

Rapport	
Rapporttittel Gransking av brudd i kveilerør på Gullfaks C	Aktivitetsnummer 001050090

Gradering		
<input checked="" type="checkbox"/> Offentlig	<input type="checkbox"/> Begrenset	<input type="checkbox"/> Strengt fortrolig
<input type="checkbox"/> Unntatt offentlighet	<input type="checkbox"/> Fortrolig	

Involverte	
Lag T1	Godkjent av / dato Kjell Marius Auflem / 13.10.2023
Deltakere i granskingssgruppen [Redacted]	Granskingssleder [Redacted]



Bilde 1 - Gullfaks C (Kilde: Equinor)

Innhold

1	SAMMENDRAG	4
2	PTILS GRANSKING	4
2.1	PTILS GRANSKINGSGRUPPE	4
2.2	MANDAT	5
3	FORKORTELSER	6
4	BAKGRUNNSINFORMASJON	7
4.1	BESKRIVELSE AV INNRETNING OG ORGANISASJON	8
4.2	BESKRIVELSE AV OPPRIGGING AV KVEILERØR.....	10
4.3	KVEILERØRSOPERASJONER	10
4.4	FRAKTURERING	11
4.5	KJEMIKALIER.....	12
4.6	INFORMASJON H ₂ S.....	12
4.6.1	<i>Helsefare</i>	13
4.7	HYDROGENASSISTERTE BRUDD	14
4.8	LIGNENDE HENDELSER	16
5	HENDELSESFORLØP	16
5.1	SITUASJON FØR HENDELSEN	16
5.2	SITUASJON UNDER HENDELSEN	17
5.3	LIKE ETTER HENDELSEN	17
5.4	TIDSLINJE.....	18
5.5	UTFØRTE TESTER OG ANALYSER	19
5.5.1	<i>Materialtesting</i>	19
5.5.2	<i>Kjemikalieanalyser</i>	19
6	HENDELSENS POTENSIAL	20
6.1	FAKTISK KONSEKVENNS	20
6.2	POTENSIELL KONSEKVENNS	20
7	DIREKTE OG BAKENFORLIGGENDE ÅRSAKER	21
7.1	DIREKTE ÅRSAKER	21
7.2	BAKENFORLIGGENDE ÅRSAKER.....	21
7.2.1	<i>Bidragstere til risiko</i>	21
7.2.1.1	Blanding av kjemikalier.....	21
7.2.1.2	Materialvalg og kompatibilitetstesting.....	21
7.2.1.3	Planlegging og endringshåndtering	22
7.2.2	<i>Organisering og grensesnitt</i>	23
7.2.3	<i>Kapasitet og kompetanse</i>	24
7.2.4	<i>Lignende hendelser</i>	24
8	BEREDSKAP	25
9	OBSERVASJONER	25
10	AVVIK	26
10.1	PLANLEGGING AV AKTIVITETEN - EQUINOR	26
10.2	INFORMASJON OG GRENSESNITT - SLB	27
11	FORBEDRINGSPUNKT	27
11.1	KAPASITET OG KOMPETANSE - EQUINOR.....	27
11.2	MÅNGLENDE LÆRING FRA LIGNENDE HENDELSER - EQUINOR	28
12	BARRIERER SOM HAR FUNGERT	28

13	DISKUSJON OMKRING USIKKERHETER	28
13.1	PRØVER TATT AV RETURSTRØM.....	28
13.2	UTSLAGSGIVENDE KJEMISK REAKSJON	29
14	VURDERING AV AKTØRENS GRANSKINGSRAPPORT	29
15	VEDLEGG.....	29

1 Sammendrag

I forbindelse med brønnintervensjonsaktivitet oppstod det den 25. januar 2023 en brønnkontrollhendelse med brudd i kveilerør (DFU3) på Equinors innretning Gullfaks C. Petroleumstilsynet (Ptil) besluttet den 01.02.2023 å granske hendelsen.

Operasjon på hendelsestidspunktet var opprensning av brønn ved bruk av kveilerør etter mislykket fraktureringsoperasjon der hele brønnen ble fylt med bærevæske med propanter. Under sirkulering gjennom kveilerør oppstod det brudd på kveilerør på overflaten. I løpet av påfølgende timer oppstod det flere brudd på kveilerøret ved trommel og injeksjonshode. Da det oppstod brudd på kveilerør som var i brønnen ble CT-BOP aktivert med kutte/blind ventil for å stenge inn og gjenopprette primærbarrieren.

Dersom strengen hadde gått i brudd mens personell befant seg ved kveilerørstommelen kunne frigjort energi, i form av utløst bøyemoment, påført vedkommende slagskade.

Den direkte årsaken til hendelsen er sulfid spenningskorrosjon (SSC) forårsaket av H₂S som overveiende sannsynlig oppsto ved en kjemisk reaksjon mellom oksygenfjerner, sitronsyre og jern fra innsiden av kveilerør. Den valgte materialkvaliteten til kveilerøret var sårbart for H₂S-eksponering. Dette, kombinert med mekaniske spenninger utløste hendelsen.

I hendelsen ble oksygenfjerner blandet direkte inn i væskestrømmen med sitronsyreløsning. Oksygenfjerner kan danne giftige gasser og har begrenset effekt når den blandes med sure løsninger.

Det er overveiende sannsynlig at kombinasjon og rekkefølge av tilsetningsmaterialer var utslagsgivende for hendelsen.

Det er sannsynlig at endringer knyttet til ansvar for planlegging og gjennomføring, samt mangelfull kommunikasjon av risiko har bidratt til hendelsen.

Det er identifisert 2 avvik og 2 forbedringspunkt

2 Ptils gransking

2.1 Ptils granskingsgruppe

Ptils granskingsgruppe bestod av følgende personer:



F-Boring og brønn (Granskingsleder)



F-Boring og brønn
 F-Boring og brønn
 F-Arbeidsmiljø
 F-Konstruksjonssikkerhet
 F-Konstruksjonssikkerhet

2.2 Mandat

Følgende mandat ble besluttet for granskingsgruppen:

- a. *Klarlegge hendelsens omfang og forløp (ved hjelp av en systematisk gjennomgang som typisk beskriver tidslinje og hendelser)*
- b. *Vurdere faktiske og potensielle konsekvenser*
 1. *Påført skade på menneske, materiell og miljø.*
 2. *Hendelsens potensial for skade på menneske, materiell og miljø.*
- c. *Vurdere direkte og bakenforliggende årsaker*
- d. *Identifisere avvik og forbedringspunkter relatert til regelverk (og interne krav)*
- e. *Diskutere og beskrive eventuelle usikkerheter /uklarheter.*
- f. *Drøfte barrierer som har fungert. (Det vil si barrierer som har bidratt til å hindre en faresituasjon i å utvikle seg til en ulykke, eller barrierer som har redusert konsekvensene av en ulykke.)*
- g. *Vurdere aktørens egen granskingsrapport*
- h. *Utarbeide rapport og oversendelsesbrev (eventuelt med forslag til bruk av virkemidler) i henhold til mal.*
- i. *Anbefale - og normalt bidra i - videre oppfølging*

Og i tillegg:

1. Vurdere eventuelle mangler knyttet til styringsmessige forutsetninger for teknisk og operasjonell integritet i operasjonen.
2. Vurdere årsaker til at beslutningsgrunnlaget tilsynelatende er utilstrekkelig ved valg av CT for denne aktiviteten.
3. Vurdere plansenter og operasjonssenter sin rolle i forberedelsen og oppfølgingen av aktiviteten.
4. Vurdere forhold på tvers av andre relevante hendelser i Equinor (og hos andre) med tilsvarende identifiserte forhold i årsaksbildet. (Eksempel: Hendelsen på Martin Linge med tilsvarende årsaksforhold.

Hendelsen oppstod 25.01.20223 og var normalisert 03.02.2023.

Ptil granskingsgruppe reiste offshore til Gullfaks C tirsdag den 14.02.2023 med retur torsdag 16.02.2023. Equinor sin granskingsgruppe var offshore i samme tidsrommet.

Ptil granskingsgruppe foretok befaring i relevante områder for hendelsen og foretok sju intervjuer om bord på innretningen. I tiden frem til slutten av mai ble det foretatt ytterligere 21 intervjuer av personell ved Equinors lokaler i Bergen, Ptils lokaler i Stavanger og via Teams. Personell fra alle involverte selskap ble intervjuet.

Granskingsgruppen har valgt å bruke STEP-metodikk for å systematisere hendelsesforløpet og bakenforliggende årsaker. Bakgrunn for valget er et sammensatt aktørbilde, med mange grensesnitt.

3 Forkortelser

Forkortelse	Beskrivelse
BHA	Verktøystreng i enden av kveilerør (bottom hole assembly)
B282	Kjemikalie for hydraulisk friksjonsreduksjon
CT	Coiled Tubing - Kveilerør
CT-BOP	Brønnsikringsventil for kveilerørsoperasjon bestående av kutte/blind-, rør- og kileventil
DFIT	Dynamisk Formasjons Integritets Test
DOP	Detailed Operating Procedure – detaljert operasjonsprosedyre
H ⁺	Hydrogenion
H ₂	Hydrogengass
H ₂ S	Hydrogensulfid
HE	Hydrogen embrittlement - hydrogensprøhet
Headspace	Luftlomme over væske i en prøveflaske
HIC	Hydrogen induced cracking – hydrogenindusert sprekkdannelse
HRC	Hardness Rockwell C
HSLA	High strength, low alloy steel – høystyrke, lavlegert stål
KSI	Kilo pound per square inch
M296	Kjemikalie for å redusere friksjon mellom metaller
MEG	Monoetylglykol
MPa	Mega Pascal
NOV	National Oil Varco leverandør av CT-BOP
pH	Måleenhet for surhetsgrad i væsker (skala: 0 – 14)
POOH	Pull Out Of Hole – trekke ut av brønnen
ppm	Parts per million
Pressure-out	Faguttrykk brukt i fraktureringsoperasjoner der trykket stiger til maksimalt operasjonstrykk før alle propanter er fortrent ut i formasjonen.
Propanter	Frakturingssand
Ptil	Petroleumstilsynet
SLB	Oljeservice selskap
SCC	Stress corrosion cracking - spenningskorrosjon
SSC	Sulfide stress cracking – sulfid spenningskorrosjon

Svanehals	Goose neck - rørføring som leder kveilerør fra vertikal over injeksjonshode til (nær) horisontal orientering før spoling på trommel
Swab-ventil	Øvre ventil på brønnens ventiltre, også kalt sluseventil
Wipertrip	Faguttrykk brukt for å beskrive samtidig uttrekking og sirkulering i brønnen for å fjerne løst materiale og/eller kontrollere status i brønnen
XT	X-mas tree – ventiltre på brønn
"	Tomme (inch)

4 Bakgrunnsinformasjon

I forbindelse med opprensning etter frakturering av brønn C-21, Nøkken, oppstod det den 25.01.2023 en brønnkontrollhendelse på Equinors innretning Gullfaks C.

Under skiftoverlevering mellom natt- og dagskift 25.1.2023 kl. 06:56 ble det observert brudd i kveilerøret. Tilbakeslagsventilene i BHA holdt tett mot brønnen og primærbarrieresløyfen var intakt. I de følgende timene ble det til sammen observert seks ulike brudd i kveilerøret på overflaten.

Kl 15:40 falt brønnehodetrykket samtidig som det strømmet væske ut fra kveilerør på trommel. Dette ble vurdert som et brudd i kveilerøret over tilbakeslagsventilene i BHA. Mannskapet stengte kile- og rørv ventil kl 15:42. Det oppstod et nytt brudd ved svanehals kl 15:44. Brønnen var sikret kl 15:52 etter aktivisering av CT-BOP kutte/blind ventil som er en del av primærbarrieresystemet.

Øvrige brønnoperasjoner ble stanset og området sperret av.



Bilde 2 - Kveilerør med brudd (Kilde: Equinor)

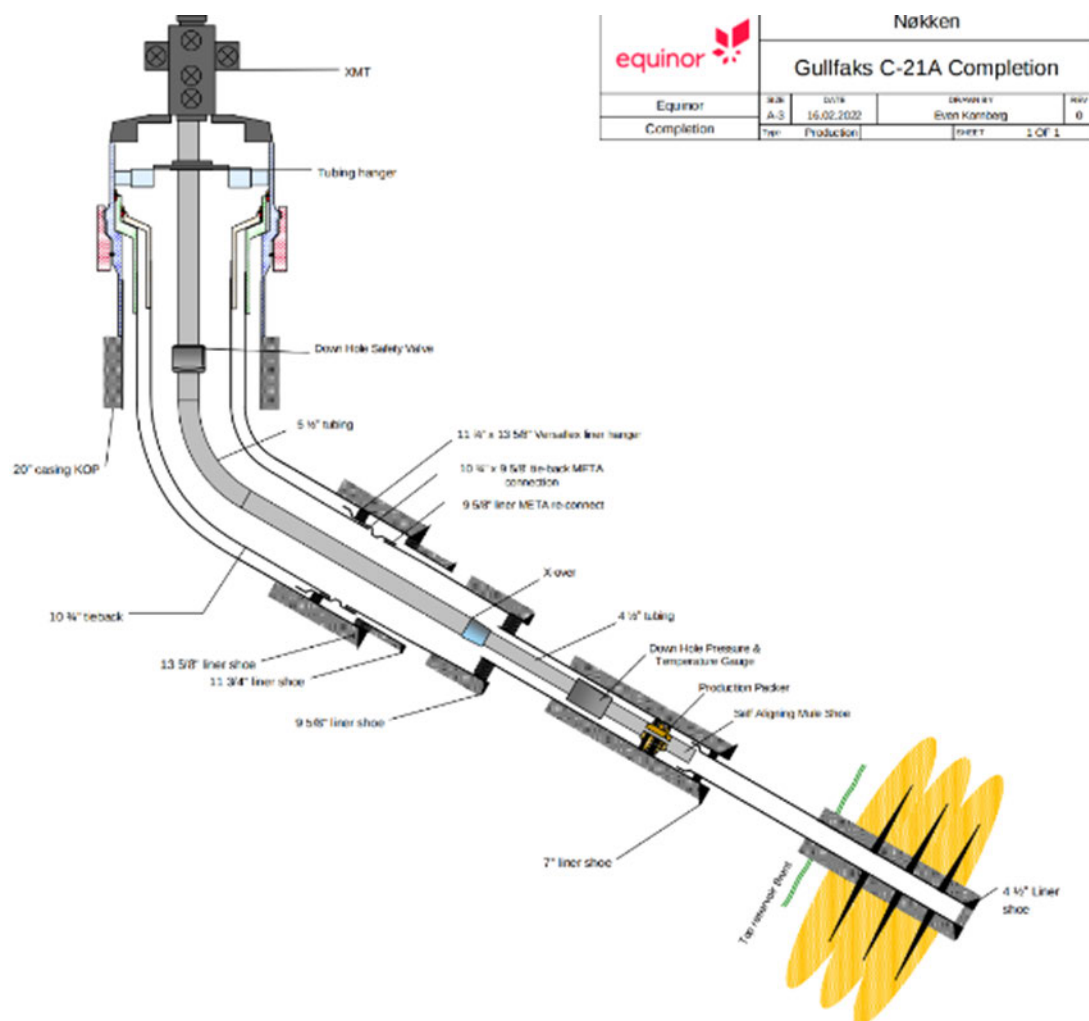
4.1 Beskrivelse av innretning og organisasjon

Brønn C-21 ble planlagt som gass og kondensatprodusent boret fra Gullfaks C til Nøkkenfeltet som ligger øst for Gullfaks med horisontal avstand på 6500m fra innretningen.

Funnbrønn 34/11-2 S ble boret i 1996 og ligger i lisens 193 GS. Gullfaksfeltet ligger i lisens 050 i nærheten av Nøkkenfeltet. Det er bygd ut med tre integrerte prosess-, bore- og boliginnretninger med betongunderstell (Gullfaks A, B, C) og diverse undervannsinnetninger.

Gullfaks produserer olje fra midtre jura sandstein i Brentgruppen, og fra nedre jura og øvre trias sandstein i Statfjordgruppen, samt Cook- og Lundeforvasjonen. Nøkken og C-21 produseres fra både øvre og nedre del av Brent. Det er ikke påvist kommunikasjon mellom reservoarene på Nøkken-feltet og øvrige Gullfaksbrønner.

Brønnen var komplettert med 4 1/2" forlengelsesrør gjennom reservoaret og 4 1/2" x 5 1/2" produksjonsrør.



Figur 1 - Brønnskisse for C-21 A (Nøkken)

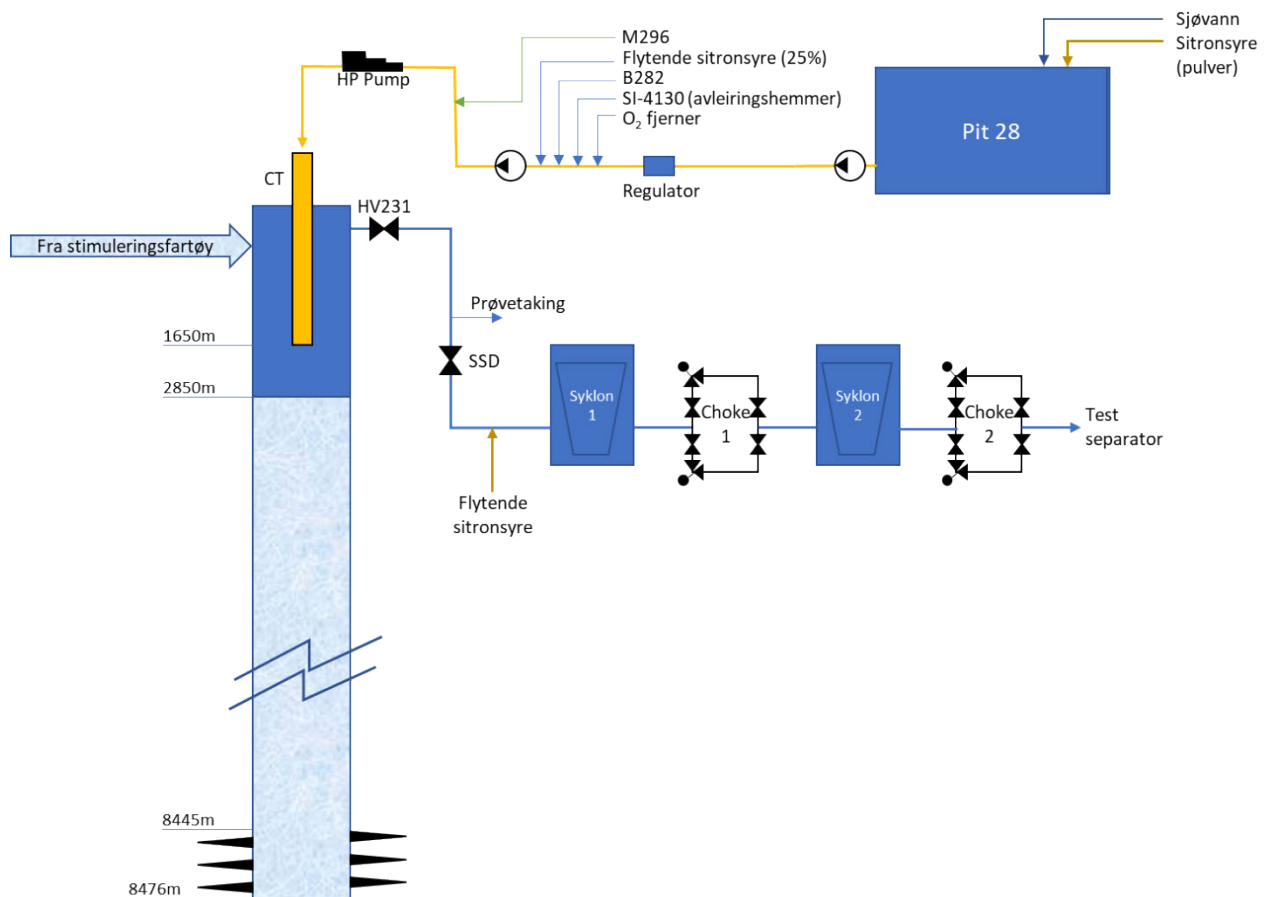
Equinor er operatør i PL193GS Nøkken, med eierandel på 70% og Petoro er partner med 30% eierandel.

Baker Hughes hadde kontrakt som leverandør av stimuleringstjenester til Equinor for dette arbeidet. Selskapet trakk seg ut av stimuleringstjenester i Norge sommeren 2022 og Stimwell ble valgt som ny leverandør av tjenesten. I tillegg til Equinor var flere entreprenører involvert i brønnstimuleringsaktiviteten på Nøkken. Stimwell hadde fartøy med tank- og pumpekapasitet, og leverte proppanter i bærevæske via slanger fra fartøy til plattformen.

SLB CT leverte kveilerørstjenester knyttet til både perforeringsarbeid og opprensning av brønn etter stimulering. SLB Testing leverte overflateutstyr til separering av overskuddsproppanter og opprenskingsvæsker, mens SLB pumping hadde ansvar for leveranse av kjemikalier som ble pumpet i brønnen samt pumpene som ble brukt til dette. I tillegg ble det benyttet resurser fra Archer (borekontraktør) på Gullfaks da riggens tanker og pumper ble tatt i bruk av intervensjonsgruppen.

4.2 Beskrivelse av opprigging av kveilerør

Kveilerørsutstyr var rigget opp på rørdekk, glidebjelker (skid beams) og lukedekk. Brønnkontrollutstyr med BOPer og sluserør var rigget vertikalt opp fra brønnen. Et arbeidstårn var montert over glidebjelker med et tilkomsttårn for injeksjonshode for kveilerør og innsuling av verktøystrenger i brønnen. Kveilerørstrommel, kontrollkabin, væskepumper og kraftforsyning var plassert på rørdekk, mens retursystemet bestående av strupemanifolder, sandsykloner og returlinjer var plassert på lukedekk. Kompletteringstank 28 ble benyttet for leveranse av væske som ble pumpet gjennom kveilerør. Væsken var i hovedsak ubehandlet sjøvann fra vanninjeksjonsanlegget på Gullfaks C.



Figur 2 - Forenklet sirkulasjonsdiagram for utrensning av proppanter

4.3 Kveilerørsoperasjoner

Kveilerør er et kontinuerlig rør som er spolt opp på en trommel. Kveilerøret drives inn i og trekkes ut av brønnen med et injeksjonshode som er plassert vertikalt over brønnen. Brønnsikringsventiler og forsegling mot atmosfære er arrangert slik at kveilerør kan benyttes på levende brønner. Kveilerør er godt egnet til opprensning av brønner fordi det er mulig å sirkulere kontinuerlig mens man opererer i brønnen og dermed unngå at partikler som er i bevegelse faller ut av væskestrømmen.

Kveilerør er fremstilt av lavlegert stål med høy styrke (HSLA-stål). I operasjonen på Gullfaks C-21A ble det benyttet et kveilerør med ytre diameter på 2 3/8" og flytegrense (yield strength) på 130 000 psi. Veggtykkelsen var økende fra 0,145" (nedre ende) til 0,204" (øvre ende), såkalt «tapered design». Det var installert et 0,125" Inconel rør med elektriske ledere og fiberoptikk innvendig langs hele lengden av kveilerøret. Dette brukes til overføring av energi og signaler til utstyr i BHA.

I operasjon, beveges kveilerøret fra trommelen og inn i brønnen ved at injeksjonshodet presser to motstående kjeder med halvmåneformede friksjonsblokker mot røret og driver det inn. I denne operasjonen utsettes røret for bøyemoment første gang når det trekkes av trommel, andre gang når det bøyes over svanehals og tredje gang når det rettes ut gjennom kjedene i injeksjonshodet. Prosessen gjentas i motsatt rekkefølge når røret trekkes ut av brønnen. Bilde 3 viser oppriggingen på Gullfaks C. I hver bøye- og utrettingssekvens blir kveilerøret plastisk deformert og en gradvis utmatting av kveilerøret finner sted. I brønnen utsettes kveilerøret for kompresjons- og strekkrefter. Lavlegert stål med høy styrke er spesielt utsatt for korrosjon i surt miljø, ref. kap. 4.7.



Bilde 3 - Opprigging av kveilerør

4.4 Frakturering

For å øke produksjonen, skulle brønn 34/10-C-21A stimuleres ved bruk av hydraulisk frakturering. Denne operasjonen utføres ved at viskøs væske tilsatt proppanter pumpes inn i brønnen med høy pumperate. Når injeksjonstrykket overstiger spenningene i reservoaret, åpnes sprekker i reservoaret og disse fylles med injisert væske og proppanter. Etter behandlingen, avlastes trykket og proppantene holder sprekkenes åpne slik at innstrømningen fra reservoaret til brønnen forbedres.

Dersom ikke alle proppantene blir fortrent ut i formasjonen, må gjenværende rester av proppanter i brønnen fjernes før denne kan settes i drift. Overskytende proppanter kan vaskes ut ved hjelp av kveilerør.

4.5 Kjemikalier

Avhengig av behov og egenskaper/utfordringer knyttet til den enkelte fraktureringsoperasjon, benyttes ulike kjemikalier. Tabell 1 viser typer kjemikalier som kan benyttes og hvilken funksjon disse har.

Tabell 1: Oversikt over kjemikalier benyttet i fraktureringsoperasjoner

Kjemikalie	Formål
Proppant	Sfæriske partikler som presses inn i sprekker i reservoar for å øke drenering til brønn.
Gel	Bærevæske for proppant
Biocid	Tilsettes i ulike faser for å eliminere bakteriell oppvekst som kan bidra til H ₂ S-utvikling og avleiringer
Avleiringshemmer	Tilsettes for å unngå oppbygging av avleiringer i brønn
Korrosjonshemmer	Tilsettes for å beskytte blant annet kveilerør for korrosjon
Oksygenfjerner	Benyttes for å fjerne oksygen fra f.eks. sjøvann for å unngå oksidasjon av blant annet kveilerør
H ₂ S-fjerner	Tilsettes profylaktisk eller ved H ₂ S-utfordringer i brønnen. Reagerer og reduserer/eliminere H ₂ S
Friksjonshemmere	Tilsettes for å redusere trykkutfordringer og redusere friksjon mellom kveilerør og føringsrør og/eller kveilerør og væsker
Syre (sitronsyre)	Benyttes til å bryte opp bærevæske/gel i forbindelse med opprensning av brønn etter frakturering
MEG (monoetylglykol)	Tilsettes for å unngå hydrattdannelse/isplugg

4.6 Informasjon H₂S

Hydrogensulfid (H₂S) er en svært giftig, fargeløs og brannfarlig gass som er noe tyngre enn luft. Den har en stikkende lukt av råtne egg ved lave konsentrasjoner. I tillegg til å være svært giftig er den også svært korrosiv. I petroleumsnæringen er utvikling av H₂S vanligvis knyttet til sulfatreduserende bakterier som anaerobt bryter ned svovelholdig organisk materiale. I denne nedbrytningsprosessen dannes H₂S. Potensiale for å få utviklet H₂S er knyttet til tanker og volumer der en har stillestående organisk materiale i vann uten tilgang på oksygen, noe som også kan forekomme i reservoarer. I naturen

vil en derfor kunne oppleve H₂S utvikling i myrer og sumper, og gassen blir også kalt sumpgass.

H₂S kan også utvikles som en konsekvens av kjemiske reaksjoner.

4.6.1 Helsefare

Lukteterskelen for H₂S er svært lav og langt under de nivåene der en vanligvis registrerer helsemessige symptomer på eksponering. Ved lave nivåer har lukten en ubehagelig karakter av råtne egg, lukten endrer noe karakter ved økte nivåer. Ved H₂S-nivåer på 100 ppm vil luktesansen lammes. Ved høyere nivåer vil innånding av H₂S være akutt dødelig. Erfaringer fra eksponeringhendelser og rapporter har bidratt til kunnskap om hvilke symptomer og helsefarer som kan inntreffe ved eksponering for ulike konsentrasjoner av gassen i luft, og er gjengitt i Tabell 2 under.

Tabell 2: Oversikt over symptomer og helsefarer knyttet eksponering for ulike konsentrasjoner av H₂S

Konsentrasjoner (ppm)	Symptomer/helseeffekter
0.00011-0.00033	Bakgrunnsnivåer
0.01-1.5	Lukteterskel. (når lukt av råtne egg først blir merkbar fro de fleste). Lukten blir mer ubehagelig ved nivåer 3-5 ppm. Over 30 ppm, blir lukten beskrevet som søt eller kvalmende søt.
2-5	Langvarig eksponering kan forårsake kvalme, rennende øyne hodeverk og søvnproblemer og luftveisproblemer hos enkelte personer med astma.
20	Slapphet, redusert appetitt loss, hodeverk, irritabilitet, hukommelsessvikt og svimmelhet.
50-100	Synsforstyrrelser og luftveisirritasjon etter en time. Kan forårsake fordøyelsesproblemer og redusert appetitt.
100	Hoste, øyeirritasjon, tap av luktesans etter 2-15 minutter. Endret åndedrettsfrekvens, døsighet etter 15-30 minutter. Halsirritasjon etter 1 time. Økende alvorlighetsgrad av symptomer etter få timer. Død kan inntreffe etter 48 timer.
100-150	Tap av luktesans.
200-300	Alvorlig øyeirritasjon og luftveisirritasjon etter 1 time.. Lungeødem kan oppstå ved langvarig eksponering.
500-700	Svimmelhet, kollaps innen 5 minutter. Alvorlig øyeskade innen 30 minutter. Død etter 30-60 minutter.

700-1000	Hurtig tap av bevissthet Rapid, "knockdown" i løpet av ett til 2 åndedrag, respirasjonsstans innen minutter, død i løpet av få minutter.
1000-2000	Akutt dødsfare

For å overvåke H₂S-nivåer i pustesone benyttes ofte elektrokjemiske sensorer. Disse er små, lave i vekt og kan enkelt bæres av potensielt eksponert personell. Slike enheter er utstyrt med alarmfunksjon som gir både hørbar og visuell varsling når nivåene overstiger en angitt terskelverdi. Begrensningen til denne typen sensorer er at de har en øvre deteksjonsgrense på 200 – 500 ppm. For å kartlegge nivåer over dette må andre typer utstyr benyttes. Kolorimetriske metoder der et eksponert medie gir fargeutslag avhengig av nivå (for eksempel Dräger-rør) kan påvise nivåer i luft på opptil 40 % H₂S.

Arbeidstilsynet har i forskrift om tiltaks- og grenseverdier satt eksponeringsgrenser for H₂S. Grenseverdiene er satt ut ifra en 8-timers arbeidsdag. Aktivitetsforskriften §36 sier at disse verdiene skal korrigeres med en faktor på 0,6 for arbeidsperioder på 12 timer. Tabell 3 viser en oversikt over grenseverdier for H₂S.

Tabell 3: Oversikt over grenseverdier for H₂S

	8-timers skift	12-timers skift
Grenseverdi	5 ppm	3ppm
Takverdi*	10 ppm	10 ppm

* Takverdi er en øyeblikksverdi som angir maksimalkonsentrasjon av et kjemikalie i pustesonen som ikke skal overskrides.

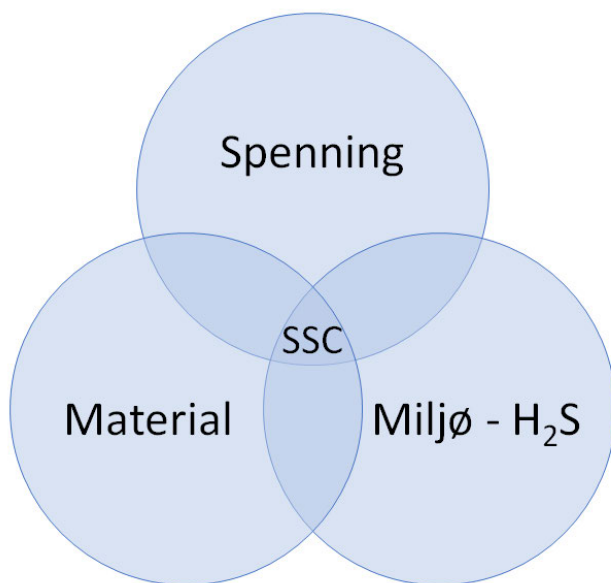
4.7 Hydrogenassisterte brudd

Hydrogensprøhet (HE – hydrogen embrittlement) er en karakteristisk endring av de mekaniske egenskapene hos visse metaller, spesielt stål, i nærvær av løst atomært hydrogen inne i metallet. Hydrogensprøhet opptrer ved lave konsentrasjoner av hydrogen. Små mengder kan være til stede etter fremstillingen av materialet, tilført under fabrikasjon (f.eks. ved sveising) eller ved annen påvirkning av hydrogen når materialet er i bruk.

Atomært hydrogen kan for eksempel oppstå gjennom korrosjonsprosesser, spalting av vann eller ved forekomst av H₂S. Hydrogenreduksjon (hydrogenutvikling) er avhengig av tilstrekkelig tilgang på hydrogenioner, H⁺. I løsninger med lave pH-verdier (pH < 3,5), er H⁺-konsentrasjonen i utgangspunktet stor og reaksjonen kan skje spontant.

H₂S som kommer i kontakt med metall danner metallsulfid og hydrogengass (H₂). Sulfidionene kan forstyrre rekombinasjonen av hydrogenatomer til H₂-gass og dermed fremme diffusjon av atomært hydrogen inn i materialet og føre til hydrogensprøhet, særlig i stål med høy hardhet. Resultatet kan være hydrogenindusert sprekkdannelse (HIC - hydrogen induced cracking) eller sprekker som følge av spenningskorrosjon (SSC – sulfide stress cracking eller SCC - stress corrosion cracking).

SSC er regnet som en korrosjonsdrevet form av hydrogensprøhet og forutsetningen for SSC er tre forhold som må opptre samtidig, ofte illustrert som i Figur 3.



Figur 3: Forutsetning for SSC.

Høyfast, lavlegert stål (high strength, low alloy steel – HSLA) er ofte brukt i kveilerørsoperasjoner. Det er ikke uvanlig at slike materialer har minimum flytegrense 130 ksi (896 MPa) med hardhet over 36 HRC.

Kveilerøret utsettes for store påkjenninger ved brønnoperasjoner, det er spenninger til stede, materialet kan bli tøydd utover flytegrense og få permanent deformasjon med påfølgende fare for utmatting.

Forhøyede mekaniske egenskaper bidrar til at denne typen materiale er følsomt for hydrogeninduserte sprekker og SSC. ISO 15156 er anerkjent standard for materialvalg i H₂S-miljøer i olje- og gassproduksjon og ifølge denne spiller blant annet hardhet en viktig rolle for å avgjøre hvor følsomt materialet er for SSC. Standarden angir en maksimal hardhetsgrense på 22 HRC for bruk av HSLA-materiale der det kan forekomme H₂S. I tillegg til partialtrykk H₂S er det flere forhold som påvirker SSC-aggressiviteten til miljøet, som pH og temperatur. For detaljer se blant annet Figur 1 i ISO 15156-2.

4.8 Lignende hendelser

På Martin Linge oppstod det en hendelse 25. januar 2017 med lekkasje i kveilerørstreng under uttrekking fra brønn A09. Strengen utviklet senere brudd på flere steder som ligner bruddene observert på strengen på Gullfaks C. Strengene hadde tilsvarende materialeegenskaper (hhv. QT1300 og Duracoil 130) med materialstyrke 896 MPa (130 ksi). Videre ble det brukt syre gjennom kveilerør under operasjonen. Laboratorieanalyser konkluderte med at lekkasje var et resultat av hydrogensprøhet. Kilde til hydrogen kan ha vært ekstern H₂S og/eller «microwash» som inneholdt eddiksyre.

Total var operatør og Baker Hughes var entreprenør under hendelsen. Statoil/Equinor var partnere på Martin Linge. Total startet gransking av hendelsen to og en halv måned etter hendelsen oppstod, den 7.4.2017. Det foreligger begrenset læring fra denne hendelsen i industrien. Rapporten er ikke offentlig tilgjengelig, og det finnes ikke et formelt forum for læring av intervensjonshendelser.

5 Hendelsesforløp

5.1 Situasjon før hendelsen

Nedre intervall av 4 ½" forlengelsesrør ble perforert ved bruk av perforeringskanoner på kveilerørstreng den 2.1.2023. Perforeringsjobben ble etterfulgt av en minifrakturering med påfølgende «pressure-out» den 5.1.2023. Ved frakturering ble det pumpet proppanter i bærevæske fra tanker om bord på Stimwell-fartøyet Island Patriot direkte i brønnen, ned produksjonsstreng. Den 7.1.2023 startet man opprensning av brønnen med kveilerør etter minifrakturering. Opprensning ble gjennomført ved bruk av sjøvann, oksygenfjerner og friksjonsreducerende midler (B282 og M296). Sitronsyre ble i denne opprensningen tilsatt på retursiden for å bryte polymer i bærevæske før videre behandling i sykkloner.

Den 17.1.2023 ble det gjennomført en ny minifrakturering. Denne gikk etter plan og krevde ingen opprensning i etterkant. Den 20.1.2023 gikk man i gang med hovedfrakturering. Igjen oppstod det problemer knyttet til for høyt pumpetrykk pga. friksjon, og en fikk så vidt startet fortrenging av proppanter med klar væske før man fikk «pressure-out». Brønnen ble fullstendig fylt med proppantholdig bærevæske da en ikke kunne fortsette pumpingen.

Påfølgende opprensning startet 21.1.2023 gjennom kveilerør ved bruk av sjøvann, 0,2% sitronsyre og oksygenfjerner. Senere ble konsentrasjon av sitronsyre økt til 0,4% (Figur 2). Friksjonsreducerende kjemikalie B282 ble benyttet for å redusere væskefriksjon.

Opprenskingsarbeidet ble avbrutt den 24.1.2023 da kveilerør måtte trekkes ut av brønnen for rutinemessig testing av BOP. Man hadde da vasket ned til 1900m. Etter BOP-test fortsatte opprenskingen. Den 25.1.2023 var man kommet ned til 2850m. For å sikre god opprensing innenfor trykkbegrensningene til brønn og utstyr ble det foretatt en wipertrip fra 2850m tilbake til 1650m. Det var i forbindelse med pumping (bunn-opp) på 1650m at man oppdaget det første hullet i kveilerøret.

5.2 Situasjon under hendelsen

En ubrukt kveilerørsstreng med materialtype Duracoil 130 ble benyttet for arbeidet i brønnen. Strengen var designet for denne operasjonen for å ha tilstrekkelig styrke og pumpekapasitet tilgjengelig.

Under fraktureringsoperasjonen ble ikke det ønskede volumet med bærevæske og proppanter fortrent ut i formasjonen. Dette medførte at brønnen ble fylt opp med blandingen. Equinor reviderte prosedyren for utvasking av proppanter den 21.1.2023 og det ble etablert en detaljert operasjonsprosedyre (DOP), der alle aktører deltok, for å vaske ut proppanter i to steg;

- Til 1000 meter for å reetablere brønnens barrierer.
- I hele brønnens lengde.

Operasjonen var opprinnelig planlagt for utvasking av mindre mengder proppanter og bærevæske. Da brønnen ble fylt opp med proppanter, hadde man ikke tilgang på nok flytende sitronsyre i forhold til volumet som skulle renskes ut av brønnen. DOP utarbeidet 21.1.2023 beskrev at 0,2% sitronsyre skulle injiseres kontinuerlig gjennom kveilerør, men ettersom man ikke hadde nok av denne ble det besluttet å ta i bruk sitronsyre i form av tørrstoff. Denne skulle mikses i mikse- og kompletteringstankene i boreanlegget på Gullfaks C. Kjemikalier for fjerning av oksygen og hydraulisk friksjonsreducerende middel (B282), ble tilført blandingen etter tank og før høytrykkpumpe, ref. Figur 2. Mekanisk friksjonsreducerende kjemikalie (M296) ble utelatt fordi det var identifisert at det kunne forårsake problemer med separasjon i sykklonene på retursiden.

Etter å ha vasket ned til 2850m ble kveilerøret trukket tilbake til 1650m som ledd i effektiv brønnoopprensning. Mens man stod stasjonært på 1650m og sirkulerte oppstod det brudd i kveilerør på trommel som stod på rørdekk.

5.3 Like etter hendelsen

Brønnen ble sikret ved å stenge kile- og rørventil på CT BOP. Integriteten til kveilerøret som sto igjen i brønnen ble verifisert ved å teste tilbakeslagsventilene i BHA. Flere rørbrudd oppsto på trommel og ved svanehals. Etter noen timer, observerte man fall i brønntrykk og strømning ut at kveilerør ved brudd på trommel. Dette ble tolket som

at tilbakeslagsventilene i CT BHA eller CT i brønn hadde sviktet. CT BOP kutteventil ble da aktivert, slik at kveilerøret ble kuttet og primærbarrieren i brønnen ble gjenopprettet. I denne perioden ble det foretatt målinger av H₂S, ref. 6.1.

Det ble etablert H₂S-beredskap nivå 3 fra 28.1.2023. Maersk ble mobilisert og utførte regelmessige målinger av væsker og atmosfære.

Integriteten til kveilerøret som hang i CT kileventil i brønnen ble jevnlig sjekket ved å forsiktig prøve å lukke en manuell blindventil i sluserøret. Den 1.2.2023 ble det bekreftet at kveilerøret hadde delt seg og falt i brønnen. Brønnen ble da forskriftsmessig stengt inn med swab-, manuell- og hydraulisk hovedventil og nedihulls sikkerhetsventil.

5.4 Tidslinje

Dato	Tid	Aktivitet	Dybde [m]
05.12.2022		CT opprigging	0
21.12.2022		Run #1 - drift run (venturi)	8476
31.12.2022		Run #2 - perforering	
01.01.2023	16:23	Perforering 1	8450
01.01.2023	16:47	Perforering 2	8442
01.01.2023	21:41	DFIT (pumpet gjennom kveilerør til oppsprekking av formasjonen)	8412
02.1.2023	03:16	POOH inkl- Rosen CT inspeksjon	8412
05.1.2023	17:06	Start mini frac - formasjon plugget	
07.1.2023	04:24	Run #3 - brønnopprensning	8460
17.1.2023	22:10	Mini frakturering - 20 bbl/min	
20.1.2023	21:26	Startet hovedfrakturering	
20.1.2023	23:10	Pressure-out over XT	
21.1.2023	21:28	Run #4 - Brønnopprensning til 1000m (0.2% sitronsyre)	1000
23.1.2023	04:24	Run #5 – Hoved-brønnopprensning	
23.1.2023	14:28	Økt konsentrasjon av sitronsyre til 0.4%	1650
23.1.2023	18:30	Startet POOH (for BOP funksjonstest)	1900
24.1.2023	08:41	Run #6 – Brønnopprensning fortsatte	
25.1.2023	03:51	Wiper trip	2850
25.1.2023	06:56	CT rørbrudd på trommel	1650
25.1.2023	07:11	BHA tilbakeslagsventiler verifisert, brønn sikret	1650
25.1.2023	10:45	Nytt rørbrudd på trommel	
25.1.2023	11:20	Rørbrudd på trommel	
25.1.2023	12:06	Rørbrudd på trommel	
25.1.2023	12:49	Rørbrudd på trommel	
25.1.2023	15:10	Rørbrudd på trommel	
25.1.2023	15:40	Rørbrudd på trommel - strømning fra CT	
25.1.2023	15:42	Stengte rør- & kileventil på CT BOP	
25.1.2023	15:44	Rørbrudd på svanehals	
25.1.2023	15:52	Strømning fra CT ved svanehals - stengte kutte- og blindventil på CT BOP, brønn sikret	

27.1.2023	00:00	Implementerte nivå 3 H ₂ S beredskap
27.1.2023	23:07	Startet fortrenning av MEG m/H ₂ S-fjerner inn i brønn
1.2.2023	23:16	Swab ventil stengt (CT hadde delt seg og falt dypere i brønnen)
2.2.2023	21:36	Nedre hovedventil stengt
2.2.2023	22:34	Stengte og testet hydraulisk hovedventil - OK
3.2.2023	02:45	Stengte og testet nedihulls sikkerhetsventil, 30 min – OK

5.5 Utførte tester og analyser

5.5.1 Materialtesting

Equinor og SLB fikk, uavhengig av hverandre, utført en rekke tester av kveilerøret som feilet. Prøvene ble tatt fra ulike deler av røret som hadde hatt kontakt med injeksjonsvæsker.

Kveilerøret som ble brukt i operasjonen, Duracoil 130, var av typen høyfast, lavlegert stål og er som tidligere nevnt følsomt for hydrogensprøhet, se 4.7. Produsenten har spesifisert følgende mekaniske egenskaper for denne typen kveilerør:

- Minimum flytegrense: 896 MPa / 130 ksi
- Minimum strekkfasthet: 951 MPa / 138 ksi
- Maksimum hardhet: 40 HRC

Begge rapportene konstaterte at materialets mekaniske egenskaper, kjemisk sammensetning og mikrostruktur stemmer overens med det som er opplyst i materialsertifikat fra produsenten.

Testene viste at korrosjonsbelegg inni kveilerør bestod av blant annet svovel, klor og oksygen, element som i seg selv er korroderende, men som også er vanlig korrosjonsprodukt i lavlegert stål. I tillegg ble det funnet spor av H₂S.

Intergranulære sprøbrudd hadde utviklet seg fra innsiden av kveilerøret og vokst utover, dette sammen med funn av svovel og H₂S underbygger at hydrogensprøhet er feilmekanismen. Testrapportene konkluderer med at det er stor sannsynlighet for at SSC, en korrosjonsdrevet form for hydrogensprøhet, er årsaken til bruddene i kveilerøret.

Funn av H₂S bekreftes av analyser gjort av kjemikalieblandingene som ble brukt under operasjonen.

5.5.2 Kjemikalieanalyser

Stimwell rekvirerte, på vegne av Equinor analyser av kjemikalieblandingene benyttet under kveilerørsoperasjonen, for å kartlegge om disse kunne danne H₂S.

Prøver av bærevæske (gel) ble tatt både før og etter hendelsen, disse ble analysert for totalt bakterieinnhold og sulfatreduserende bakterier (SRB). Resultatene tilsa at det er lite trolig at H₂S er dannet bakterielt.

I tillegg ble det etter hendelsen foretatt en rekke forenklete laboratorietester av ulike kjemikalie- og væskeblandinger, tilsvarende de som ble benyttet under kveilerørsoperasjonen.

Analysene viste at H₂S kan dannes raskt og i høy konsentrasjon ved blanding av oksygenfjerner, jern og/eller B282, i sjøvann med allerede tilsatt sitronsyre. Laboratorieundersøkelsene kan tyde på at potensiale for utvikling av H₂S øker ved høyere konsentrasjoner av sitronsyre og oksygenfjerner. Den faktiske kjemiske reaksjonen som førte til utvikling av H₂S er ikke kjent.

6 Hendelsens potensial

6.1 Faktisk konsekvens

Det ble målt ca. 1000 ppm H₂S i prøve som ble tatt fra returstrømmen fra brønnen (måling foretatt i prøveflaske). Det ble også rapportert om rått/H₂S-lignende lukt i forbindelse med håndtering av proppanter som ble rensket ut av brønnen. Personell på dekk ble eksponert for H₂S under avfallshåndtering av returvæsker. Grad av eksponering er vanskelig å estimere, men eksponering over takverdi kan ikke utelukkes.

Hendelsen fikk ingen konsekvenser for ytre miljø.

Etter hendelsen stod det 1600 meter med 2 3/8" kveilerør igjen i brønnen. I tillegg sto brønnen full av proppanter og bærevæske fra 2850m til TD på 8558m. Opprensning av brønn vil være utfordrende og tidkrevende.

Hendelsen medfører betydelig tap i form av utsatt, og mulig tapt, produksjon. I tillegg kommer tap som følge av merarbeid, samt kostnader relatert til skade på utstyr.

6.2 Potensiell konsekvens

Da personell oppdaget det første hullet i kveilerøret, ble det tatt aksjon for å markere hullets posisjon ved hjelp av spraymaling. På dette tidspunktet var det ingen mistanke om at kveilerøret var svekket fra innsiden, og at det ville komme til å sprekke opp. Dersom strengen hadde gått i brudd mens personell befant seg ved trommelen kunne frigjort energi, i form av utløst bøyemoment, påført vedkommende slagskade. Da det

ble observert flere sprekker på kveilerør, ble det besluttet å stenge av området, samt sikre kveilerør på trommel ved hjelp av tversgående bjelker.

Personell kunne blitt eksponert for helsefarlig H₂S ved arbeid rundt trommel på dekk.

7 Direkte og bakenforliggende årsaker

7.1 Direkte årsaker

Den direkte årsaken til hendelsen er SSC forårsaket av H₂S. Det er overveiende sannsynlig at H₂S ble dannet ved en kjemisk reaksjon mellom oksygenfjerner, sitronsyre og jern fra kveilerør (se 5.5), kombinert med sprekkfølsomt materiale og mekaniske spenninger.

7.2 Bakenforliggende årsaker

7.2.1 Bidragsyttere til risiko

7.2.1.1 Blanding av kjemikalier

Væskesystemet som ble brukt under utvasking av propanter og bærevæske ble blandet opp ved at filtrert sjøvann ble hentet fra sjøvannssystemet på Gullfaks C og blandet i mikse- og kompletteringstanker i boremodulen. Sitronsyre i pulverform ble deretter blandet inn til ønsket konsentrasjon. Oksygenfjerner ble injisert inn i pumpelinjen med ferdigblandet sitronsyre før innløpet til kveilerøret. Kjemikalier for hydraulisk friksjonsreduksjon ble også injisert i denne linjen ved behov. Databladet for oksygenfjerner (SAFE-SCAV NA) beskriver at produktet ikke er forenlig med syre og at dette kan danne giftige gasser (uten å spesifisere hvilke). Det ble også bekreftet i intervjuer at oksygenfjerner ikke skal blandes i syre.

Mikseprosedyren har ikke vært i overensstemmelse med de oppgitte spesifikasjonene for produktene og har medført begrenset effekt av oksygenfjerner og potensiell etablering av giftige og korrosive forbindelser i pumpelinjen.

7.2.1.2 Materialvalg og kompatibilitetstesting

Det ble valgt et materiale, Duracoil 130, med høy styrke, men med følsomhet for miljøpåvirkninger, dette inkluderer endrede driftsforhold. Det ble ikke gjennomført tilstrekkelig kompatibilitetstesting som kunne avdekket uønskede effekter mellom kjemikalier og materialer planlagt brukt i brønnen.

Equinor har ikke krav til kompatibilitetstesting mellom væsker som skal brukes i brønn sammen med tredjepartsutstyr, f.eks. kveilerør, i sin styrende dokumentasjon.

7.2.1.3 Planlegging og endringshåndtering

Brønnintervensjonsaktiviteten på Gullfaks C-21A har vært under planlegging siden 2016. Fra oppstart detaljplanlegging i 2018 og frem til januar 2022 deltok Baker Hughes (BH) som leverandør av stimulerings tjenester. I januar 2022 ble det klart at BH kom til å trekke sine stimulerings tjenester ut av Norge. I juni 2022 ble kontrakten med Equinor overtatt av Stimwell. Skifte av leverandør medførte tekniske, organisatoriske og operasjonelle endringer.

Stimwell sine anbefalinger for opprensning etter stimuleringsjobben på Nøkken avviker fra den planen som var utarbeidet mellom BH, SLB og Equinor. Opprinnelig plan var å tilsette korrosjonshemmer sammen med sitronsyre under opprensing av brønn med kveilerør.

I planleggingsprosessen mellom Equinor, Stimwell og SLB ble det besluttet at det skulle pumpes en lavere konsentrasjon av sitronsyre, i intervaller, gjennom kveilerør. Det ble på bakgrunn av dette konkludert med at man ikke trengte å tilsette korrosjonshemmer i væsken.

Beslutningen om å utelate korrosjonshemmer i forbindelse med utrenskingsarbeidet ble ikke fulgt opp med en vurdering av tilhørende risiko, og det foreligger ikke oversikt over forutsetninger som lå til grunn for beslutningen.

Under operasjonen, etter «pressure-out» den 20.1.23, fikk man utfordringer med å bryte opp polymerbindingene i bærevæske på returside. Equinor, sammen med involverte aktører besluttet å tilsette sitronsyre kontinuerlig på tilførselside gjennom kveilerør, for å øke reaksjonstid mellom bærevæske og sitronsyre. Endringslogg fra Equinor viser at beslutningen ikke ble behandlet og risikovurdert.

Som følge av de operasjonelle utfordringene med utrensning av proppanter ble det tatt beslutninger som i ettertid antas å ha vært utslagsgivende for hendelsen. Endringene ble gjennomført som svar på konkrete operasjonelle problemer, men ikke risikovurdert i sammenheng med tidligere identifiserte begrensninger (for materialet), eller i forhold til hverandre.

«Pressure-out» er en kjent problemstilling i forbindelse med proppantfrakturering. At brønn ble fylt helt opp med proppanter var medvirkende faktor til hendelsen. Plan for håndtering av full «pressure-out» til overflaten var ikke ferdigstilt før operasjonen og heller ikke verifisert.

7.2.2 Organisering og grensesnitt

Boring, komplettering og stimulering av Nøkken har vært under planlegging siden 2016. Boring av brønnen, som sidesteg ut av C-21, startet i 2020. Først høsten 2022 stod brønnen klar for intervensjon som del av proppantfrakturering.

I løpet av perioden fra 2016 og frem til 2022 har prosjektet gått fra konseptvalg til detaljplanlegging. Underveis i denne prosessen, og gjennom Covidpandemien, har Equinor gjennomgått større organisasjonsendringer. Ifølge intervjuer ble personell, knyttet til oppfølging og planlegging av den aktuelle operasjonen, både i SLB og Equinor skiftet ut flere ganger underveis.

SLB var hovedleverandør av tjenester som omfattet pumping, testing, kveilerør og kjemikalier. Våre intervjuer avdekket manglende koordinering av aktiviteter, ansvarsforhold og leveranser internt i SLB. Det ble ikke foretatt en overordnet og felles gjennomgang, på tvers av alle avdelinger med oppgaver inn mot intervensjonsaktiviteten, som kunne avdekket problemstillinger knyttet til væskekompatibilitet og materialbegrensninger.

Oksygenfjerner, kjemikalier for friksjonsreduksjon og flytende sitronsyre var planlagt brukt i operasjonen. Underveis ble det klart at behovet for syre var høyere enn forventet og det ble derfor besluttet å ta i bruk sitronsyre i pulverform. Pulveret ble tilsatt ubehandlet sjøvann mottatt fra Equinor drift og mikset opp i kompletteringstankene. Oksygeninnholdet i vann bidrar til et miljø sårbart for korrosjon. Det var derfor planlagt bruk av oksygenfjerner. Det gikk frem av intervjuer og dokumentasjon at sitronsyre i pulverform ble tilsatt sjøvann før tilsetning av oksygenfjerner. Ifølge sikkerhetsdatablad vil det dannes giftig gass dersom oksygenfjerner blandes med sure løsninger og dette frarådes. Denne informasjonen ble ikke oppfattet og tatt til følge av de involverte parter. Det kom frem av intervjuer og dokumentgjennomgang at SLB ikke i tilstrekkelig grad hadde verifisert kompatibilitet mellom kjemikalier og materialer de hadde levert og tatt i bruk. Det var heller ikke sikret at nødvendig informasjon om kjemikaliene og nødvendige forholdsregler ble formidlet til utførende enhet.

Materialvalg for kveilerør ble tatt i 2019. Valget var styrt av lengde på brønn og krav til materialstyrke. Materialets begrensninger relatert til korrosjon var identifisert og diskutert ved tidspunkt for materialvalg. Valg av utrenskingsvæsker ble tatt først tre år senere. Tett opp mot oppstart av operasjonen ble fraktureringsentreprenør, som opprinnelig var Baker Hughes, skiftet til Stimwell. I de nye anbefalingene fra Stimwell, ble konsentrasjon av tilsatt sitronsyre redusert, samtidig som korrosjonshemmer ble ekskludert fra intervensjonsprogrammet.

Disse endringene ble ikke tilstrekkelig endringsbehandlet av SLB og Equinor, eller vurdert mot materialvalg som lå langt tilbake i tid og som dermed ikke ble hensyntatt.

Kombinasjon og pumperekkefølge av væsker og materiale var utslagsgivende for hendelsen. Det er sannsynlig at endringer knyttet til ansvar for planlegging og gjennomføring, samt organisatoriske og administrative utfordringer knyttet til kommunikasjon av risiko har bidratt til at hendelsen kunne få utvikle seg.

7.2.3 Kapasitet og kompetanse

I intervjuer kom det frem at kveilerør er en relativt lite brukt intervensjonsmetode i Equinor de senere årene og at selskapet har begrenset med erfaring fra denne type intervensjon i både plan- og operasjonssenteret som hadde ansvar for aktiviteten.

Både utførende og ledende personell i plansenteret med ansvar for operasjonen tiltrådte høsten 2022. Nøkkelpersonell både hos kveilerørsleverandør og i Equinor ble omroket så sent som i oktober 2022. På dette tidspunktet gjenstod det fortsatt en god del arbeid før aktivitetsprogrammet kunne signeres ut. Det kom frem i intervjuer at det ved flere anledninger ble etterspurt støtte til Equinor sitt plansenter, både på bakgrunn av arbeidsomfang, men også på bakgrunn av erfaring, uten at dette ble fulgt opp før sent i planleggingen.

Den nye bemanningsmodellen til Equinor innebærer at et plansenter med dedikerte ingeniørressurser jobber frem aktivitetsprogram som overtas av operasjonssenter når aktiviteten skal gjennomføres. Modellen fordrer at det er tilstrekkelig kapasitet og kompetanse i begge sentre og at overlevering av dokumentasjon og planer ivaretar risiko og usikkerhet knyttet til aktiviteten.

Det kom frem under intervjuene at modellen ikke ble fulgt på grunn av lav grad av kveilerørserfaring i selskapet. Det ble derfor besluttet at ingeniøren med ansvar for planlegging skulle følge brønnen gjennom både plan- og operasjonsfase. Vedkommende ingeniør ble imidlertid ikke fritatt fra sine oppgaver knyttet til planlegging av nye intervensjonsjobber mens vedkommende støttet operasjonen.

Brønnen har hatt høy grad av oppmerksomhet i Equinor, både på grunn av kompleksitet, men også på grunn av dens betydning for Gullfaks-feltets levetid. Equinor har ekspertgrupper som skal støtte plan- og operasjonssentre med erfaring der aktiviteten er av spesielt utfordrende karakter. Til tross for at intervensjonsmetoden er lite brukt i selskapet, har de ikke sikret tilstrekkelig ekspertstøtte til plansenteret.

7.2.4 Lignende hendelser

En hendelse på Martin Linge-feltet i 2017 har likheter med denne og læring fra denne hendelsen kunne bidratt til økt oppmerksomhet rundt pumping av syre gjennom lavlegert kveilerør med høy mekanisk styrke. Equinor var partner på Martin Linge og hadde tilgang på rapporten som kom ut etter denne hendelsen.

8 Beredskap

Da hendelsen med brudd på kveilerør oppstod reagerte mannskap hurtig og riktig med sikring av brønn i henhold til prosedyre;

- Lukket rør- og kileventil på CT BOP ved brudd på overflaten, testet tilbakeslagsventiler.
- Sperret av området.
- Kuttet kveilerør med kutteventil på CT BOP da brudd oppsto i brønnen.
- Sikret kveilerør på trommel.

Bilde 4 viser rørstump som ble hentet ut av brønnen etter normalisering. CT BOP kutteventil har skåret av røret og etterlatt det med god mulighet for fortsatt sirkulering via CT BOP drepelinje.



Bilde 4 - Rørstump etter kutt med CT-BOP (NOV)

9 Observasjoner

Ptils observasjoner deles generelt i to kategorier:

- Avvik: I denne kategorien finnes observasjoner hvor Ptil har konstatert brudd på regelverket.
- Forbedringspunkt: Knyttes til observasjoner hvor vi ser mangler, men ikke har nok opplysninger til å kunne påvise brudd på regelverket.

10 Avvik

10.1 Planlegging av aktiviteten - Equinor

Avvik

Ved planlegging av brønnintervensjon i brønn C-21 på Gullfaks C hadde ikke Equinor sikret at viktige bidragsyttere til risiko ble holdt under kontroll, både enkeltvis og samlet. Problemstillinger som angår helse miljø og sikkerhet var ikke allsidig og tilstrekkelig belyst før beslutninger knyttet til brønnintervensjonen ble truffet.

Begrunnelse

Ved kombinasjon av valgt materiale i kveilerør og kjemikalier som ble tilsatt ifm. brønnopprensningen, ble ikke risiko for sulfid spenningskorrosjon og kjemiske reaksjoner som kan bidra til risiko for dette holdt under kontroll, hverken enkeltvis eller samlet.

Det ble benyttet kveilerør av høyfast stål, som er følsomt for sulfid spenningskorrosjon (Sulfide Stress Cracking – SSC). Materialets begrensninger relatert til korrosjon var identifisert og diskutert på tidspunktet for materialvalget. Ved valg og endringer av kjemikalier i intervensjonsprogrammet ble ikke begrensningene for det valgte materialet og risiko for korrosjon og helseskadelig eksponering vurdert og tatt hensyn til.

Equinor sitt styringssystem (TR 3532) har krav til testing mellom væsker og Equinor-eid brønnutstyr, men ikke til tredjepartsutstyr som ikke er permanent installert i brønnen. På forespørsel kunne det ikke legges frem dokumentasjon på kompatibilitetstesting mellom væsker som ble brukt i brønnen sammen med kveilerøret (tredjepartsutstyr).

Underveis i planleggingen ble det gjort endringer i prosjektorganiseringen ref. 7.2.2 Det ble også gjort flere endringer i operasjonsprosedyren for brønnintervensjonen. Opprinnelig valg av opprenskningskjemikalier ble endret etter skifte av stimuleringsleverandør. I planleggingsprosessen mellom Equinor, Stimwell og SLB ble det besluttet at det skulle pumpes lavere konsentrasjon av sitronsyre, gjennom kveilerøret i intervaller, og konkludert med at man ikke trengte å tilsette korrosjonshemmer i væske. Under operasjonen, besluttet Equinor, sammen med involverte aktører, å tilsette sitronsyre kontinuerlig på tilførselside gjennom kveilerøret, for å øke reaksjonstid mellom brønnvæske og sitronsyre. Endringslogg fra Equinor viser at denne beslutningen ikke ble behandlet og risikovurdert.

Mikseprosedyren for kjemikaliene var ikke i overensstemmelse med anbefalinger angitt i sikkerhetsdatablad for produktene, ref. avvik 10.2.

Endringene ble gjennomført som svar på konkrete operasjonelle problemer, men ikke risikovurdert i sammenheng med tidligere identifiserte begrensinger (for materialet), eller i forhold til hverandre.

Krav

Aktivitetsforskriften § 29 første ledd jf. innretningsforskriften § 12 bokstav e
Styringsforskriften § 11, første ledd

10.2 Informasjon og grensesnitt - SLB

Avvik

SLB hadde ikke sikret at nødvendig informasjon knyttet til kompatibilitet og mikseprosedyrer for kjemikalier som ble brukt i brønnintervensjonen var bearbeidet og formidlet til relevante brukere.

Begrunnelse

Både valg av kjemikalier og valg av mikse- og pumpeprosedyre hadde effekt på utvikling av hendelsen. Ulike avdelinger i SLB leverte kjemikalier som ble brukt under operasjonen uten samordnet kontroll. Gjennom intervjuer kom det frem at egenskapene til kjemikalier som ble levert av en SLB-avdeling ikke ble gjennomgått og hensyntatt av avdelingen som var sluttbruker av kjemikaliene. Det kom frem i intervjuer at det er lite samhandling og informasjonsflyt mellom de ulike avdelingene i SLB, slik at den nødvendige informasjonen, herunder kjemikalienes egenskaper, ikke ble formidlet til relevante brukere.

I sikkerhetsdatablad for oksygenfjerner var det beskrevet at det kunne dannes farlige gasser ved blanding i sure løsninger, uten at det fremgikk hvilke. Det kom heller ikke frem at ved blanding i sur løsning ville effekten av kjemikaliet reduseres.

Krav

Styringsforskriften §15 Informasjon, andre ledd

11 Forbedringspunkt

11.1 Kapasitet og kompetanse - Equinor

Forbedringspunkt

Equinor synes ikke å ha stilt de ressursene som var nødvendige for å utføre brønnintervensjonsaktiviteten til rådighet for prosjektorganisasjonen.

Begrunnelse

Intervensjonsaktiviteten på Gullfaks C var en omfattende aktivitet, og hadde høyt fokus i selskapet, både på grunn av kompleksiteten og på grunn av brønnens økonomiske betydning for lønnsomheten på Gullfaksfeltet. Planleggingen av aktiviteten strakte seg

over en lang tidsperiode, og i kombinasjon med endring av organisering og utskiftninger av nøkkelpersonell gjorde dette at det var utfordrende å ha oversikt over, samt ta hensyn til, alle risikobidrag. Personell fra Equinors plansenter måtte i dette tilfellet følge brønnintervensjons-aktiviteten videre til operasjonsfasen på grunn av manglende kapasitet i enhetene knyttet til kveilerørsoperasjoner. Det kom frem intervju at personell som jobbet innen brønnintervensjon opplevde høyt arbeidspress, og liten tilgang på ekspertise på spesifikke fagfelt, til tross for forespørsler om støtte til plansenteret i forkant av aktiviteten

Krav

Styringsforskriften §12 Planlegging, andre ledd

11.2 Manglende læring fra lignende hendelser - Equinor

Forbedringspunkt

Det synes ikke som om Equinor hadde lagt til rette for at erfaringskunnskap fra egen og andre virksomhet ble brukt i forbedringsarbeidet.

Begrunnelse:

Det er likheter mellom Martin Linge- og Gullfaks C hendelsene, som lik materialkvalitet i kveilerør og bruk av syre under pumping ned kveilerør. Equinor var lisenspartner på Martin Linge under hendelsen i 2017. Equinor sin organisasjon innen planlegging og utførelse av intervensjonsaktiviteten på C-21A hadde ikke kjennskap til Martin Linge hendelsen. Det er lite læring på tvers, i form av industriforum eller tilsvarende, mellom operatører og leverandører innen brønnintervensjon.

Krav:

Styringsforskriften §23 om kontinuerlig forbedring, tredje ledd

12 Barrierer som har fungert

I etterkant av hendelsen ble det tatt aksjon for å hindre at skade på personell og eksponering for H₂S (ref. 6.2). Brønnen ble forskriftsmessig sikret med shear/blind ram på CT-BOP uten unødig opphold (ref. 5.34).

13 Diskusjon omkring usikkerheter

13.1 Prøver tatt av returstrøm

Det er uklarerheter relatert analyser av returvæske i etterkant av hendelsen. Det er brakt på det rene at det ble utført H₂S målinger av returvæske på laboratoriet om bord på

Gullfaks C og at resultatene ble diskutert med ekspertise i landorganisasjonen, men det er uklart hvordan prøvene ble behandlet og ivaretatt i etterkant. Resultatene fra disse prøvene kan derfor ikke verifiseres.

13.2 Utslagsgivende kjemisk reaksjon

Laboratorietester viser at en får dannelse av H₂S ved bruk av kjemikalier brukt ved denne hendelsen, men den konkrete kjemiske reaksjonen er ikke avdekket.

14 Vurdering av aktørens granskingsrapport

Equinor har gjennomført en egen konserngransking (nivå 3) av hendelsen. Granskingsgruppen bestod av medlemmer fra både Equinor og SLB. SLB deltok med to fageksperter og koordinerende hovedverneombud. Granskingsrapporten fremstår som omfattende og grundig. Funn og forslag til tiltak sammenfaller i stor grad med resultatene fra PTILs gransking.

15 Vedlegg

A: Opprigging på brønn

B: Dokumenter som er lagt til grunn i granskingen

Vedlegg B - Dokumenter som er lagt til grunn i granskingen

1 - Equinor PDP DW Org Chart.pdf
1 - Schlumberger Specification for Coiled Tubing_AJ_4880179_01.pdf
11 - TR3508 H2S Contingencies for drilling and well activities.pdf
13 - Tillegg til Beredskap på norsk sokkel - Gullfaks C.pdf
2 - Material Certification-10346.pdf
2 - POB 25.01.2023.pdf
20-VA05 er nå frigjort fra C-21 inntil videre..pdf
2733_34_11_2_S_COMPLETION_REPORT_AND_COMPLETION_LOG.pdf
3.1 - ACP CT Pipe_7528358_01 (1).pdf
3.2 - TFM_CoILIMIT_Analysis_5435102_01_6083286_01.pdf
34_11-2S OD.pdf
4.1 - Equinor_Gullfaks_C-21A_17Jun2020_Rev.1 Jesus Campos.docx
4.2 - Equinor_Gullfaks_C-21A_19 October 2022_Rev.1.1 Jorge Pedro.docx
6 - 230051 Global Tubing- Failure Analysis on String 10346 Rev 1.pdf
9 - App. D Sikkerhetsstrategi for GFC.pdf
ARIS - DW400.pdf
ARIS - DW410.pdf
ARIS - DW411.pdf
ARIS - DW412.pdf
ARIS - DW413.pdf
ARIS - DW414.pdf
B - 3.1 - Well Concept Report RE-NOKKEN-00014_01 - Final, with QA matrix.pdf
B - 3.2 - Nøkken DW Input Rank And Select Concept DW611_07.pdf
B - 3.3 - PM656-PMS-050-007_02 Design basis Nøkken.pdf
B - 4 - Well Drawing GF C-21 A Nøkken Final.pdf
B - 7.1 - DW602 - Activity program Drilling and Completion- 34_10_C-21A Nøkken.pdf
B - 7.2 - Amendment to Gullfaks C - C-21 A - Activity program_signed.pdf
B - 7.3 - RiskRegister Drilling planning.pdf
B - 7.4 - RiskRegister drilling Execution.pdf
B282.pdf
Best practice - Supplier information sheet_.xlsm
bilde av CUB og dræger 5600.jpg
Bilder perf assy. Perf run #1.pdf
BR-ELT.pdf
C-21_ Propanter på rømmen .pdf
C21A Investigation - Final-Released (Equinor).pdf
Cabsheet Equinor GFC1 .xlsm
CITRIC ACID.pdf
D21D.pdf
DailyAnalysisNOView (64).pdf
DailyAnalysisNOView (65).pdf
Dokumentasjon vedr brønnhendelse brønnkontrollhendelse Gransking - Equinor Gullfaks C - Brudd i CT streng 25012023.pdf
Dokumentliste.docx

Dræger Polytron 8000.pdf
DTI Report - 1.pdf
DTI Report - 2.pdf
DTI Report - 3.pdf
DTI Report - 4.pdf
DUO-TEC L.pdf
DW400 - Intervention concept risk analysis.pdf
DW400 - Intervention operational risk analysis.pdf
DW702.04 - Drilling and completion design.pdf
DW914 - Select and order materials and services.pdf
EQN Nokken Z1 - Main Job (Design vs Actual).xlsx
EQN Nokken Z1 Minifrac#1 Design vs Actual.xlsx
Extended Length CT String and iFC Power Price Proposal.pdf
Ferdig med utsirkulering av 25 m3 _MEG-mix_ i C-21.pdf
Flowback GFC21 events log sampling.pdf
G10U Utstyrskaft.pdf
G22U Utstyrskaft.pdf
GFC - DFU H2S (fra 2013 - dd).pdf
GFC - H2S fritekstsøk (fra 2013 - dd).pdf
Granskningsrapporter wireline and coil tubing operations Martin Linge 2017.pdf
Graph Flowback side.pdf
Gullfaks C - Dokumentasjon - Synergi H2S.msg
Gullfaks C - Dokumentoversikt gransking brønnkontroll hendelse - Sendt 08.02.2023.pdf
Gullfaks C - Oversikt over væskeprøver og analyser.msg
H2S måling i prosess.pdf
SLB shift handovers 23.12.22-31.1.23
I - 10.1 - Changelog GFC-21.pdf
I - 10.2 C-21 A Changelog - MoC 16 to 28.pdf
I - 12 - H2S contingency plan (example).pdf
I - 5.1 - Handover+WBS_Gullfaks_C-21_rev.20.pdf
I - 5.2 - WBS CT ops _Gullfaks_C-21_rev.20.pdf
I - 6.1 - CT Line Schematic Rev 27.pdf
I - 6.2 - Stack up As build 29.12.22 C-21, Rev 15.pdf
I - 8 - GF C-21 A Nøkken Intervention scope - concept selection and activity program (Signed Program_2022).pdf
I-9 - DOP readme.pdf
I-9 - DOP-02_Drift Run 1_3.125 Venturi Junk Basket & 3.750 Drift Shoe. rev.pdf
I-9 - DOP-03 - Perforate bottom interval_Rev.8.pdf
I-9 - DOP-04 - mini frac, SRT and main frac - GFC-21 A Nøkken rev.6.pdf
I-9 - DOP-05 - Post Frac Cleanout_rev.7.pdf
I-9 - DOP-05.1 - Post Frac Cleanout_Screenout Contingency_05Aug20_v2.pdf
I-9 - DOP-05.1.1 - Post Frac Cleanout_Screenout Contingency_Reestablish barriers.pdf
I-9 - DOP-05.1.2 - Post Frac Cleanout to TD.pdf
I-9 - DOP-05.2 - Post Mini Frac Cleanout_Screenout Contingency-rev5.pdf
I-9 - DOP-05.3 - Bullhead TSW_ADD.pdf

Bilder
iptc-21826-ms.pdf
Jetta VA05, 480 m3.pdf
Latest Stack up C 21 GFC.pdf
Line sheematic Rev 27 GFC.pdf
M296.pdf
Material Certification-10346.pdf
MEG.pdf
måler til å ha på kjeledress.jpg
Nokken Startup Presentation_16092019.ppt
Nokken Zone 1 - Consolidated Job Data.pdf
Optiseal.pdf
Org chart C-21 Well intervention planning and execution.pdf
Oversikt DW400.pdf
Oversikt over væskefordeling i brønn gjennom ulike faser.xlsx
RE_ Gullfaks C - Navn .msg
ReportExtended.xlsx
Request for equipment info from Slb Reel diameter vs coil diameter.msg
Risikovurdering for bruk av Sodium Persulphate.pdf
Run # no 3 – Cleanout mini frack.docx
Run #4 and #5 chemicals.docx
SAFE-SCAV NA.pdf
SCALEGUARD_4.1_EU.pdf
SDS CITRIC ACID.pdf
SDS Kryptosphere.pdf
Shacerrom D21M.pdf
SI-4130.pdf
SI-4154.pdf
Sikkerhetsdatablad for grotan ox.pdf
Sirkulasjonssystem.pptx
slamtankrom D11.pdf
Sodium Persulphate.pdf
Star-Lube.pdf
Stimwell chemical information.pdf
Sys 13 - C-21 Stopp i coil tubing operasjon. Brønnskroll.pdf
Sys 13_20 - Tilbakestrømning C-21 pågår..pdf
Sys 44 - Åpnet vannutløp 2.trinn B da det ble stopp i CT operasjon og tilbakestrømning.pdf
T140a_Vandig_løsning-NO_nb_NO-25054.pdf
TR3504 Well Intervention operations.pdf
TR3532 - Selection and treatment of workover completion and stimulation fluids and scale treatment chemicals to avoid corrosion failure.pdf
TR3544 Well Intervention equipment and personnel markert EV.pdf
UK - 3% KCL-B - SDS20214.pdf
UK - BF-10L - SDS10049.pdf
UK - BF-H - SDS10021.pdf

UK - BR-ELT - SDS10024.pdf
UK - BR-HT-M - SDS10005.pdf
UK - BR-SPL - SDS10035.pdf
UK - Grotan OX - SDS20245.pdf
UK - GS-HTL - SDS10055.pdf
UK - LGC-H-M318 - SDS20227.pdf
UK - NE-G2W - SDS20167.pdf
UK - StimBor-HXXF (generic) - SDS20305.pdf
UK - StimGel-HXXF (Generic) - SDS20306.pdf
UK - XLB-D-GOX - SDS20243.pdf
WCI ONE PAGER (ext) - Parted CT string - Gullfaks C - C-21 A.pdf