<br>-Signaler til ventiler, nivåstyring m.m. vil ikke fungere.<br>-"Black out".<br>-Heat trace vil ikke fungere, som fører til at væsker vil endre strømningskarakteristikk og/eller fryse. | DNV GL OS-A201, kap. 2, seksjon 2 | x                                          | -UPS.<br>-UPS skal umiddelbart være tilgjengelig ved behov.<br>-Nødkraft<br>-Kommunalt strømmnett.<br>-Krav om at kraftproduksjon skal være tilbake innen 30 minutter etter black out. | 1 |
| C2, C7 | 108  | Støttesystemer     | Kraftproduksjon                       | Større kraftbehov, mindre maringer for utvidelse av anlegget                                                                                                                                                                          | Anlegg når raskere grense for kapasitet for kraftgenerering, hyppigere trip/nedstengning med driftsavvik.                                                                                                                                                                                                                   | AISO 19906                        | x                                          | Energibalanse, prioritering av brukere                                                                                                                                                 | 1 |
| C9     | 109  | Støttesystemer     | Kraftproduksjon                       | Blackout; tap av varmetilførsel, ikke sirkulasjon av fluider etc. Ikke planlagt nedkjøring. Anlegget og prosessen kjøles ned uten planlagt/prosedyre for nedkjøring. Raskere nedkjøling i lav temperatur.                             | Cold soaking av anlegget. Tidkrevende å starte opp kaldt anlegg.                                                                                                                                                                                                                                                            | DNV GL OS-A201, kap. 2, seksjon 2 | x                                          | Plan for håndtering av uplanlagt nedstengning og blackout (aksjoner for å drenere/trykkavlaste, sikre nødvendig UPS-kapasitet for dette)                                               | 1 |
| C9     | 109b | Sikkerhetssystemer | Nødkraft                              | Flere forbrukere av nødkraft ifm.sikkerhetskritisk vinterisering                                                                                                                                                                      | Kan ikke gi tilstrekkelig kraft til heat tracing eller varmeaggregater for sikkerhetssystemer; nedkjøling av prosess og bemannede områder, aktiv ventilasjon.                                                                                                                                                               | Arbeidsgruppe                     | x                                          | Kapasitet må dimensjoneres ut fra økt antall brukere og tid til gjenoppretting/sikring av tilstand                                                                                     | 1 |
| C9     | 110  | Sikkerhetssystemer | Nødkraft                              | Luft-temperatur for lav til at at nødgenerator starter                                                                                                                                                                                | Ikke kraft til nødsystemer.                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | DNV GL OS-A201                    | x                                          | Spesifisering av krav til nødgenerator.                                                                                                                                                | 2 |
| C9     | 110b | Sikkerhetssystemer | UPS                                   | Nødvendig tid til å gjennomføre nedstengningsprosedyrer ved black-out kan medføre større kraftbehov enn UPS kapasitet (tid og energi).                                                                                                | Ikke mulig å gjøre forsvarlig nedstengning for å forenkle oppstart. Problemer ved oppstart.                                                                                                                                                                                                                                 | Arbeidsgruppe                     | x                                          | Fastsette hvor lang tid en sikker nedstengning tar, samt kraftbehov for å gjennomføre nødvendige nedstengningsaktiviteter.                                                             | 1 |
| C9     | 111  | Sikkerhetssystemer | UPS                                   | Batterikapasitet reduseres i lav temperatur, ved blackout tapes oppvarming av batterirom. UPS kapasitet må dekke behov for forlenget nedstengningsprosedyre ved black-out i kaldt klima                                               | Ikke tilstrekkelig UPS/batterikapasitet til å gjøre nedstengning i kaldt klima. Sikkerhetssystemer kobler ut, f.eks gass-deteksjon                                                                                                                                                                                          | ISO 19906 15.2.4.                 | x                                          | Spesifisering av UPS-kapasitet for lave temperaturer, se også pkt. 111.<br><br>Vurder behov for ekstra varme eller lading ved inngang til kuldeperioder.                               | 2 |
| C1     | 112  | Sikkerhetssystemer | Tilgjengelighet av sikkerhetssystemer | Sikkerhets-systemenes påvirkning av kulde-perioder er ikke kjent.                                                                                                                                                                     | Sikkerhetssystemer ikke tilgjengelig sfa. sterk kulde                                                                                                                                                                                                                                                                       | Arbeidsgruppen                    |                                            | Plan ettersyn og testing av kritiske ventiler (ESD, BDV etc.), fakkelsystem, brannvannsystem og åpen drenering før og under kuldeperioder                                              | 1 |
| C10    | 112b | Støttesystemer     | Hydraulikk power (system 65)          | Se eget felt Hydraulikkolje, felt 11, 12, 13, 29 - Ved frafall av hydraulikk vil ventiler, pumper og alle systemer avhengig av hydraulikk ikke fungere.<br>-Utfordringer med å oppnå styring og kontrollert nedstengning av anlegget. | Arbeidsgruppe                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | x                                 | -Heat trace.<br>-Termisk isolasjon av rør. | 1                                                                                                                                                                                      |   |
| C4     | 113  | Støttesystemer     | Steam/damp-system                     | Se felt 17 og 18 (Fluider i rør og slanger)                                                                                                                                                                                           | Bortfall kan redusere evne til å gjennomføre vinteriseringstiltak.                                                                                                                                                                                                                                                          | Arbeidsgruppe                     | x                                          | Kvalifisering og utvelgelse av materialer, ut fra krav til operasjons- og designtemperatur.                                                                                            | 1 |
| C2     | 114  | Støttesystemer     | Diesel oil (system 62)                | Se felt 79, 80                                                                                                                                                                                                                        | Ikke tilførsel av fuel til kritiske brukere, f.eks. nødgenerator.                                                                                                                                                                                                                                                           | Arbeidsgruppe                     | x                                          | Kvalifisering og utvelgelse av materialer, ut fra krav til operasjons- og designtemperatur.                                                                                            | 1 |
| C3     | 115  | Støttesystemer     | Inert gas (system 64)<br>Nitrogen     | Fryse vannlåser/deck seal for inertgass                                                                                                                                                                                               | Ikke inertkontroll på at atmosfære i lagertanker. Mulighet for antennbar gass-blanding.                                                                                                                                                                                                                                     | ISO 19906                         | x                                          | Isolasjon. Varmetilførsel                                                                                                                                                              | 1 |
| C2     | 116  |                    |                                       |                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                   |                                            |                                                                                                                                                                                        |   |
|        | 117  | BLANK              |                                       |                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                   |                                            |                                                                                                                                                                                        |   |
|        |      | Støttesystemer     | Fuel gas (system 45)                  | Kondensering av tyngre gasser sfa. lav t                                                                                                                                                                                              | Væske i fuel gass. Trip av forbrukere. Tap av varmeproduksjon, nedstengning. Driftsavvik                                                                                                                                                                                                                                    | ISO 19906, 15.2.7.4               | x                                          | Isolasjon. Varmetilførsel. Duggpunkt/kondenserings-kontroll for gasser.                                                                                                                | 1 |
| C2     | 118  | Støttesystemer     | Heating medium (system 41)            | Se "Varmeveksler"                                                                                                                                                                                                                     | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | -                                 | -                                          | Utfordringer basert på system og komponenter som listet                                                                                                                                |   |
| C2     | 119  | Støttesystemer     | Cooling medium (system 40)            | Se "Varmeveksler"                                                                                                                                                                                                                     | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | -                                 | -                                          | Utfordringer basert på system og komponenter som listet                                                                                                                                |   |
| C2     | 120  |                    |                                       |                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                   |                                            |                                                                                                                                                                                        |   |

|                |     |                |                                                |                                                                                        |                                                                                                                                                                                              |                                    |                                                                                                |
|----------------|-----|----------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| C1, C2         | 121 | Støttesystemer | Water injection (system 29)                    | Se Piping, "Brannvann", "Kjølevann", "S-                                               | -                                                                                                                                                                                            | -                                  | Utfordringer basert på system og komponenter som listet                                        |
| C1, C2         | 122 | Støttesystemer | Chemical injection (system 42)                 | Ingen spesifikke utover de som er ident -                                              | -                                                                                                                                                                                            | -                                  | Utfordringer basert på system og komponenter som listet                                        |
| C1, C2         | 123 | Støttesystemer | Chlorination (system 47)                       | Ingen spesifikke utover de som er ident -                                              | -                                                                                                                                                                                            | -                                  | Utfordringer basert på system og komponenter som listet                                        |
| C1, C2, C7     | 124 | Støttesystemer | Sea water (system 50)                          | Se "Sjøvann"                                                                           | -                                                                                                                                                                                            | -                                  | Utfordringer basert på system og komponenter som listet                                        |
| C1, C2, C3, C4 | 125 | Støttesystemer | Fresh water (system 53)                        | Se "Kjølevann"                                                                         | -                                                                                                                                                                                            | -                                  | Utfordringer basert på system og komponenter som listet                                        |
| C1, C2, C3, C4 | 126 | Hovedprosess   | Oily water treatment (system 44)               | Ingen spesifikke utover de som er ident -                                              | -                                                                                                                                                                                            | -                                  | Utfordringer basert på system og komponenter som listet                                        |
| C1, C2, C3, C4 | 127 | Hovedprosess   | CO2                                            | Ingen spesifikke utover de som er ident -                                              | -                                                                                                                                                                                            | -                                  | Utfordringer basert på system og komponenter som listet                                        |
| C1, C2, C3, C4 | 128 | Hovedprosess   | Methanol injection (system 46)                 | Ingen spesifikke utover de som er ident -                                              | -                                                                                                                                                                                            | -                                  | Utfordringer basert på system og komponenter som listet                                        |
| C1, C2, C3, C4 | 129 | Hovedprosess   | MEG incl re-generering                         | Ingen spesifikke utover de som er ident .                                              | -                                                                                                                                                                                            | -                                  | Utfordringer basert på system og komponenter som listet                                        |
| C1, C2, C3, C4 | 130 | Hovedprosess   | TEG incl re-generering                         | Ingen spesifikke utover de som er ident -                                              | -                                                                                                                                                                                            | -                                  | Utfordringer basert på system og komponenter som listet                                        |
| C1, C2         | 131 | Hovedprosess   | Topside flow lines and manifolds (system 13)   | Se "Piping"                                                                            | -                                                                                                                                                                                            | -                                  | Utfordringer basert på system og komponenter som listet                                        |
| C1, C2, C3, C4 | 132 | Hovedprosess   | Separation and stabilisation (system 20)       | Se "Separator"                                                                         | -                                                                                                                                                                                            | -                                  | Utfordringer basert på system og komponenter som listet                                        |
| C7             | 133 | Hovedprosess   | Crude handling - Offloading system (System 21) | Operatørstasjon for offloading ises ned                                                | Offloading forsinkes eller avbrytes                                                                                                                                                          | DNV GL OS-A201 Section 5x          | Oppvarming / vifter / varmetråder1                                                             |
| C7             | 134 | Hovedprosess   | Crude handling - Offloading system (System 21) | Ising av PERC/quick release valve, Se                                                  | Løser ikke ut, oljeltilførsel stanses ikke, fe lekkasje til sjø.                                                                                                                             | Arbeidsgruppe x                    | Heat tracing2                                                                                  |
| C1, C2, C4, C5 | 135 | Hovedprosess   | Gas compression (systems 23, 26 and 27)        | Se "Kompressor"                                                                        | -                                                                                                                                                                                            | -                                  | -1                                                                                             |
| C1, C2, C3, C4 | 136 | Hovedprosess   | Gas treatment (system 24)                      | Se "Kompressor" og "Scrubber"                                                          | -                                                                                                                                                                                            | -                                  | -1                                                                                             |
| C1, C2, C3, C4 | 137 | Hovedprosess   | Gas conditioning (system 25)                   | Se "Scrubber"                                                                          | -                                                                                                                                                                                            | -                                  | -1                                                                                             |
| C11            | 138 | Design-prosess | Design basis                                   | Usikkerhet ved design-basis                                                            | Reelle minimums-temperaturer lavere enn design basis sfa. mindre sikre data/færre målinger. Innelukking/oppvarming som filosofi gir behov for tiltak ved nedstengning. Varmebalanser usikre. | DNV GL OS-A201, kap. 3, seksjon 1x | Kan stenge ned når temperatur går mot kritisk lavt nivå, så lenge operasjonsgrenser er kjent.1 |
| C11            | 139 | Design-prosess | Tilgang på kvalifiserte materialer/komponenter | Mindre utvalg/høyere pris på materialer/komponenter kvalifisert for lavere temperature | Vurderer innelukking/oppvarming opp mot kvalifiserte materialer/komponenter. Avhengig av oppvarming som barriere mot nedkjøling                                                              | DNV GL OS-A201, kap. 2, seksjon 1x | Kvalifisering og utvelgelse av materialer, ut fra krav til operasjons- og designtemperatur.1   |

|     |      |                |                                                    |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                      |                                         |   |                                                                                                                                                           |   |
|-----|------|----------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
|     | 140  | Design-prosess | Wind chill effekt (effektiv temperatur?)           | Økt varmetap/raskere nedkjøling                                                                                                                   |                                                                                                                                                                      | DNV GL OS-A201, kap. 1, seksjon 1       |   | Isolering. Varemtilførsel.                                                                                                                                |   |
| C7  |      |                |                                                    |                                                                                                                                                   | Varmebalanse/tilførsel på ikke isolerte komponenter blir stor.                                                                                                       |                                         | x | Installere alarmer på tap av funksjon i varmekabler, samt temperaturovervåkning av kritiske punkter med varmekabelVind/værbeskyttelse.                    | 1 |
| C1  | 141  | Oppstartsfase  | Termisk ekspansjon under oppstart fra kaldt anlegg | Ujevn temperatur i anlegget/tar lengre tid å oppnå likevektstemperatur                                                                            | Økt slitasje på bevegelig utstyr (avstander/bevegelighet, redusert smøring etc.)                                                                                     | DNV GL OS-A201, ISO 19906-3, ISO 35105  | x | Forlenget oppstartstid                                                                                                                                    | 1 |
| C3  | 142  | Prosedyre      | Drenering av tank                                  | Ikke tilstrekkelig drenering/tømming av rørdeler ved drenering; anlegget ikke tømt.                                                               | Frysing i rør uten sirkulasjon. Lengre tid for å kjøre i gang anlegget etter stans.                                                                                  | DNV GL OS-A201, ISO 19906               | x | Prosedyrer for drenering av tanker i kaldt klima.                                                                                                         | 1 |
| C10 | 143  | Prosedyre      | Oppstart/nedkjøring                                | Kondensering og/eller frysing på kalde overflater i rørsegmenter og utstyr med vanndamp etter nedkjøring.                                         | Isdannelse, clogging, fastfrysing av bevegelige deler, trykkoppbygging, manglende prosessregulering                                                                  | AISO 19906                              | x | Prosedyre for tørking og oppstart                                                                                                                         | 1 |
| C10 | 144  | Prosedyre      | Nedstengning - langvarig                           | Temperaturreduksjon gir ising/frysing i rør og tanker som følge av mangelfull tørking og drenering av anlegg ved nedstengning.                    | Cold soaking. Krevende å gjøre anlegget klart for oppstart. Lang periode med nedstengning                                                                            | Arbeidsgruppen                          | x | Prosedyre for drenering, tørking, trykkavlastning ved nedstengning. Varmettilførsel og sirkulering der det er mulig.                                      | 1 |
| C10 | 144b | Prosedyre      | Oppstart/nedkjøring                                | Oppstart fra lav temperatur - anleggsdeler kan utsettes for trykk som ligger utenfor materialets spesifikasjon                                    | Sprøbrudd, lekkasje                                                                                                                                                  | Erfaringsinnhenting                     | x | Prosedyre for oppstart                                                                                                                                    | 1 |
| C10 | 145  | Prosedyre      | Generell operasjon                                 | Manuell inngripen/vedlikehold i felt med påkledning for kaldt klima (hansker, votter, etc.) gjør det vanskelig å komme til/utføre arbeidsoppgaver | Ikke utført aksjon/sent utført aksjon for bryter, f.eks. manuell alarm eller ESD, feil utførelse etc.                                                                | DNV GL OS-A201, ISO 19906, NORSOK S-002 | x | Inkludere driftspersonell i designprosess. Kartlegging og vurdering av gjennomførbarhet av aktuelle operasjoner i sterk kulde "Outdoor operations" studie | 1 |
| C10 | 146  |                | Vedlikehold                                        | Kan ikke utføre planlagt vedlikehold pga.sterk kulde. Avbrutt operasjon.                                                                          | Redusert regularitet. Driftsavvik. Nedstengning.                                                                                                                     | Arbeidsgruppe                           | x | Vedlikeholdsplanlegging                                                                                                                                   | 1 |
| C10 | 147  | Generelt       |                                                    | Som over - men for korrektiv vedlikehold                                                                                                          | Nødvendig vedlikehold/feilretting ikke utført, driftsavvik. Nedstengning.                                                                                            | Arbeidsgruppe                           | x | Vedlikeholdsplanlegging                                                                                                                                   | 1 |
| C10 |      | Generelt       | Vedlikehold                                        |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                      |                                         |   |                                                                                                                                                           |   |
| C10 |      | Generelt       | Varmekabler                                        | Stort omfang av varmekabler for å møte behov til vinterisering av anlegg utendørs                                                                 | Omfattende vedlikehold; tidkrevende og kostbart, Vanskelig tilkomst til varmekabler under isolasjon, tidkrevende å justere/kalibrere termostater, verifisere effekt. | Arbeidsgruppe                           | x | Vedlikeholdsplanlegging                                                                                                                                   | 1 |
| C10 | 148  |                |                                                    |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                      |                                         |   |                                                                                                                                                           |   |
| C10 | 149  | Generelt       | Varmekabler                                        | Manglende klassifisering av varmekablens funksjon                                                                                                 | Kan gi feil (for lav) prioritet på vedlikehold av varmekabel                                                                                                         | Arbeidsgruppe                           | x | Vedlikeholdsplanlegging                                                                                                                                   | 1 |
| C10 | 149b | Generelt       | Isolasjon                                          | Isolasjon skades eller fjernes under vedlikehold, og settes ikke tilbake til forutsatt stand                                                      | Frysing/kondensering av fluider                                                                                                                                      | Erfaringsinnhenting                     | x | Vedlikeholdsplanlegging                                                                                                                                   | 1 |
| C10 |      | Generelt       | Driftstemperatur                                   | Driftspersonell ikke kjent med funksjon av vintersieringstiltak og operasjonelle begrensninger i sterk kulde                                      | Anlegget opereres eller forberedes ikke hensiktsmessig ut fra gjeldende temperatur eller kuldeperioder                                                               | DNV GL OS-A201                          | x | Inkludering av driftspersonell i designprosess. Vinterseringsmanual                                                                                       | 1 |
| C10 | 150  |                |                                                    |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                      |                                         |   |                                                                                                                                                           |   |



## Om DNV GL

DNV GL er et internasjonalt selskap innen kvalitetssikring og risikohåndtering. Siden 1864 har vårt formål vært å sikre liv, verdier og miljøet. Vi bistår våre kunder med å forbedre deres virksomhet på en sikker og bærekraftig måte.

Vi leverer klassifisering, sertifisering, teknisk risiko- og pålitelighetsanalyse sammen med programvare, datahåndtering og uavhengig ekspertrådgivning til maritim sektor, til olje- og gass-sektoren, og til energibedrifter. Med 80,000 bedriftskunder på tvers av alle industrisektorer er vi også verdensledende innen sertifisering av ledelsessystemer.

Med høyt utdannede ansatte i 100 land, jobber vi sammen med våre kunder om å gjøre verden sikrere, smartere og grønnere.