



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering Industriell økonomi/Prosjektledelse	Høstsemesteret, 2018 Åpen
Forfatter: Michael Behzadi Pettersen	<i>Michael B. Pettersen</i> (Forfatter)
Fagansvarlig: Finn Harald Sandberg Veileder(e): Finn Harald Sandberg	
Tittel på masteroppgaven: Prioritering av korrektivt vedlikehold av tekniske barriereelementer i driftsfasen Engelsk tittel: Prioritization of corrective maintenance on technical barrier elements in operation phase	
Studiepoeng: 30SP	
Emneord: Barrierer, barriereelementer, barrierefunksjoner, barrierestyring, konsekvensklassifisering, kritikalitet, prioritering, vedlikehold, vedlikeholdsstyring, vektet viktighet.	Sidetall: 83 + vedlegg/annet: 1 Stavanger, 09/12/2018

Forord

Denne rapporten er basert på en kombinasjon av tilgjengelig litteratur og erfaring fra olje- og gassindustrien. Motivasjonen bak problemstillingen som rapporten er bygget på, har sitt utspring i utfordringer som undertegnede selv har erfart i arbeidslivet. I forbindelse med arbeidet som er lagt ned, har potensielt sensitiv selskaps- og innretningsspesifikk data blitt gjort tilgjengelig av et operatørselskap på norsk sokkel. Det rettes en takk til operatørselskap som er anonymisert i denne rapporten etter eget ønske.

Det rettes en takk til veileder, Finn Harald Sandberg, for veiledning og gode råd som har vært med å styrke gjennomføringen av arbeidet. Rapporten er skrevet mens undertegnede har hatt full jobb og det rettes følgelig en takk til kollegaer som har vist forståelse og bidratt med innspill.

Michael Behzadi Pettersen
09.12.2018, Stavanger

Sammendrag

I norsk petroleumsvirksomhet stilles det krav til operatørselskaper om sikker og effektiv utnyttelse av ressurser og verdiskapning. Dette innebærer regelverkskrav til helse, miljø og sikkerhet som skal ivaretas på olje- og gassinnretninger i driftsfasen. Kravene er forankret i regelverket til Ptil (Petroleumstilsynet) og er i hovedsak utformet med funksjonskrav som viser hvilket sikkerhetsnivå som skal oppnås [4]. Mange av kravene suppleres med henvisninger til industristandarder og normer [4].

Det foreligger ulik praksis og tilnærminger blant operatørselskapene i forhold til å ivareta funksjonskravene til vedlikehold-, risiko- og barrierestyring som er relevante elementer i denne rapporten. Ptil fører risikobaserte tilsyn med operatørselskapenes etterlevelse av krav og gir ut rapporter der tilsynsaktivitetene blir oppsummert [54]. Rapportene danner grunnlag for å bestemme hvordan avvik, forbedringspunkter og funn skal følges opp [54]. Disse er tilgjengelige for offentligheten og noen av disse er benyttet som argument på utfordringer i industrien i denne rapporten. Funn har tidligere vist at olje- og gassindustrien har utfordringer med prioritering av korrektivt vedlikehold [5]. Dette er av særlig interesse for barrierestyring, da vedlikehold bidrar til å verifisere, opprettholde og gjenopprette ytelsen til barrierer [2].

I rapporten er det forsøkt å identifisere en metode som forbedrer generering av vedlikeholdsfrister for korrektivt vedlikehold på tekniske barrierelementer i driftsfasen. Hensikten er å behjelp prioriteringen av «det viktigste av det viktige» først ved å optimalisere systemet for kalkulering av vedlikeholdsfrist. En oppdatert prioriteringsmatrise er foreslått og bygger på funn som er gjort i rapporten. Funnene er basert på litteratur og en eksisterende metodikk for en anonymisert innretning på norsk sokkel. Prioriteringsmatrisen genererer vedlikeholdsfrister basert vurderinger omkring vektet viktighet av det tekniske barrierelementet, feilpåvirkning og feilutviklingspotensial.

Innhold

Kapitler og delkapitler

Forord	2
Sammendrag	3
Innhold	4
<i>Kapitler og delkapitler</i>	4
<i>Figurer</i>	5
<i>Tabeller</i>	6
1. Innledning	7
1.1 <i>Bakgrunn</i>	7
1.2 <i>Regelverkskrav</i>	9
1.3 <i>Formål og avgrensning</i>	10
1.4 <i>Definisjoner og forkortelser</i>	11
2. Metodikk	15
2.1 <i>Fremgangsmåte</i>	15
2.2 <i>Bedriftsinterne datakilder</i>	15
3. Vedlikehold	17
3.1 <i>Typer av vedlikehold</i>	17
3.2 <i>Vedlikeholdsstyring</i>	18
3.3 <i>Pålitelighetsstyrt vedlikehold, FMEA og FMECA</i>	20
3.4 <i>Konsekvensklassifisering</i>	22
3.5 <i>Feilpåvirkning, feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist</i>	24
3.6 <i>Prioritering basert på kvantifisering av feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist</i>	27
4. Barrierer	28
4.1 <i>Barrierestyring</i>	28
4.2 <i>Barrierefunksjoner og barriereelementer</i>	30
4.3 <i>Annet sikkerhetskritisk sikkerhetsutstyr</i>	33
4.4 <i>Overvåking av status på barrierefunksjoner og barriereelementer i drift</i>	34
5. Innretningsspesifikk prioritering	37
5.1 <i>Introduksjon</i>	37
5.2 <i>Rapportering av feil på tekniske barriereelementer</i>	37
5.3 <i>Konsekvensklassifisering og feilkritikalitet</i>	38
5.4 <i>Barrieretilstandspanel</i>	40
5.5 <i>Prioritering av korrektivt vedlikehold</i>	46
5.6 <i>Observasjoner i kalkulert prioriteringsmetodikk</i>	47
6. Drøfting	52
6.1 <i>Generelt</i>	52
6.2 <i>Egenskaper ved modellene (kumulert kritikalitet og barrieretilstandspanel)</i>	53
6.3 <i>Feilutviklingsperiode</i>	58
6.4 <i>Vektet viktighet</i>	59
6.5 <i>Behov for helhetlig tankegang</i>	60
7. Forslag til optimalisering av prioriteringsmatrise	62
7.1 <i>Metodikk</i>	62

7.2	<i>Forslag til prioriteringsmatrise</i>	66
7.3	<i>Analysegruppe</i>	67
7.4	<i>Anvendelsesområde</i>	69
7.5	<i>Begrensninger i oppdatert prioriteringsmatrise</i>	69
7.6	<i>Konkret eksempel på bruk av ny prioriteringsmatrise</i>	70
8.	Konklusjon	78
8.1	<i>Forslag til videre arbeid</i>	78
8.2	<i>Oppsummering og konklusjon</i>	79
9.	Referanser	80
	Vedlegg A – Beregning av forskjellige utfall av kalkulert vedlikeholdsfrist	84

Figurer

Figur 1 - Typer av vedlikehold [22]	18
Figur 2 - Styringsløyfa [14]	19
Figur 3 - Eksempel på arbeidsark i en FMECA-analyse [28]	22
Figur 4 - Konsekvensklassifiseringsprosessen [14]	23
Figur 5 - Identifisere, vurdere og håndtere behov for barrierer [2]	29
Figur 6 - Regelverkets inndeling i risikoreduksjon og barrierer for skade, feil og fare- og ulykkessituasjoner [2]	30
Figur 7 - Eksempel på barrieregrid for et prosessområde på en innretning [33]	30
Figur 8 - Barrierehierarki [2]	31
Figur 9 - Ytelseskrav i regelverk, ISO 13702 og Norsok S-001 [12]	32
Figur 10 - Inndeling av utstyr i sikkerhetsutstyr og tekniske barrierelementer	34
Figur 11 - Håndtering av barrierer i driftsfase [11]	35
Figur 12 - Rapporteringsvindu for en notifikasjon i CMMS [21]	38
Figur 13 - «Contributors» -visning i barrieretilstandspanel [35]	41
Figur 14 - «Barrier View» visning i barrieretilstandspanel [35]	42
Figur 15 - Barrieregrid for prosess hoved- og øvredekk [35]	43
Figur 16 - Barrierediagram for "BF 2a Limit size of HC-leak from process equipment" i hovedområdet prosess hoved- og øvredekk [35]	44
Figur 17 - Forskjeller i kalkulert feilkritikalitet og barrierestatus ved SFA satt lik sann	50
Figur 18 - Forskjeller i kalkulert feilkritikalitet og barrierestatus ved SFA satt lik usann	50
Figur 19 - Feilutviklingsperiode (modifisert figur fra [40])	58
Figur 20 - Rangering av feilutviklingsperiode [40]	59
Figur 21 - Informasjon benyttet i eksisterende prioriteringsmatrise	62
Figur 22 - Informasjon benyttet i oppdatert prioriteringsmatrise	63
Figur 23 - Komponentfeilmode for teknisk barrierelement og kritikalitetsscore av feilutviklingspotensial	64
Figur 24 - Oppdatert prioriteringsmatrise	66
Figur 25 - Barrierediagram for "BF 3 Prevent ignition of HC-leak" i hovedområdet prosess hoved- og øvredekk [35]	71
Figur 26 - Sammenligning av kalkulert vedlikeholdsfrist	74
Figur 27 - Sammenligning av kalkulert vedlikeholdsfrist	75
Figur 28 – Reduksjon i kalkulert vedlikeholdsfrist	76
Figur 29 - Kalkulert vedlikeholdsfrist for ulike kombinasjoner av feilpåvirkning, redundansgruppe, vektgruppe	84

Tabeller

Tabell 1 - Definisjoner	12
Tabell 2 - Forkortelser	13
Tabell 3 - Bedriftsinterne datakilder	15
Tabell 4 – Konsekvensklassifisering [14]	23
Tabell 5 - Feilpåvirkning [14]	25
Tabell 6 - Feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist [14]	25
Tabell 7 – Redundansgruppe [14]	25
Tabell 8 - Prioriteringsmatrise	26
Tabell 9 - Prioriteringsmatrise med vedlikeholdsfrister	26
Tabell 10 - Sikkerhetskritisk svikt av teknisk barrierelement [16]	33
Tabell 11 - Eksempler på samlet konsekvensklassifisering for tekniske barrierelementer og annet sikkerhetsutstyr [21]	39
Tabell 12 - Prioriteringsmatrise for tekniske barrierelementer og annet sikkerhetsutstyr	39
Tabell 13 - Tidsfristintervall for forskjellige konsekvens av feil	39
Tabell 14 - Barrierestatus på notifikasjon ved re-prioritering [19]	40
Tabell 15 - Barrierestatus på notifikasjon uten re-prioritering [19]	40
Tabell 16 – Aggregering av barrierefunksjonsstatuser til hovedområde [19]	42
Tabell 17 - Aggregering av barrierestatuser for tekniske barrierelementer til barrierefunksjon [19]	45
Tabell 18 - Eksempler på vektet viktighet av teknisk barrierelement [19]	45
Tabell 19 - Prioriteringer for notifikasjoner med SFA satt lik sann, som ikke er re-prioritert	48
Tabell 20 - Prioriteringer for notifikasjoner med SFA satt lik sann, som er re-prioritert	49
Tabell 21 - Prioriteringer for notifikasjoner med SFA satt lik usann, som ikke er re-prioritert	49
Tabell 22 - Prioriteringer for notifikasjoner med SFA satt lik usann, som er re-prioritert	49
Tabell 23 - Vektgruppeinndeling av vektet viktighet	65
Tabell 24 - Vurdering av tekniske barrierelementer som inngår i realisering av delfunksjon "Cool down of hot surfaces"	72

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

I norsk petroleumsvirksomhet stilles det krav til operatørselskaper om å sørge for sikker og effektiv utnyttelse av ressurser og verdiskapning. Dette innebærer regelverkskrav til helse, miljø og sikkerhet som skal ivaretas på olje- og gassinnretninger i driftsfasen. Barrierestyring er et sentralt begrep i bransjen og det overordnede fokuset til Ptil (Petroleumstilsynet) er at barrierer skal ivaretas på en helhetlig og konsistent måte, slik at risiko for storulykker reduseres så langt som mulig [1]. Vedlikehold har herunder sentrale bidrag til sikkerhet og barrierestyring i driftsfasen ettersom vedlikehold bidrar til å verifisere, opprettholde og gjenopprette ytelsen til barrierer [2].

Kravene er forankret i regelverket til Ptil og er i hovedsak utformet med funksjonskrav som viser hvilket sikkerhetsnivå som skal oppnås [4]. Mange av kravene suppleres med henvisninger til industristandarder og normer [4]. Det foreligger forskjellig praksis og tilnærminger blant operatørselskapene for å ivareta funksjonskravene til blant annet vedlikeholdsstyring og barrierestyring. Dette følges opp ved at Ptil fører risikobaserte tilsyn med operatørselskapenes etterlevelse av krav [54]. Tilsynsaktivitetene blir oppsummert i rapporter som danner grunnlag for å bestemme hvordan avvik, forbedringspunkter og funn skal følges opp [54]. Rapportene er allment tilgjengelige og kan brukes av operatørselskaper i bransjen for å ta læring av påpekte funn og avvik, som utgangspunkt for forbedring.

I forbindelse med prosjektet *Vedlikehold som virkemiddel for å forebygge storulykker; vedlikeholdsstatus og utfordringer i den forbindelse* ble SINTEF gitt i oppdrag å oppdatere status for vedlikeholdsstyringen i petroleumsvirksomheten, med utgangspunkt i betydningen av vedlikehold for forebygging av storulykker [5]. I 2007 ble arbeidet oppsummert i en rapport der noen av de gjennomgående avvikene er [5]:

- Mangelfull klassifisering av systemer og utstyr.
- Mangelfull bruk av klassifisering.
- Mangelfull kontroll med utestående vedlikehold.

Noen av de spesifikke begrunnelsene er [5]:

- Uklare kriterier for klassifisering av utstyr og mangler i informasjon om klassifisering gjort for utstyr.
- Utilgjengelig begrunnelse for gitt HMS-klassifisering.
- Feil i klassifisering av utstyr som har medført at korrigerende vedlikehold ikke har blitt utført.
- Uklare kriterier for prioritering av vedlikehold, deriblant at klassifiseringen ikke brukes systematisk ved prioritering av vedlikehold, slik at det ikke er entydig hvordan utstyrets klassifisering påvirker prioritering av utestående vedlikehold.
- Etterslep av sikkerhetskritisk utstyr som ikke er konsekvensvurdert og manglende dokumentering av vurderingene som er lagt til grunn for endrede beslutningskriterier.

Det nevnes videre at «Slik klassifiseringen framstår i de selskapene Ptil har ført tilsyn med, er det vanskelig å danne seg et realistisk bilde av risiko som beslutningsgrunnlag for styring av vedlikeholdet. Dette innebærer usikkerhet om vedlikehold styres på en måte som er tilpasset risiko for storulykker.» [5]. Rapporten er fra 2007 og selv om det er rimelig å anta at bransjen i ettertid har tatt læring av funnene, så viser likevel nyere tids tilsynsrapporter at problemet ikke er eliminert. Noen utvalgte eksempler:

Fra tilsynsrapport, 2018 [6]:

«Tilsynet har påvist en rekke avvik som samlet skaper usikkerhet om Point sitt vedlikehold gir nødvendig oversikt og kontroll på teknisk tilstand og om det ivaretar ytelseskrav til barrierer.»

«... Stikkprøver viser at korrektivt arbeid på sikkerhetskritisk utstyr kan bli utsatt over lengre tid uten tilstrekkelige risikovurderinger.»

«Point kunne ikke legge fram kriterier for hvilke av de viktige arbeidsordrene som skal utføres først.»

Fra tilsynsrapport, 2015 [7]:

«... konsekvensklassifiseringen ved bortfall av utstyrs funksjon i liten grad blir brukt som et grunnlag for vedlikeholdsplanleggingen i vurderingen av forebyggende arbeidsoppgaver og prioriteringer offshore. Det samme ble opplyst å gjelde ved notifikasjoner (korrigerende arbeidsordrer).»

«... personellet offshore opplever at for mange jobber blir klassifisert som sikkerhetskritiske og det gjør det vanskelig å vurdere hvilke som virkelig trenger oppmerksomhet/prioritet.»

Fra tilsynsrapport, 2015 [8]:

«... uklar sammenheng mellom konsekvensvurdering av funksjon av utstyr (konsekvensklassifisering) og vurdering av risiko på reparasjonsarbeid når det samme utstyret har feilet, eller når en feil under utvikling er oppdaget.»

«I følge de vi har intervjuet av offshore personell brukes informasjon om konsekvensklassifiseringen i liten grad ved risikovurdering og prioritering av korrigerende arbeidsordre.»

Nevnte funn og utfordringer viser/kan være argumenter for at det finnes forbedringspotensial i etterlevelse av barrierestyring og/eller vedlikeholdsstyring i bransjen. Korrektivt vedlikehold på tekniske barriereelementer inngår som en del av vedlikeholdsstyringen og har en sentral rolle til barrierestyringen ved at disse aktivitetene bidrar til å gjenopprette ytelsen til barrierer [2].

1.2 Regelverkskrav

Krav til operatørselskaper på norsk sokkel er i hovedsak forankret i regelverket til Ptil. Kravene er for det meste utformet som funksjonskrav som viser hvilket sikkerhetsnivå som skal oppnås [4]. Eksempler på relevante forskrifter og paragrafer:

- Aktivitetsforskriften
 - § 45 Vedlikehold
 - § 46 Klassifisering
 - § 47 Vedlikeholdsprogram
 - § 48 Planlegging og prioritering
 - § 49 Vedlikeholdseffektivitet
- Styringsforskriften
 - § 4 Risikoreduksjon
 - § 5 Barrierer
 - § 9 Akseptkriterier for storulykke og miljørisiko
 - § 10 Målparametere og indikatorer
 - § 11 Beslutningsgrunnlag og beslutningskriterier
 - § 12 Planlegging
 - § 17 Risikoanalyser og beredskapsanalyser

Merk at det finnes flere relevante krav i andre forskrifter som for eksempel Innretningsforskriften, Rammeforskriften og Teknisk og operasjonell forskrift. Ved å lese forskriftene vil en se at det blant annet stilles krav til at [9], [10]:

- Sikkerhetsfunksjoner skal vedlikeholdes slik at de er i stand til å utføre sin tiltenkte funksjon. Herunder krav til at vedlikehold gjennomføres slik at ytelsen ivaretas til enhver tid.
- Systemer og utstyr skal klassifiseres med hensyn til helse, miljø og sikkerhet av potensielle funksjonsfeil. For funksjonsfeil som kan føre til alvorlige konsekvenser, skal de forskjellige sviktmodiene med tilhørende sviktårsaker og sviktmekanismer identifiseres og anslå sviktsannsynligheten for den enkelte sviktmodusen.
- Det skal foreligge kriterier i vedlikeholdsprogrammet for setting av prioritet med vedlikeholdsfrister for utføring av de enkelte vedlikeholdsaktivitetene.
- Barrierer skal være etablert, som til enhver tid kan identifisere, redusere muligheten for og begrense feil, fare- og ulykkessituasjoner.
- Det skal foreligge kjennskap til hvilke barrierer og barrierelementer som er ute av funksjon eller er svekket og iverksettelse av nødvendige tiltak for å rette opp eller kompensere for manglende eller svekkede barrierer

Mange av kravene suppleres med henvisninger til industristandarder og normer [4]. For klassifisering og vedlikeholdsprogram er standarden Norsok Z-008 en sentral standard som regelverket viser til. Denne angir en metodikk for risikobasert vedlikehold og konsekvensklassifisering. Metodikken som er beskrevet i standarden er lagt til grunn for vedlikeholdsstyring i denne rapporten.

1.3 Formål og avgrensning

I tråd med Norsok Z-008, er korrektivt vedlikehold i CMMS-systemet (Computerized Maintenance Management System) gjenstand for en kalkulert feilkritikalitet som utgjør et grunnlag for prioritering. Prioritering av korrektivt vedlikehold, herunder generering av kalkulert feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist for tekniske barriereelementer i driftsfasen, er et utvalgt område av interesse i rapporten. Ved å inkludere informasjon fra barrieretilstandspanel som inngår i barrierestylingen og egenskaper som er relevante for feilutvikling, er det i rapporten forsøkt å forbedre metode for å fastsette kalkulert vedlikeholdsfrist. Hensikten er å behjelpe prioritering av «det viktigste av det viktige» først ved at flere aspekter som anses som relevante i kalkulering vedlikeholdsfrister er inkludert.

Det erkjennes at alt korrektivt vedlikehold på tekniske barriereelementer trolig ikke kan gjennomføres på samme tidspunkt som behovet oppstår. Dette på grunn av planleggingsbehov, arbeidstillatelser, mobilisering av ressurser og lignende som nødvendiggjør et system med vedlikeholdsfrister som gir tid til og forberedelse av korrektivt vedlikehold. Bruk av vedlikeholdsfrister for denne type utstyr fordrer naturligvis at frister settes i tråd med konsekvensen til, eller potensialet av det identifiserte forholdet. For eksempel vil det være ulogisk å sette en vedlikeholdsfrist på flere dager dersom en identifiserer et forhold som i lys av dets potensiale bør korrigeres eller kompenseres for med det første. Med henvisning til Norsok Z-008 kan det argumenteres for at en overskridelse av vedlikeholdsfrist skal avvikshåndteres og videre godkjenning basert på situasjon og kompenserende tiltak.

For å fokusere på metode for kalkulering av kritikalitet og vedlikeholdsfrist, er det i rapporten gjort antakelser og avgrensninger. Sentrale antakelser og avgrensninger som er gjort i rapporten er:

Tekniske barriereelementer

I rapporten er prioritering avgrenset til tekniske barrierer som inngår i forhindringen (eller som reduserer konsekvensene) av en storulykke, herunder tekniske barriereelementer. Det vil si at prioritering av vedlikehold av annet utstyr ikke er inkludert som en del av rapporten. Eksempler er produksjonskritisk utstyr og annet sikkerhetsutstyr. Intensjonen med dette, foruten å avgrense omfanget, er at storulykker som kan lede til flere omkomne, store konsekvenser på miljø eller store tap av eierandeler, er en hovedbekymring for industrien [11]. Det påpekes at det i henhold til norsk regelverk også skal inkluderes adressering og håndtering av risikoer relatert til arbeidsmiljø, personrisiko, produksjonsregularitet og lignende.

Merk at det i tillegg til de tekniske barrierene også vil være operasjonelle og organisatoriske barrierer som inngår i forhindringen av en storulykke [2]. Disse kan derimot ikke knyttes mot vedlikeholdsstyring på samme måte i den forstand at dette ikke er utstyr som det utføres korrektivt vedlikehold på. Det er videre valgt å ikke utfordre den foreliggende metodikken for systematisering av situasjoner som kan medføre storulykker i form av DFUer (definert fare- og ulykkessituasjoner) og inndeling av tilhørende barrierer i tekniske, operasjonelle og organisatoriske barrierer.

Korrektivt vedlikehold

Svekkelser på barrierer medfører et behov for korrektivt vedlikehold. Svekkelsene kan oppdages i vanlig drift, eller i forbindelse med preventivt vedlikehold som for eksempel en funksjonstest eller en visuell sjekk. Rapporten er avgrenset til korrektivt vedlikehold som direkte kan knyttes til en eller annen form for degradering i forhold til det tekniske barriereelements ytelseskrav. Dette i form av funksjonalitet, integritet og/eller sårbarhet [12]. Preventive vedlikeholdsaktiviteter for å forebygge og/eller avdekke feil på barrierer, er ikke inkludert i rapporten. Disse vil i hovedsak utføres i faste intervaller, som for eksempel er satt basert på regelverkskrav, erfaring og leverandørdokumentasjon. Det påpekes at preventivt vedlikehold likevel er en viktig del av barrierestyring.

Minimering av etterslep

Det er i rapporten antatt at minimering av etterslep av korrektivt vedlikehold på tekniske barrierelementer, der sikkerhetsfunksjon er berørt eller kan bli berørt, alltid er første prioritet. Dette begrunnes i at de tekniske barriereelementene har en sentral rolle i å forhindre (eller redusere konsekvensene av) en storulykke og at utestående korrektivt vedlikehold potensielt kan medføre svekkede barrierer med økt sannsynlighet for en hendelse [5]. Prioriteringen kan argumenteres for med henvisning til regelverkets krav om at sikkerhetsfunksjoner skal vedlikeholdes slik at de er i stand til å utføre sin tiltenkte funksjon, der ytelsen ivaretas til enhver tid. Konsekvensene av en storulykke i form av helse, miljø og sikkerhet, i tillegg til tap av eierandeler og skadet omdømme, kan dessuten gjøre at det vil ligge i selskapets egen interesse å satse på sikkerhet. Det erkjennes at det likevel vil kunne finnes tilfeller der enkeltindivider eller selskaper som vil være villige til å ta uforansvarlige prioriteringsvalg på bekostning av sikkert drift. En slik tilnærming er ikke i tråd med regelverket og er derfor ikke lagt til grunn i rapporten.

Kompetanse, ressurser, utstyr og eksternaliteter

Det er i rapporten ikke lagt vekt på eventuell kompetansemangel, ressursbegrensninger i utførelse personell, eller manglende utstyr/deler. Ressursoptimalisering i lys av eventuelle ressursbegrensninger er i så måte ikke en del av rapportens omfang. Det er antatt at dersom kompetansemangel, ressursbegrensninger (eventuelt ressursoptimaliseringer) og/eller manglende utstyr/deler medfører utsettelse av korrektivt vedlikehold, så vil dette avvikshåndteres. Dette gjelder også når eksternaliteter som vær- og vindforhold forhindrer mulighet for utførelse av korrektivt vedlikehold. Det vil si at en ved utsatt vedlikehold vil måtte søke om godkjenning basert på en beskrivelse av situasjon, begrunnelse for utsettelse, risikoen forbundet med utsettelsen og eventuelle kompenserende tiltak. Det er videre antatt at dersom verken korrigerende vedlikehold eller kompenserende tiltak som kan redusere risikoen til et akseptabelt nivå kan iverksettes, så vil avvik avvises med den konsekvens av produksjon må reduseres eller stenges ned.

1.4 Definisjoner og forkortelser

Relevante begreper brukt i denne rapporten med tilhørende definisjon er gitt nedenfor. Det påpekes at flere av begrepene defineres på forskjellige måter i litteraturen.

Definisjoner

Tabell 1 - Definisjoner

Barriere	<i>Tiltak som har til hensikt enten å identifisere tilstander som kan føre til feil, fare- og ulykkessituasjoner, forhindre at et konkret hendelsesforløp inntreffer eller utvikler seg, påvirke et hendelsesforløp i en tilsiktet retning, eller å begrense skader og/eller tap [2]</i>
Barrierefunksjon	<i>Oppgaven eller rollen til en barriere [2]</i>
Barriereelement	<i>Tekniske, operasjonelle eller organisatoriske tiltak eller løsninger som inngår i realiseringen av en barrierefunksjon [2]</i>
Barrierestrategi	<i>Plan for hvordan barrierefunksjoner, med utgangspunkt i risikobildet, skal implementeres for å redusere risiko [2]</i>
Barrierestyring	<i>Koordinerte aktiviteter for å etablere og opprettholde barrierer slik at de til enhver tid kan ivareta sin funksjon [2]</i>
Feilmekanisme	<i>En feilmekanisme er fysiske, kjemiske eller andre prosesser som fører til en feilårsak [13]</i>
Feilmode	<i>Den måten en feil opptrer på. En feilmode kan med andre ord observeres «utenfra» ved at enheten ikke kan utføre de forventede funksjonene eller at disse blir feil utført. [13]</i>
Feilårsak	<i>En feilårsak er de omstendigheter som fører til at feilmoden oppstår [13]</i>
Feilutviklingsperiode	<i>Tiden fra en anmerkning (feil) omkring utstyrets tilstand identifiseres og til det identifiserte forholdet har utviklet seg til en kritisk feil.</i>
Feilutviklingspotensial	<i>Muligheten for videre feilutvikling fra identifisert anmerkning (feil) til kritisk feil</i>
Klassifisering	<i>Plassering av et objekt i et sett av kategorier/klasser, basert på egenskaper til objektet [2]</i>
Konsekvensklassifisering	<i>Kvalitativ analyse av hendelser og feil og tildeling av konsekvenser av disse [14]</i>
Kontekst	<i>Forholdene i omgivelsene som er relevante for vurdering av sikkerhet og behov for barrierer [2]</i>
Korrektivt vedlikehold	<i>Vedlikehold utført etter detektering av feil for å påvirke restaurering [14][15]</i>
Kritikalitetsanalyse	<i>Kvantitativ analyse av hendelser og feil og rangeringen av disse i henhold til alvorligheten av konsekvensene [5]</i>
Redundans	<i>Eksistensen av mer enn en anordning til å utføre en ønsket funksjon av et element [14][15]</i>
Risiko	<i>Konsekvensene av virksomheten med tilhørende usikkerhet [2]</i>
Risikobildet	<i>Risikobildet er en forståelse av og oversikt over mulige feil, fare- og ulykkessituasjoner og hvordan en kan beskytte seg mot disse [2]</i>
Risikostyring	<i>Koordinerte aktiviteter for å rettlede og kontrollere en organisasjon med hensyn til risiko [2]</i>
Robuste barrierer	<i>At barrierer skal ha marginer i forhold til endrede forutsetninger og usikkerhet og fungere som tiltenkt i feil, fare- og ulykkessituasjoner [2]</i>
Storulykke	<i>En akutt hendelse som for eksempel et større utslipp, brann eller en eksplosjon som umiddelbart eller senere medfører flere alvorlige personskader og/eller tap av menneskeliv, alvorlig skade på miljøet og/eller tap av større økonomiske verdier [2]</i>
Operasjonelle barriereelement	<i>De handlingene eller aktivitetene som personellet må utføre for å realisere en barrierefunksjon [2]</i>
Organisatoriske barriereelement	<i>Personell med definerte roller eller funksjoner og spesifikk kompetanse som inngår i realiseringen av en barrierefunksjon [2]</i>

Tekniske barriereelement	<i>Utstyr og systemer som inngår i realiseringen av en barrierefunksjon [2]</i>
Tilstandsbasert vedlikehold	<i>Preventivt vedlikehold utført basert på evaluering av fysisk tilstand [14][15]</i>
Prediktivt vedlikehold	<i>Vedlikehold basert på predikering av fremtidig tilstand til en enhet estimert eller kalkulert fra et definert sett av historiske data og kjente fremtidige operasjonelle parametere [14][15]</i>
Preventivt vedlikehold	<i>Vedlikehold utført for å dempe degradering og redusere sannsynligheten for feil [14][15]</i>
Vedlikehold	<i>Kombinasjon av alle tekniske, administrative og styringsmessige aktiviteter i levetiden til en enhet, som har til hensikt å opprettholde eller gjenopprette den til en tilstand som gjør den i stand til å utføre den krevde funksjonen. [5]</i>
Vedlikeholdsfrist	<i>Dato som er satt som frist for at vedlikeaktivitet skal være utført.</i>
Vedlikeholdsevne	<i>Evnen til en vedlikeholdsorganisasjon til å ha riktig vedlikeholdsstøtte på riktig sted for å utføre nødvendig vedlikeholdsaktivitet på et gitt tidspunkt eller i løpet av et gitt tidsintervall [5]</i>
Vedlikeholdsmål	<i>Mål fastsatt og akseptert for vedlikeholdsaktivitetene. Merknad: Disse målene kan inkludere tilgjengelighet, kostnadsreduksjon, produktkvalitet, miljøvern, sikkerhet, osv. [5]</i>
Vedlikeholdsstrategi	<i>Styringsmetode brukt for å nå vedlikeholdsmålene [5]</i>
Vedlikeholdsstyring	<i>Alle ledelsesaktiviteter som fastsetter vedlikeholdsmålene, strategiene og ansvar og implementerer dem gjennom tiltak som vedlikeholdsplanlegging, vedlikeholdskontroll og tilsyn og forbedring av metoder i organisasjonen, inkludert økonomiske aspekter [5]</i>
Vedlikeholdsstøtte	<i>Ressurser, tjenester og ledelse nødvendig for å utføre vedlikehold. Merknad: Støtte kan inkludere personell, testutstyr, arbeidsrom, reservedeler, dokumentasjon, verktøy, osv. [5]</i>
Vedlikeholdsplan	<i>Strukturert sett av oppgaver som inkluderer aktivitetene, prosedyrene, ressursene og tidsforbruket nødvendig for å utføre vedlikeholdet [5]</i>
Vektet viktighet	<i>Tverrfaglig vurdering av et teknisk barriereelements forventede innflytelse i en barrierefunksjon, uttrykket ved et vektet tall fra 1 til 20, der 20 medfører en reell mulighet for tap (eller betydelig svekkelse) av barrierefunksjonen(e) den tilhører.</i>
Ytelseskrav	<i>Etterprøvbare krav til barriereelementenes egenskaper for å sikre at barrieren er effektiv [2]</i>
Ytelsepåvirkende faktorer	<i>Forhold som er identifisert å ha signifikant betydning for barrierefunksjoner og barriereelementers evner til å fungere som tiltenkt [2]</i>

Forkortelser

Tabell 2 - Forkortelser

BE	Barriereelement
BF	Barrierefunksjon
BP	Barriertilstandspanel
CMMS	Informasjons- og styringssystem for vedlikehold (computerized maintenance management system)
DFU	Definert fare- og ulykkessituasjon
FMEA	Feilmode- og effektanalyse (failure mode and effects analysis)
FMECA	Feilmode-, effekt- og kritikalitetsanalyse (failure mode, effects and criticality analysis)

FDP	Feilutviklingsperiode (failure development period)
FFA	Funksjonell feiltreanalyse
K-IMS	Kongsberg Informasjonshåndteringssystem (information management system)
PFD	Sannsynlighet for feil ved behov (probability of failure on demand)
PS	Ytelsesstandard (performance standard)
Ptil	Petroleumstilsynet
RCM	Pålitelighetsstyrt vedlikehold (reliability centered maintenance)
SCE	Sikkerhetskritisk utstyr (safety critical element)
SFA	Sikkerhetsfunksjon påvirket (safety function affected)
SIL	Sikkerhetsintegritetsnivå (safety integrity level)

2. Metodikk

2.1 Fremgangsmåte

Arbeidet presentert i denne rapporten er basert på en gjennomgang av eksisterende litteratur og bransjestandarder som regelverket viser til. Videre er denne informasjonen systematisert og benyttet i nye anvendelsesområder. Som utgangspunkt er det valgt å vurdere prioriteringsmetodikk på en eksisterende innretning på norsk sokkel som produserer olje og gass. Hensikten er å se hvordan et operatørselskap prioriterer korrektivt vedlikehold på tekniske barrierelementer og hvordan metode kan optimaliseres med forankring i litteratur og bransjestandarder.

Litteratur og bransjestandarder er identifisert og relevant informasjon er gjengitt i rapporten. Videre presenteres operatørselskapets metodikk for prioritering av korrektivt vedlikehold på tekniske barrierelementer. Dette er basert på bedriftsinterne datakilder vedrørende feilrapportering, konsekvensklassifisering, kalkulering av feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist, regler for barrieretilstandspanel og prioritering av korrektivt vedlikehold generelt. Operatørselskapet er underlagt norsk regelverk og jobber følgelig etter styringssløyfa for vedlikehold som er presentert i Norsok Z-008. Dette betyr at operatørselskapet i hovedsak har et pålitelighetsstyrt vedlikeholdsprogram. Operatørselskap og innretning er anonymisert i denne rapporten etter eget ønske.

2.2 Bedriftsinterne datakilder

Bedriftsinterne datakilder og deres bidrag til denne rapporten er gitt i Tabell 3.

Tabell 3 - Bedriftsinterne datakilder

Informasjonskilde	Informasjonsbidrag
[16]	Oversikt over tekniske barrierelementer og sikkerhetskritisk feilmode.
[17] ¹⁾	Angir prioriteringsmatrise for korrektivt vedlikehold i CMMS-systemet.
[18]	Oversikt over identifiserte DFUer, barrierefunksjoner, delfunksjoner og barrierelementer.
[19] ²⁾	Oversikt over vekting av tekniske barriereelementer. Angir prioriterings- og aggregeringsregler i barrieretilstandspanel.
[20]	Angir ytelseskrav til tekniske barrierelementer.
[21]	CMMS-system med database som inkluderer konsekvensklassifisering, tag som inngår i tekniske barrierelementer og vedlikeholdsdata.
[35]	Barrieretilstandspanel som viser statusoversikt for tekniske barrierelementer og aggregering til barrierefunksjoner og hovedområder basert på notifikasjoner,

	overbroinger, vekting og aggregeringsregler.
--	---

1) Prioriteringsmatrise som presenteres i rapporten er per dags dato under implementering hos operatørselskap.

2) Aggregeringsreglene og vekting for barrieretilstandspanelet som presenteres i rapporten er per dags dato under implementering hos operatørselskap.

I tillegg er det gjennomført samtaler med relevant personell hos operatørselskapet for å få en bedre forståelse av prioritering av korrektivt vedlikehold.

3. Vedlikehold

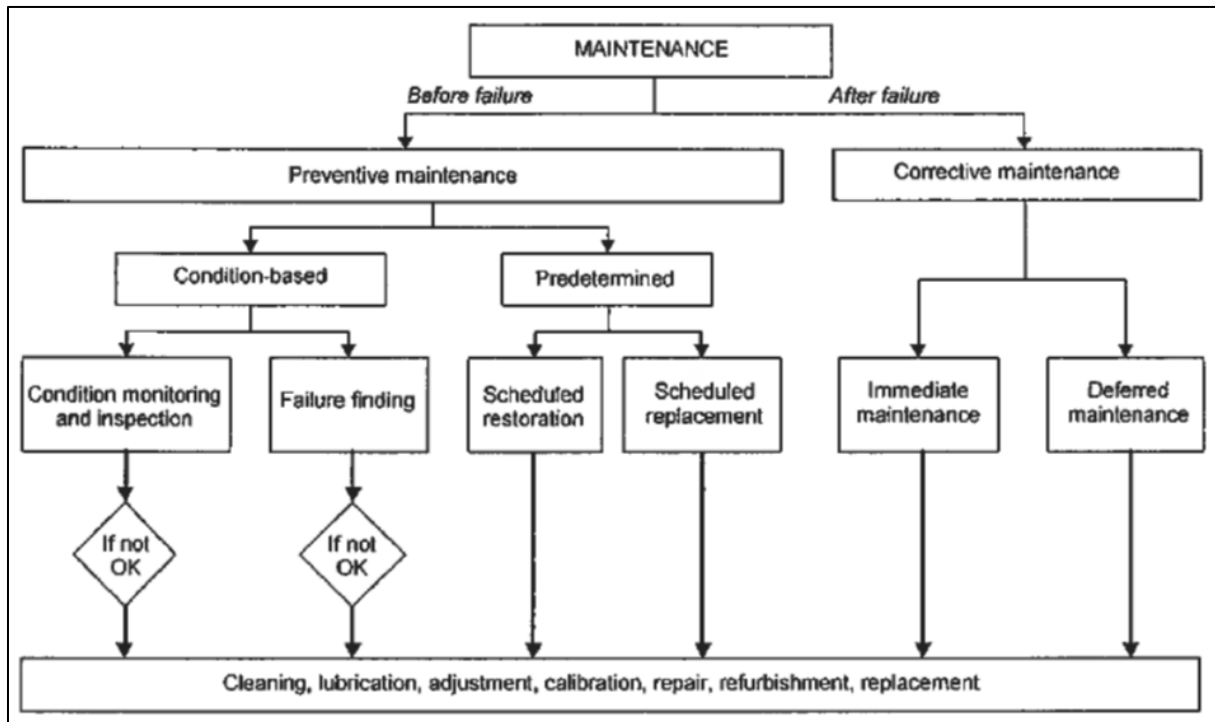
3.1 Typer av vedlikehold

Vedlikehold defineres på flere måter i forskjellige standarder. Dersom en legger til grunn Ptil sin definisjon, kan vedlikehold defineres som en *kombinasjon av alle tekniske, administrative og styringsmessige aktiviteter i levetiden til en enhet, som har til hensikt å opprettholde eller gjenopprette den til en tilstand som gjør den i stand til å utføre den krevde funksjonen* [5]. Konteksten av vedlikeholdet som utføres kan variere. For eksempel kan vedlikeholdsaktiviteter gjøres på utstyr som ikke har kjente feil, men med den hensikt å redusere sannsynligheten for at feil oppstår. Vedlikehold kan også gjøres i etterkant av at feil på utstyr er identifisert, for å gjenopprette funksjonalitet av utstyr. Forskjellige typer av vedlikehold kan basert på litteratur deles inn i to kategorier med tilhørende underkategorier [22]:

- *Preventivt vedlikehold*; Vedlikehold som utføres for å dempe degradering og redusere sannsynligheten for feil. Herunder;
 - *Tilstandsbasert vedlikehold*; Preventivt vedlikehold som utføres basert på evaluering av fysisk tilstand [14]. Evaluering av tilstand kan være observasjon av en tekniker i henhold til vedlikeholdsprogram, eller av tilstandsovervåkning av systemparametere [14].
 - *Prediktivt vedlikehold*; Preventivt vedlikehold basert på predikering av fremtidig tilstand til en enhet, estimert eller kalkulert fra et definert sett av historiske data og kjente fremtidige operasjonelle parametere [14].
- *Korrektivt vedlikehold*; Vedlikehold gjennomføres i etterkant av en detektert feil for å påvirke restaurering (gjenoppretting av funksjon) [14].

De forskjellige typene av vedlikehold kan videre brytes ned i underkategorier som differensierer vedlikeholdet basert på tidspunkt for gjennomføring og type av aktivitet som vist i Figur 1 [22].

Figur 1 - Typer av vedlikehold [22]



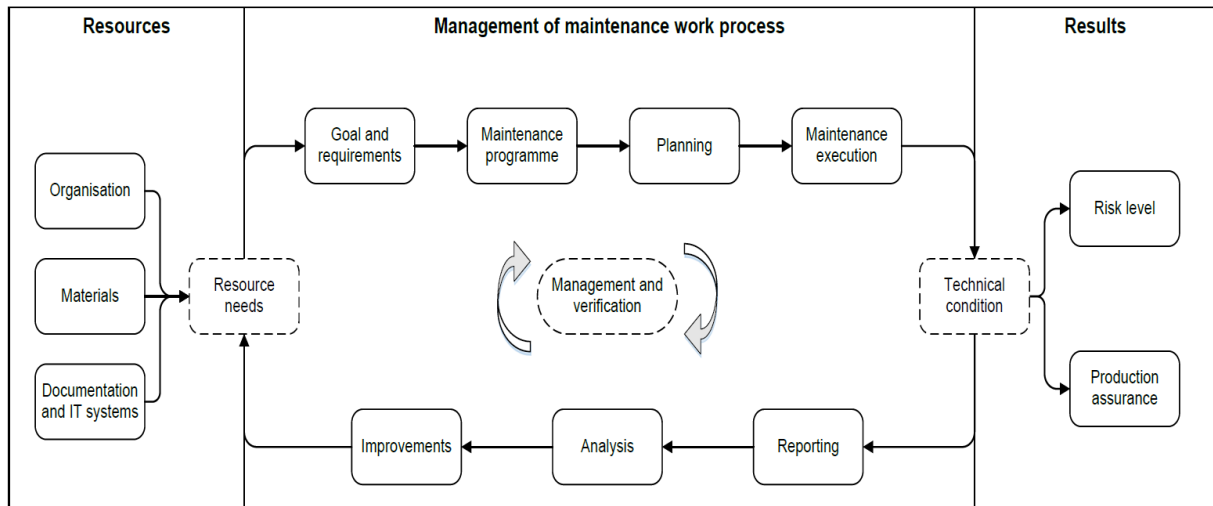
For korrektivt vedlikehold, vil det basert på Norsok Z-008 foreligge en kalkulering av feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist som vil være relevant for prioritering av utførelse.

I rapporten er prioritering rettet mot identifiserte feil eller anmerkninger i utstyrets tilstand og begrepet «korrektivt vedlikehold» omfatter derfor både «corrective maintenance» med tilhørende underkategorier og eventuelt feil og anmerkninger som identifiseres under «preventive maintenance» i Figur 1. Preventivt vedlikehold som for eksempel regelmessig smøring, oljefylling og visuell sjekk er ikke inkludert.

3.2 Vedlikeholdsstyring

Styringen og systematiseringen av vedlikeholdet kan kalles vedlikeholdsstyring. Vedlikeholdsstyring kan defineres på flere måter, deriblant som *alle ledelsesaktiviteter som fastsetter vedlikeholdsmålene, strategiene og ansvar og implementerer dem gjennom tiltak som vedlikeholdsplanlegging, vedlikeholdskontroll og tilsyn og forbedring av metoder i organisasjonen, inkludert økonomiske aspekter* [5]. Det finnes flere modeller som har intensjon at målene for vedlikeholdsstyring nås, deriblant styringssløyfa som ble utviklet i basisstudien til Oljedirektoratet i 1998 og som står beskrevet i Norsok Z-008 [5]. Styringssløyfa er velkjent i petroleumsindustrien og er illustrert i Figur 2.

Figur 2 - Styringsløyfa [14]



Norsok Z-008 har som intensjon å gi innspill på hvordan en oppnår og vedlikeholder styringsløyfa som vist i Figur 2 [23]. På et overordnet nivå består styringsløyfa av ressurser, håndtering av arbeidsprosesser og resultater og kan oppsummeres slik [14]:

Ressurser

Ressurser vil være i form av vedlikeholdsorganisasjon, materialer, dokumentasjon og IT-systemer. Vedlikeholdsorganisasjonen består av personell som innehar nødvendig kompetanse, der stillingsbeskrivelser og arbeidsprosesser (med krav til roller og ansvar) setter rammene. Vedlikeholdsorganisasjonen vil ha ressursbehov i form av materialer, reservedeler og verktøy for å utføre vedlikehold i henhold til vedlikeholdsstyringen. Arbeidet som gjennomføres dokumenteres og systematiseres i IT-systemer. Eksempler er tag-register, tegninger, spesifikasjoner, vedlikeholdsdata, reservedelslister og lignende som er relevant for å kunne utføre og håndtere vedlikehold på en effektiv måte.

Styring av arbeidsprosesser

Styringen av arbeidsprosesser for vedlikehold omfatter mange aktiviteter som skal koordineres og samkjøres for å gi et godt vedlikeholdsprogram. Nøkkelen bak dette er en velorganisert ledelse, med nødvendig kunnskap om pålitelighetsstyrt vedlikehold (RCM), som tar ansvar for implementering og etterlevelse av styringsløyfa. Ved å sikre at vedlikeholdsprosessen følges og ta aksjon ved eventuelle avvik fra denne, legges grunnlaget for et godt vedlikeholdsprogram. Ved å definere målsetninger og planlegge og utføre vedlikeholdet i henhold til vedlikeholdsprogrammet, styres ressursene for å oppnå det ønskede resultatet [5]. Målsetninger må være realiserbare for å forplikte organisasjonen til å etterstrebe oppnåelse av det ønskede resultatet.

Dersom vedlikeholdet skal kunne utføres og prioriteres på en velfungerende måte, må det etableres et velfungerende vedlikeholdsprogram som er basert på konsekvensklassifisering av utstyr. Dette gjør at vedlikeholdet kan baseres på identifiserte feilmoder, feilmekanismer og feilårsaker. Vedlikeholdsprogrammet inkluderer også vedlikeholdsintervall, prosedyrer og kvalifikasjonskrav til personell.

I utførelsen av vedlikeholdet vil det ofte foreligge behov for materiell som må bestilles og spesifikk kompetanse som må reserveres. Dette introduserer behovet for planlegging i forhold til bestilling av materiell og prioritering av arbeid. En vellykket planlegging forutsetter derfor en god metode for prioritering, i tillegg til at vedlikeholdsplaner som gjenspeiler prioriteten må overvåkes og gjennomgås for å ta igjen etterslep som kan oppstå. Vedlikeholdsplanene systematiserer vedlikeholdet ved at aktiviteter, ressurser og utførelsestid for vedlikeholdet struktureres og angis i riktig rekkefølge for utførelse. I den daglige driften kan det likevel oppstå situasjoner der det foreligger behov for å ta operasjonelle avgjørelser som kan avvike fra vedlikeholdsplanene. For eksempel ved at det oppstår en sikkerhetskritisk svikt av et teknisk barrierelement der ledelsen offshore ser seg nødt til å gjennomføre strakstiltak for å kompensere eller korrigere forholdet. Eller at produksjonsrelaterte forhold medfører at utstyr ikke er tilgjengelig ved tiltenkt utførelse av vedlikehold. I disse tilfeller skal en risikovurdering alltid være fundamentet for vurderingene der forhold som kompleksiteten av arbeidet og en plan for verifisering av utført arbeid tas i betraktning.

Styringen av arbeidsprosesser for vedlikehold og oppnåelse av ønskede resultater er avhengig av at identifiserte anmerkninger omkring utstyrets tilstand rapporteres i form av notifikasjoner i CMMS-systemet. Dette kan være anmerkninger som er identifisert i forbindelse med vedlikehold, tilstandsovervåking, eller ved en tilfeldighet. Notifikasjonene er essensielt for å ha et analysegrunnlag som kan gi en effektivisering av vedlikeholdsprogram og for å synliggjøre teknisk tilstand av utstyr som kan initiere planlegging av vedlikeholdsaktiviteter. Ved å samle, kvalitetssikre og analysere data, kan en både overvåke ytelse av og identifisere forbedringer i vedlikeholdsprogrammet. I forbedringsarbeidet er det kritisk at en vurderer i hvilken grad vedlikeholdsprogrammet håndterer risiko og ytelseskrav for de ulike systemene og nøkkelkomponentene.

Resultater

Arbeidsprosessene i styringssløyfa er med på å styre ressursene for å oppnå det ønskede resultatet i form av teknisk tilstand, risikonivå og produksjonsregularitet. Disse vil være et resultat av drift- og vedlikeholdsarbeidet som gjøres og som kan overvåkes ved ytelsesindikatorer som for eksempel produksjonstilgjengelighet, HMS-statistikk og ytelse av tekniske barrierelementer.

Det vises forøvrig til Norsok Z-008 for mer inngående detaljer om styringssløyfa for vedlikehold.

3.3 Pålitelighetsstyrt vedlikehold, FMEA og FMECA

Gjennom etableringen av vedlikeholdsstrategier i henhold til styringssløyfa kan en effektivisere drift, kostnad og HMS, der evaluering av kritikaliteten (konsekvensklassifisering) til en komponent er viktigst [24]. Vedlikeholdsaktivitetene er normalt planlagt og prioritert basert på kritikaliteten til utstyret med hensyn på kostnad, HMS og driftseffektiviseringen [24]. Pålitelighetsstyrt vedlikehold er et eksempel på en metode som har fått omfattende anvendelse i norsk industri [25]. Hensikten med pålitelighetsstyrt vedlikehold er å redusere vedlikeholdskostnadene og øke påliteligheten ved at metoden fokuserer på de viktigste funksjonene i et system og i tillegg fjerne eller redusere unødvendige vedlikeholdstiltak i det

gitte systemet [26]. Det er ikke et fast standardoppsett for pålitelighetsstyrt vedlikehold, men følgende trinn kan være en naturlig start [46]:

1. Forberedelser
2. Systemvalg og avgrensninger
3. Funksjonell feilanalyse (FFA)
 1. Utvelgelse av kritiske enheter/de viktigste funksjonene
 2. Datainnsamling og analyse
 3. Analyse av feilmode og effekt (og kritikalitet) (FMEA/FMECA)
 4. Bestemmelse av vedlikeholdsaktiviteter
 5. Intervalloptimalisering
 6. Kontinuerlig oppdatering

I denne prosessen er FFA og FMECA viktige skjemateknikker for å analysere funksjon og feilmoder til systemet (eventuelt komponentene til systemet), der analysen begrenses ved at man kun tar med de viktigste komponentene/feilmoder i det videre arbeidet [46]. FMECA er en utvidelse av feilmode- og effektanalyse (FMEA) der en studerer problemer som kan oppstå fra individuelle feil i tekniske systemer, ved å i tillegg ta i betraktning kritikaliteten av feileffektene [27]. Analysen er den mest brukte teknikken for å analysere pålitelighet i tidlig fase av design og utføres for å kunne sikre at alle potensielle feilmoder har vært gjenstand for vurdering [28]. I FMECA-analysen identifiseres følgende [46]:

- Mulige feiltilstander (feilmodene) til hver enkelt komponent i et teknisk system.
- Årsakene til feiltilstandene.
- Feiltilstandens innvirkning på systemet som helhet.
- Alvorligheten av de ulike feileffektene.

FMECA-analysen dokumenteres i skjemaform som fylles ut med basis i komponentene [46]. Selve skjemaet består av følgende blokker [46]:

- Beskrivelse av komponenten.
- Beskrivelse av feilmoder knyttet til hver funksjon.
- Beskrivelse av effekt av feilen.
- Tilleggsinformasjon i form av frekvens/sannsynlighet, tydeliggjøring av konsekvenser, feilårsaker, feilmekanismer og lignende.
- Kritikalitetsklassifisering.

Et eksempel på et FMECA-skjema er vist i Figur 3 nedenfor.

Figur 3 - Eksempel på arbeidsark i en FMECA-analyse [28]

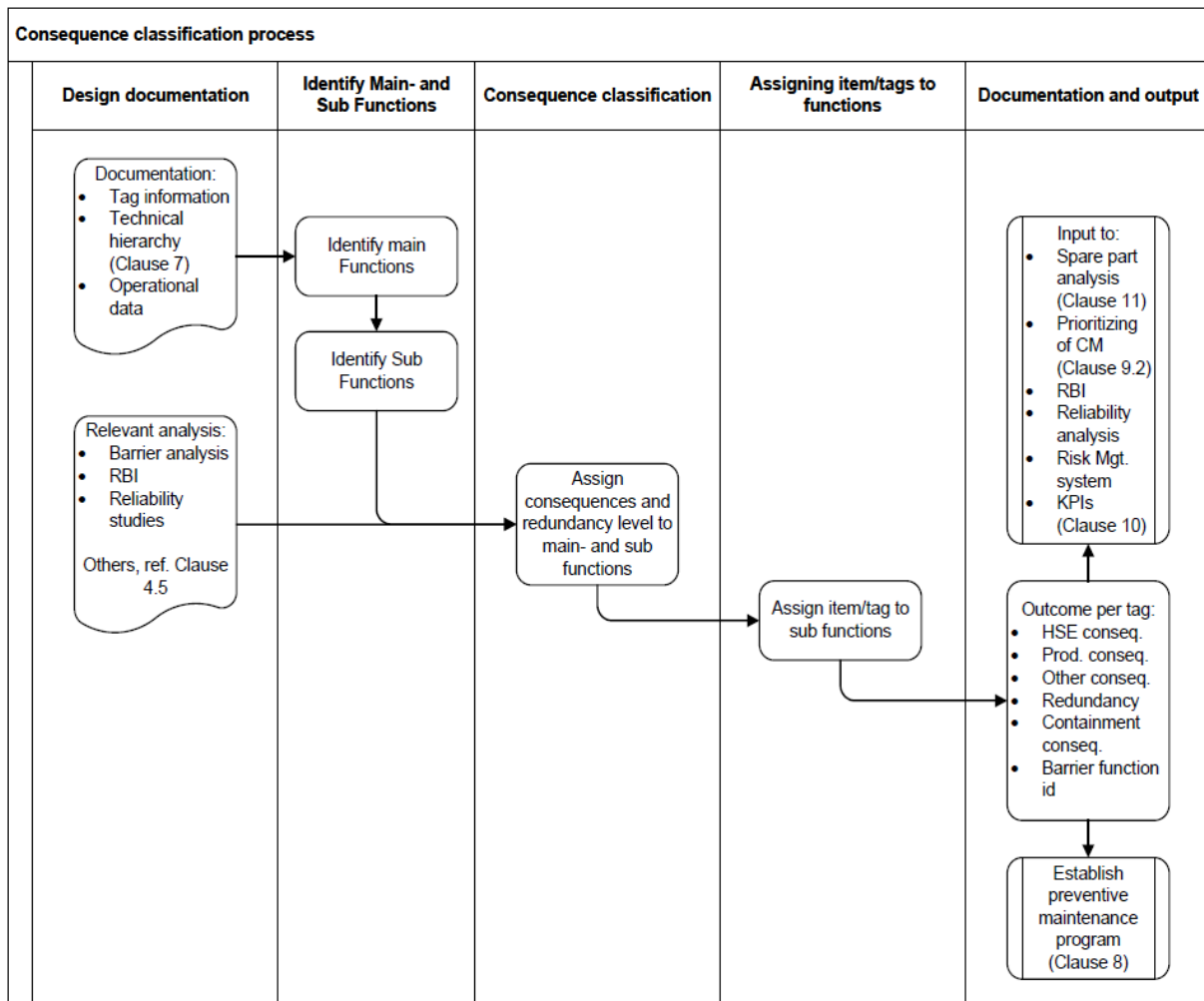
Description of unit			Description of failure			Effect of failure		Failure rate	Severity ranking	Risk reducing measures	Comments
Ref. no	Function	Operational mode	Failure mode	Failure cause or mechanism	Detection of failure	On the subsystem	On the system function				

Det vil si at for utstyr som representerer en høy konsekvens, identifiseres relevante feilmøder, feilmekanismer og feilårsaker. Feilmøder vil her si måten en feil opptrer på, mens feilårsaker er omstendighetene som fører til at feilmøden oppstår [13]. Feilmekanismer er fysiske, kjemiske eller andre prosesser som fører til en feilårsaker [13]. Ved å identifisere disse kan en legge til rette for preventive vedlikeholdsaktiviteter som har som mål å forhindre at disse feilene oppstår. I pålitelighetsstyrt vedlikehold, der konsekvensklassifisering av alt tagget utstyr gir et klart bilde av systemets mest kritiske utstyr, er FMECA et av de viktigste områdene for å utarbeide et preventivt vedlikeholdsprogram [24]. Analysen gir også et grunnlag for kvantitative pålitelighet- og tilgjengelighetsanalyser [28].

3.4 Konsekvensklassifisering

Konsekvensklassifisering inngår som en del av styringsløyfa og gir informasjon som benyttes i etableringen av vedlikeholdsprogram og inspeksjonsprogram, der utstyret rangeres etter konsekvensen av funksjonssvikten [24]. I henhold til Norsok Z-008 innebærer konsekvensklassifiseringen at hovedfunksjoner og subfunksjoner identifiseres og kartlegges for systemene og utstyret på innretningen. Det vil si å identifisere konsekvenser ved en feil på funksjon, der konsekvensklassifiseringen uttrykker effekttapet som en funksjon kan ha på HMS, produksjon og økonomi [24]. Hovedfunksjoner er i denne sammenheng inndeling av prosessen/anlegget etter funksjonalitet. Prosessen for konsekvensklassifisering kan illustreres slik [14]:

Figur 4 - Konsekvensklassifiseringsprosessen [14]



I prosessen benyttes design- og prosjektdokumentasjon som teknisk hierarki, operasjonelle data og barriereanalyser for å etablere hovedfunksjoner og subfunksjoner. Konsekvensklassifiseringen gjøres på hovedfunksjoner og tilhørende subfunksjoner, der en vurdering av redundansgrad og konsekvens ved bortfall av funksjonen gjøres med hensyn av forskjellige kategorier. Typiske hovedfunksjoner i Norsok Z-008 er for eksempel detektering, brannbekjempelse, livredning og pumping. Typiske subfunksjoner i Norsok Z-008 er for eksempel nedstenging av prosess, nedstenging av utstyr, kontrollering, monitorering og lokal indikasjon.

Konsekvensklassifisering av funksjonen arves til utstyr (tag nummer) som inngår i realiseringen av funksjonen og brukes til å generere kritikalitet av rapporterte feil i CMMS-systemet og vedlikeholdsfrist. I metoden som foreslås i Norsok Z-008 angis konsekvensklassifiseringen i form av en score for hver av kategoriene sikkerhet, miljø, produksjon, annet og begrensning på en skala fra 1 til 3 [14]:

Tabell 4 – Konsekvensklassifisering [14]

Konsekvensscore:	1 (Lav)	2 (Medium)	3 (Høy)
-------------------------	----------------	-------------------	----------------

Konsekvenskategori	Sikkerhet	Ikke potensial for skader. Ingen påvirkning på sikkerhetssystemer.	Potensiale for skader som krever medisinsk behandling. Begrenset påvirkning på sikkerhetssystemer.	En eller flere dødsulykker eller alvorlige personskader. Gjør sikkerhetskritisk system ubrukelig.
	Miljø	Ingen/mindre søl.	Medium utslipp.	Store utslipp.
	Produksjon	Ingen produksjonstap.	Forsinket påvirkning på produksjon (ingen effekt i løpet av x dager) eller redusert produksjon.	Tapt produksjon, nedetid. Nedetid > X dager
	Annet	Ingen operasjonelle- eller eiendelskostnads- konsekvenser. Kost < X (USD)	Moderate operasjonelle- eller eiendelskostnads- konsekvenser. X < Kost < Y (USD)	Signifikante operasjonelle- eller eiendelskostnads- konsekvenser. Kost > Y (USD)
	Begrensning (containment)	Ikke-brennbar medie. Ikke-giftig medie. Naturlig/normalt trykk/temperatur medie.	Brennbar medie under flammepunkt. Moderat giftig medie. Høyt trykk/temperatur medie (>100bar/80 grader)	Brennbar medie over flammepunkt. Svært giftig medie. Ekstremt høyt trykk/temperatur medie.

Merk at desto høyere konsekvensscore, desto høyere konsekvens vil bortfall av funksjon medføre. Basert på de forskjellige konsekvensscorene innenfor hver kategori, gis det en samlet konsekvensscore for funksjon/tag. Denne vil normalt være [14]:

$$Konsekvensscore_{tag} = \max\{k. score_{sikkerhet}, k. score_{miljø}, k. score_{produksjon}, k. score_{annet}, k. score_{begrensning}\}$$

Det vil si at et utstyr som har konsekvensscore 3 innenfor en kategori, vil bli gitt samlet konsekvensklassifisering lik 3 uavhengig av de andre kategoriene (da det er høyeste score som benyttes).

3.5 Feilpåvirkning, feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist

Det er nevnt at anmerkninger om utstyr som identifiseres i vedlikeholdsarbeidet og ellers i drift, skal rapporteres. Rapportering skjer på tag-nivå i CMMS-systemet ved at en notifikasjon opprettes og relevant informasjon registreres. Typisk vil obligatorisk informasjon være tag-nummer på utstyr, kategorisering av feilpåvirkning og en kort beskrivelse av feilen/anmerkningen. Feilpåvirkning deles inn i tre kategorier; kritisk feil, degradert feil og begynnende feil og kan beskrives slik [14]:

Tabell 5 - Feilpåvirkning [14]

Feilpåvirkning	Definisjon	Kommentar
Kritisk feil	Feil på en utstyrsenhet som umiddelbart medfører bortfall av evne til å utføre nødvendig funksjon.	Inkluderer feil som krever strakstiltak for å forhindre bortfall av nødvendig funksjon selv om faktisk kjøring kan fortsette for en kort periode. En kritisk feil resulterer i en uplanlagt reparasjon.
Degradert feil	Feil som ikke medfører bortfall av evne til å utføre den fundamentale funksjonen(e), men som påvirker en eller flere funksjoner.	Feil kan være gradvis, delvis eller begge. Funksjonen kan være påvirket av enhver kombinasjon av redusert, økt eller uregelmessig utfall. En umiddelbar reparasjon kan normalt utsettes, men i tide før feilen kan utvikle seg til en kritisk feil dersom korrektive tiltak ikke iverksettes.
Begynnende feil	Ufullkommenhet i status eller tilstand til et utstyr slik at en til slutt kan (eller ikke kan) forvente en degradert eller kritisk feil dersom korrektive tiltak ikke iverksettes.	Denne kategoriseringen benyttes også for notifikasjoner som ikke omhandler feil på utstyr, men som er opprettet for å generere en arbeidsordre.

I rapporten er det valgt å omtale feilpåvirkning med samme begreper som i Norsok Z-008, men i petroleumsindustrien omtales også kategoriene som død, alvorlig syk og uvel. Feilpåvirkning og konsekvensklassifisering av tag nummer, benyttes i CMMS-systemet til å generere feilkritikalitet (notifikasjon) og vedlikeholdsfrist for å utføre korrigerende arbeid. Feilkritikalitet foreslås å deles inn i følgende kategorier med vedlikeholdsfrister i Norsok Z-008 [14]:

Tabell 6 - Feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist [14]

Konsekvens (feilkritikalitet)	Tidsfrist	Kommentar
H: Høy	5 dager	Barriereutstyr < 2 dager
M: Medium	30 dager	
L: Lav	180 dager	
U: Uprioritert	360 dager	

Bakgrunnen for vedlikeholdsfristene er ikke spesifisert i standarden, men det antas at fristene er satt erfaringsbasert på hvor lenge korrigerende arbeid av feil maksimalt bør tillates å utsettes dersom ingen andre vurderinger er gjort. Det nevnes i standarden at redundansgrad bør tas i betraktning i genereringen av feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist, der redundansgrad er delt inn i redundansgruppene A, B og C som beskrives slik [14]:

Tabell 7 – Redundansgruppe [14]

Redundansgruppe	Definisjon på grad av redundans
-----------------	---------------------------------

A	Ingen redundans dvs. hele systemet er nødvendig for å unngå tap av funksjon.
B	En enhet i parallell kan feile uten å påvirke funksjonen.
C	To eller flere parallell enheter kan feile samtidig uten å påvirke funksjonen.

Grad av redundans anses som relevant ettersom det ved eksistens av mer enn én anordning til å utføre den ønskede funksjonen, så vil ikke funksjon nødvendigvis være satt ut av drift selv om utstyret har en kritisk feil. Ettersom Norsok Z-008 ikke spesifiserer hvordan redundans skal tas i betraktning, har operatørselskaper i petroleumsindustrien egne prioriteringsmatriser som tar dette i betraktning. En prioriteringsmatrise som flere operatørselskaper benytter, viser til [29] og [17], har følgende prioritering basert på kombinasjon av feilpåvirkning, redundansgruppe og konsekvensklassifisering:

Tabell 8 - Prioriteringsmatrise

Feilpåvirkning:		Kritisk feil			Degradert feil			Begynnende feil		
Redundansgruppe:		A	B	C	A	B	C	A	B	C
Konsekvens klassifiserin g av tag:	3 (Høy)	H	M	M	M	L	L	U	U	U
	2 (Medium)	M	L	L	L	U	U	U	U	U
	1 (Lav)	L	L	L	U	U	U	U	U	U

Dersom en legger til grunn vedlikeholdsfristene som foreslås i Norsok Z-008, får en følgende generering av vedlikeholdsfrister (i dager):

Tabell 9 - Prioriteringsmatrise med vedlikeholdsfrister

Feilpåvirkning:		Kritisk feil			Degradert feil			Begynnende feil		
Redundansgruppe:		A	B	C	A	B	C	A	B	C
Konsekvens klassifiserin g av tag:	3 (Høy)	< 2 ¹⁾	30	30	30	180	180	360	360	360
	2 (Medium)	30	180	180	180	360	360	360	360	360
	1 (Lav)	180	180	180	360	360	360	360	360	360

1) 5 dager for andre typer av utstyr

Det vil si en kritisk feil på et utstyr som har konsekvensscore 2 (Medium) og tilhører redundansgruppe B, skal være korrigert i løpet av 180 dager. Ellers vil notifikasjonen havne i etterslepsstatistikken til selskapet, med unntak av om den er avviksbehandlet.

Bruk av feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist er et forsøk på å forenkle prioritering av korrektivt vedlikehold basert på viktigheten av utstyret og alvorligheten av feilen, slik at ressurser kan allokere der det haster mest. Prinsippet med å bruke en frist for korrigering, forankrer intensjonen om at feil ikke skal bli utestående og kunne utvikle seg over lang tid. Dersom fristene ikke overholdes uten gyldig avviksbehandling kan det derfor argumenteres for at intensjonen ikke lenger er ivaretatt. Merk at CMMS-systemet normalt vil tillate at re-prioritering gjennomføres av ledelse, slik at den kalkulerte feilkritikaliteten og

vedlikeholdsfristen kan overstyres dersom den er satt feil av CMMS-systemet. Dette kan for eksempel være relevant under spesielle driftsforhold, eller når forholdet er delvis korrigert og som medfører at feilkritikalitet ikke lenger er riktig.

3.6 Prioritering basert på kvantifisering av feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist

Ptil viser til Norsok Z-013 som angir krav for planlegging, gjennomføring og bruk av risiko- og beredskapsanalyse [3]. I standarden er det beskrevet at rangering av kritikalitet bør baseres på virkningen av feil og på tiden fra noe skjer (av feil/svikt) og til virkningen skjer på selve innretningen [30]. Da kalkulert feilkritikalitet er basert på tilstand av utstyr og redundansgrad og representerer virkning på funksjon, kan det argumenteres for at dette allerede er et uttrykk i prioriteringsmatrisen for «virkning av feil». Videre er vedlikeholdsfrister justert etter kalkulert feilkritikalitet og som følgelig kan delvis være et uttrykk for «tiden fra noe skjer og til virkningen». Det er her valgt å bruke begrepet «delvis» da uttrykket ikke nødvendigvis skiller mellom forskjellig feilutvikling basert på faktisk situasjon. For eksempel vil to notifikasjoner som er registrert med samme feilpåvirkning på et og samme utstyr (eller på to forskjellige utstyr med samme konsekvensklassifisering og redundansgrad), få samme kalkulerte feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist. Det vil si at en vurdering av hvorvidt den ene kan ha raskere feilutvikling enn den andre, ikke er eksplisitt inkludert i kalkuleringen. Dette kan muligens ses på som en konsekvens av modellens enkelhet og som kan argumentere for at helhetlige vurderinger av kalkulert feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist må gjøres for å verifisere det kalkulerte utfallet. Ptil predikerer at barrierer skal ivaretas på en helhetlig og konsistent måte, slik at risiko for storulykker reduseres så langt som mulig [1]. For tekniske barrierelementer, som faller innunder barrierestyring, finnes det flere verktøy som bransjen har utviklet for å ivareta det helhetlige fokuset på barrierer. For eksempel er bruken av barrieretilstandspanel (se kapittel 4.4) et verktøy som flere operatørselskaper benytter som en del av barrierestyringen og som et supplement til å styre prioritering av korrektivt vedlikehold.

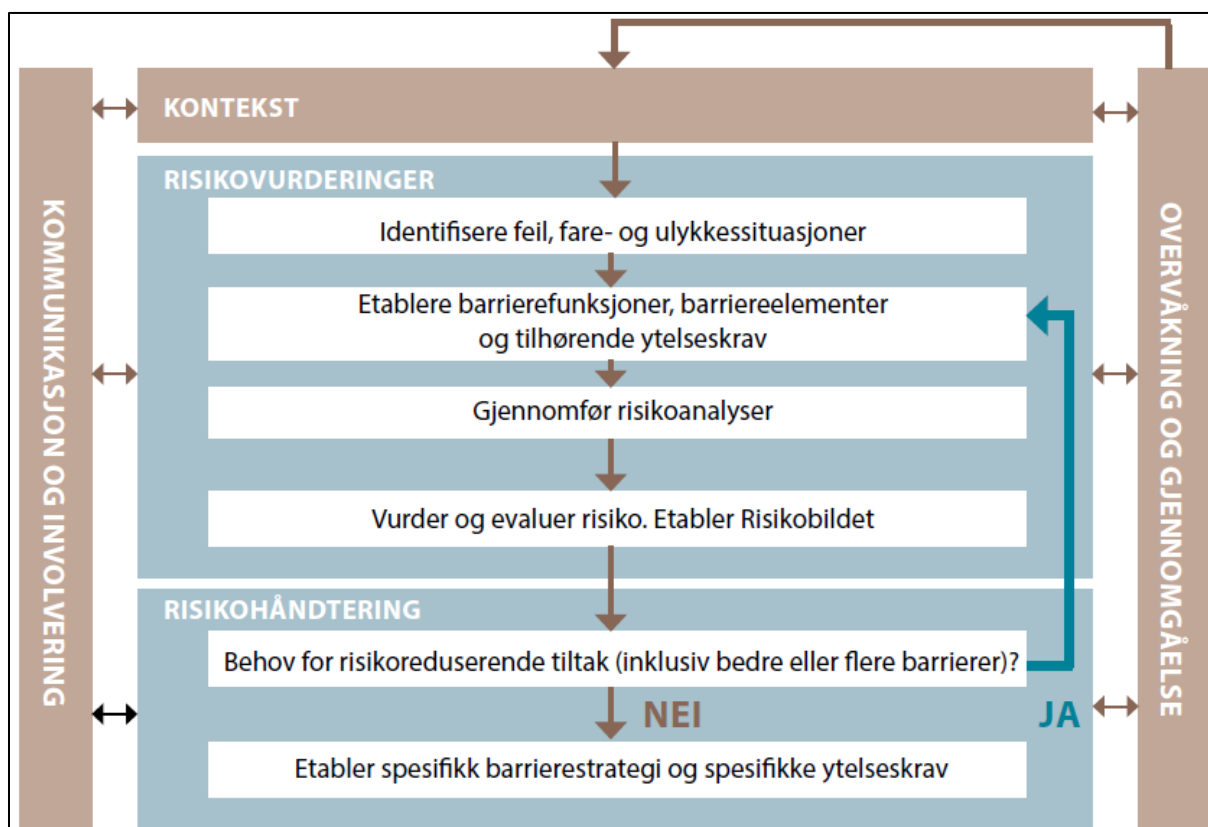
4. Barrierer

4.1 Barrierestyling

Risikostyring handler om å koordinere aktiviteter for å rettlede og kontrollere en organisasjon med hensyn til risiko [2]. Dette innebærer å vurdere, prioritere og sette inn ressurser på de områdene som gir best sikkerhetsmessig gevinst [31]. Barrierestyling er en integrert del av risikostyringen som igjen er en integrert del av selskapenes virksomhetsstyring og vil si å koordinere aktiviteter for å etablere og opprettholde barrierer slik at de til enhver tid kan ivareta sin funksjon [2]. Videre håndteres risikoen en står overfor, ved å ha en tydelig prosess for håndtering av feil, fare- og ulykkessituasjoner [2]. Barrierer er forøvrig definert i regelverket som *tiltak som har til hensikt enten å identifisere tilstander som kan føre til feil, fare- og ulykkessituasjoner, forhindre at et konkret hendelsesforløp inntreffer eller utvikler seg, påvirke et hendelsesforløp i en tilsiktet retning, eller å begrense skader og/eller tap* [2].

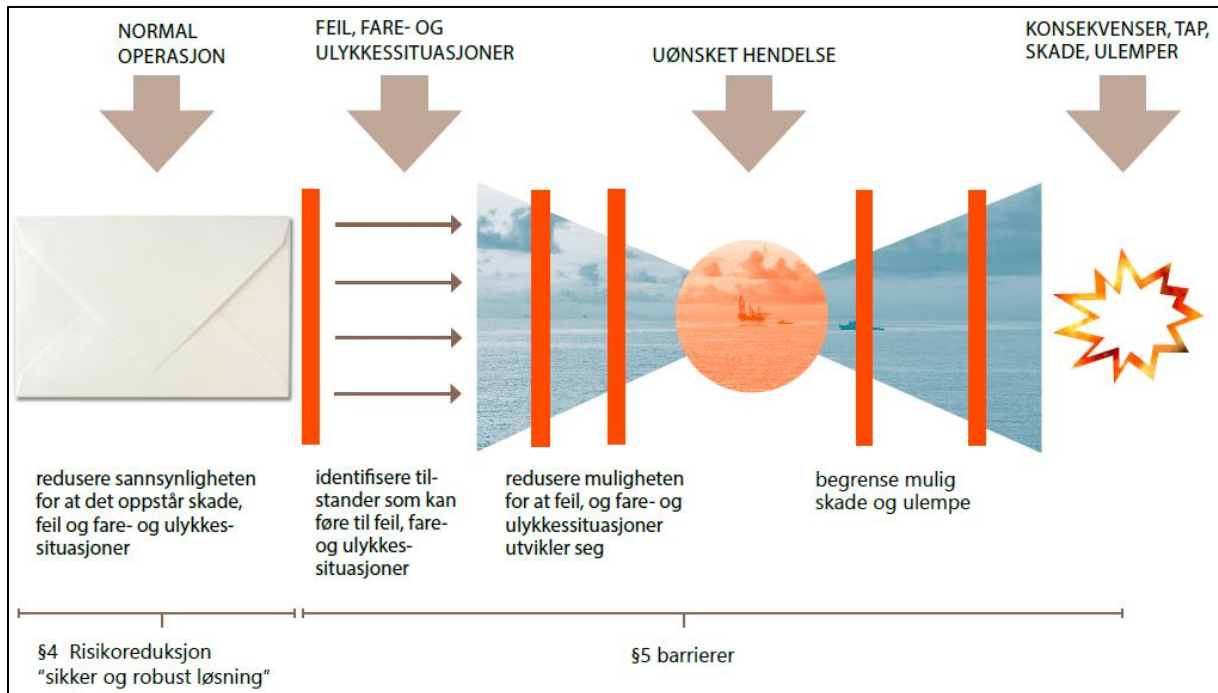
Barrierer skal etableres når en gjennom risikostyringsprosessen avdekker feil, fare- og ulykkessituasjoner hvor der er behov for ekstra beskyttelse [2]. Gjennom regelverket stilles det krav til at operatørselskapene analyserer sin egen virksomhet for å kartlegge farlige situasjoner som kan oppstå og utvikle seg og hvilke konsekvenser de ulike scenarioene kan gi [31]. Dette innebærer at en systematisk og kontinuerlig sikrer at de nødvendige barrierene er identifisert og til stede for å beskytte i feil, fare- og ulykkessituasjoner [2]. Videre skal situasjonene knyttes til risikobildet på en spesifikk innretning eller et anlegg, eller til et konkret område på innretningen eller anlegget [2]. Innretningsspesifikke barrierestrategier inngår i realiseringen av dette med å fungere som en plan for hvordan barrierefunksjoner, med utgangspunkt i risikobildet, skal implementeres for å redusere risiko [2]. Prosessen med å identifisere, vurdere og håndtere behov for barrierer som en del av barrierestyling kan illustreres som vist i Figur 5 nedenfor og tar utgangspunkt i forskriftskrav og ISO 31000 [2].

Figur 5 - Identifisere, vurdere og håndtere behov for barrierer [2]



Gjennom styringsforskriften, § 4 om risikoreduksjon og § 5 om barrierer, skiller regelverket mellom det å etablere løsninger som skal på best mulig måte være utformet slik at en unngår feil, fare- og ulykkesituasjoner og det å ha barrierer som skal hindre at feil og fare situasjoner utvikler seg til hendelser og skader, tap og ulempe [2]. Dette er vist i Figur 6 [2]:

Figur 6 - Regelverkets inndeling i risikoreduksjon og barrierer for skade, feil og fare- og ulykkesituasjoner [2]

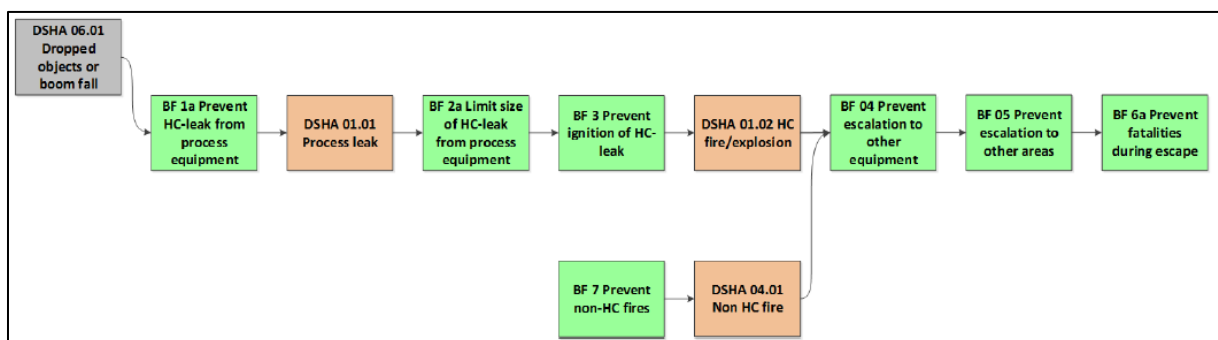


Basert på innretningsspesifikke analyser, eksempelvis for beredskap, miljørisiko, sikring og totalrisiko, identifiseres såkalte DFUer. Dette er definerte fare- og ulykkesituasjoner som kan medføre storulykker og kan for eksempel være hydrokarbonlekkasjer, alvorlige brønnehendelser og skader på bærende konstruksjoner og maritime systemer [31]. For å forhindre DFUene i å inntreffe og i å eskalere, identifiseres og etableres nødvendige barrierefunksjoner. En barrierefunksjon vil her si oppgaven eller rollen til barrieren [2].

4.2 Barrierefunksjoner og barrierelementer

I den innretningsspesifikke barrierestrategien beskrives sammenhengen mellom de identifiserte DFUene og de tilhørende barrierefunksjonene. Sammenhengen kan vises i form av et barrierergrid som er en områdespesifikk, grafisk representasjon av DFUer med storulykkepotensial (oransje) og korresponderende barrierefunksjoner (grønn) som skal forhindre og/eller redusere eskalering av farene. Et eksempel på et barrierergrid for et prosessområde på en olje- og gassinretning er gitt i Figur 7 [33].

Figur 7 - Eksempel på barrierergrid for et prosessområde på en innretning [33]

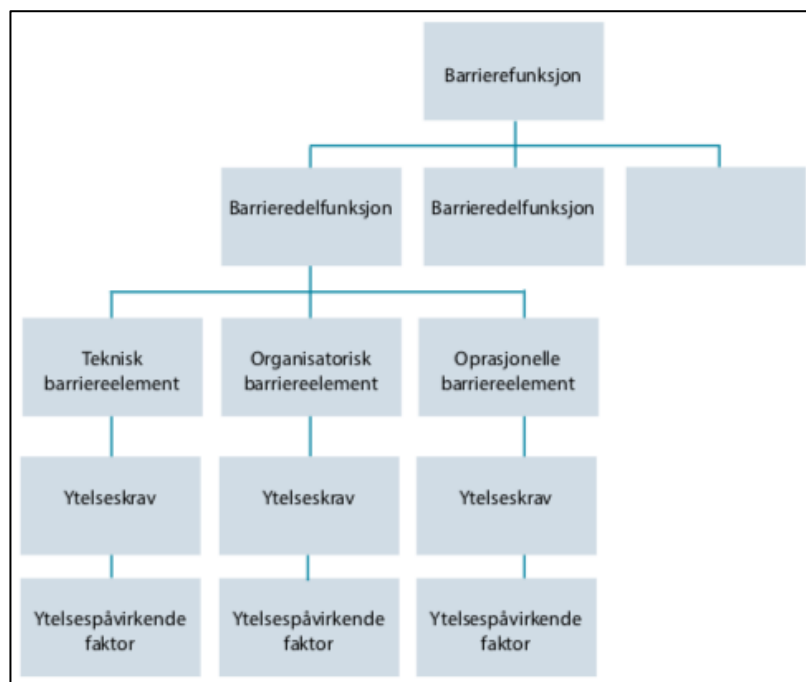


Diagrammet illustrerer en sekvens fra venstre til høyre, der sammenhengen mellom DFUer og de forskjellige sannsynlighets- og/eller konsekvensreducerende barrierefunksjonene fremkommer slik hendelsesforløpet kan utarte seg. For eksempel skal barrierefunksjon «BF 2a Limit size of HC-leak from process equipment» forhindre eskalering fra DFU «DSHA 01.01 Process leak» til DFU «DSHA 01.02 HC fire/explosion» ved å begrense størrelse av en hydrokarbonlekkasje fra prosessutstyr. Det kan i noen tilfeller også finnes DFUer som ikke har storulykkepotensial, men som likevel er en del av det totale risikobildet, eksempelvis personskader og arbeidsbetinget sykdom [31]. Barrierefunksjoner og barrierer elementer kan beskrives som et hierarki som består av følgende elementer [2]:

- **Barrierefunksjon (og eventuelt delfunksjon);** Funksjonen til barrierer (hva skal den gjøre?).
- **Barriereelement;** Spesifikt utstyr, personell og operasjon som skal bidra til å ivareta barrierefunksjon.
- **Ytelseskrav;** Etterprøvbare krav til barriereelementenes egenskaper.
- **Ytelsepåvirkende faktor;** Forhold som er identifisert til å ha betydning for barrierefunksjoner og barriereelementers evne til å fungere som tiltenkt.

En illustrasjon som viser hierarkiet er vist i Figur 8 [2]:

Figur 8 - Barrierhierarki [2]

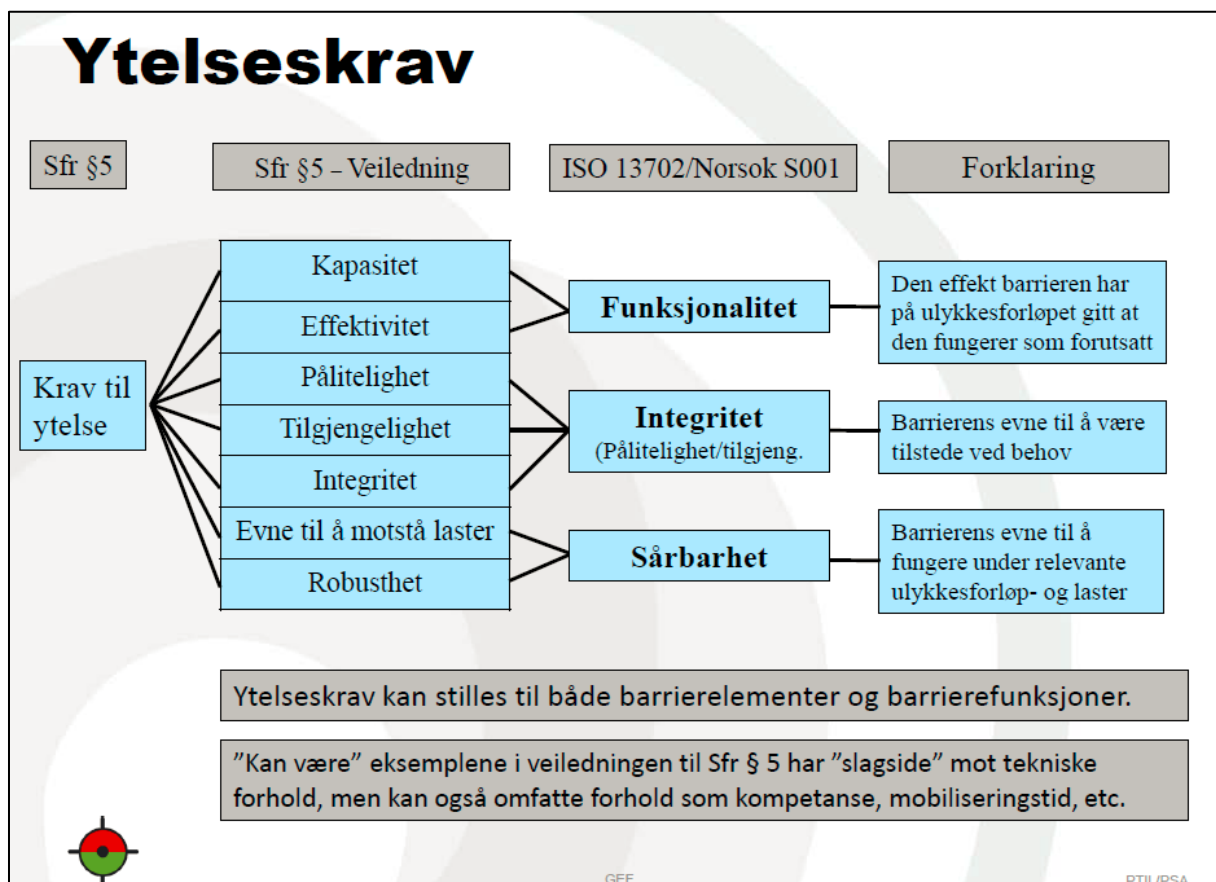


Barrierefunksjoner kan altså brytes ned til delfunksjoner som videre består av tekniske, operasjonelle eller organisatoriske barriereelementer, med tilhørende ytelseskrav og ytelsepåvirkende faktorer. Å forhindre antennelse kan være et eksempel på barrierefunksjon, der aktiv brannbekjempelse kan være en delfunksjon. Tekniske barriereelementer som vil inngå i realiseringen av aktiv brannbekjempelse kan for eksempel være brannpumpe og overrislingsventil. Barriereelementer defineres her som *tekniske*,

operasjonelle eller organisatoriske tiltak eller løsninger som inngår i realiseringen av en barrierefunksjon [2].

Ytelseskrav kan for eksempel være kapasitet av brannpumpe og åpningstid for overrislingsventil. Typer av ytelseskrav til barrierene defineres i både regelverket og i standarder henviset til i regelverket. Kravet til ytelse er forankret i styringsforskriften § 5 om barrierer, der det i veiledningen til forskriften nevnes typer av ytelseskrav. I Figur 9 nedenfor er sammenhengen mellom de forskjellige typene av ytelseskrav som nevnes i veiledningen og begreper brukt i standardene ISO 13702 og Norsok S-001 som regelverket henviser til, illustrert [12]:

Figur 9 - Ytelseskrav i regelverk, ISO 13702 og Norsok S-001 [12]



I henhold til regelverket skal barriereelementer ha ytelseskrav til følgende [12]:

- **Funksjonalitet**; Effekten av barrieren på hendelsesforløpet gitt at den fungerer som forutsatt.
- **Integritet**; Evne og til å være til stede ved behov.
- **Sårbarhet**; Evne til å fungere under relevante hendelsesforløp- og laster.

Ytelseskravene for de tekniske barriereelementer er typisk forankret i ytelsesstandarder, som beskriver hvilke krav som foreligger til det aktuelle system på innretningen. For å behjelpe i oppfølgingen av notifikasjoner, er det en vanlig tilnærming å videre definere hva som er vurdert til å være en sikkerhetskritisk svikt av et teknisk barriereelement. Ved å synliggjøre

definisjonen for bruker som oppretter notifikasjon på utstyr, forenkles prosessen med å kategorisere notifikasjonen riktig. Eksempler på tekniske barrierelementer og tilhørende sikkerhetskritisk svikt er gitt i Tabell 10 [16]:

Tabell 10 - Sikkerhetskritisk svikt av teknisk barrierelement [16]

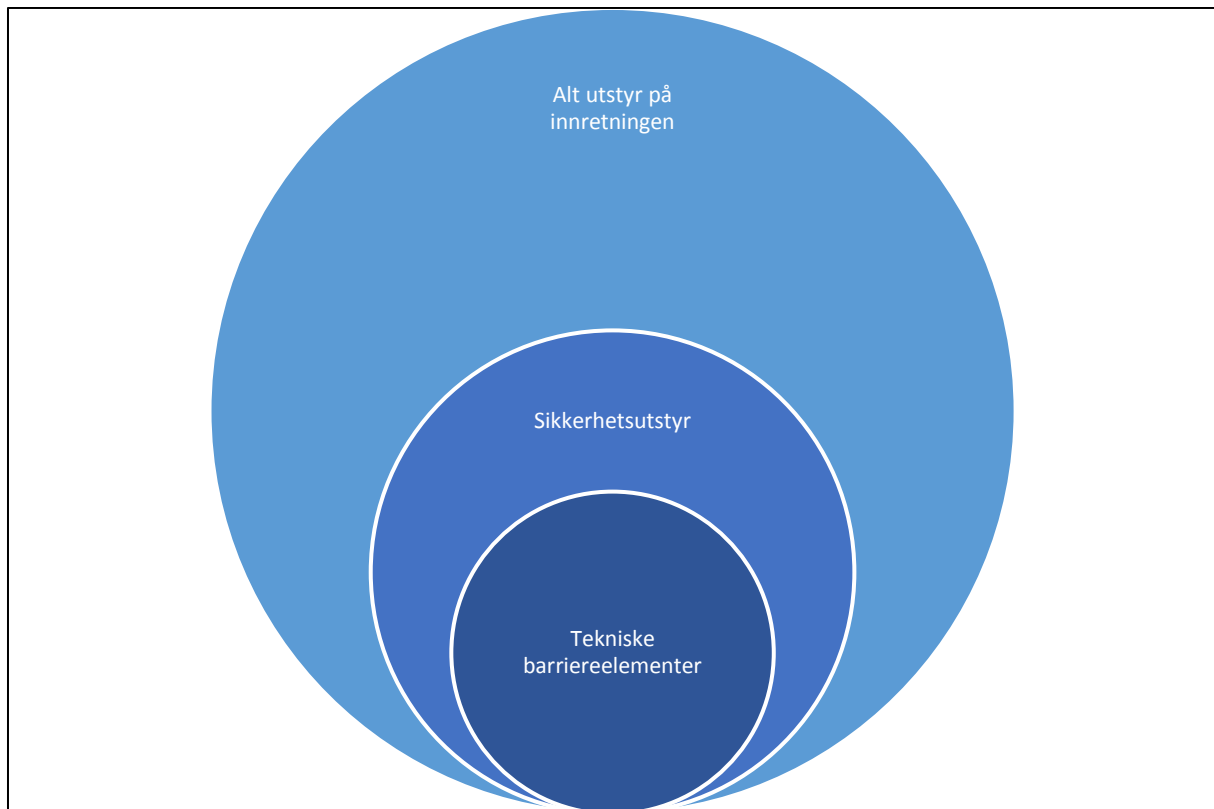
Teknisk barrierelement	Sikkerhetskritisk svikt
Fire Door	The door does not close and latch.
Fire Water Pump	The fire water pump delivers less than 90 % compared to design curve (capacity at required pressure).
Fire Water Pump Unit	The fire water pump unit fails to start on signal. The fire water pump fails to stop when defined as safety critical.
ESD Safety Critical Valve	The valve does not close on signal within specified permitted time. The valve has a higher internal leakage rate than the specified acceptance criterion.
Deluge Nozzle	3% of the nozzles of one skid are clogged, but not more that one nozzle within each distribution line is clogged.
Deluge Valve	The valve does not open on signal.

Det påpekes at kritisk feil (feilpåvirkning) ikke er begrenset til denne sviktdefinisjonen, men at den utgjør indikasjon på at et eller flere ytelseskrav ikke er oppfylt for det tekniske barrierelementet.

4.3 Annet sikkerhetskritisk sikkerhetsutstyr

For å skille ut utstyr som utgjør tekniske barrierelementer, er det vanlig at en i CMMS-systemet merker relevante tag som et teknisk barrierelement, eller som et utvalgt sikkerhetskritisk utstyr. Det er viktig å merke seg at de tekniske barrierelementene likevel ikke tilsvarer alt sikkerhetskritisk utstyr på en innretning, men at de er utvalgte som mer sikkerhetskritiske enn andre [29]. Det vil si at det i tillegg kan finnes utstyr som ikke inngår som en sentral del i realiseringen av en barrierefunksjon, men som likevel har et bidrag til sikkerhet. Dette utstyret vil heretter bli omtalt som *annet sikkerhetsutstyr* og utgjør sammen med de tekniske barrierelementene alt sikkerhetsutstyr på innretningen. Sammenhengen er illustreres i Figur 10:

Figur 10 - Inndeling av utstyr i sikkerhetsutstyr og tekniske barriereelementer



Det påpekes at barrierefunksjonenes rolle i å forhindre eller redusere eskaleringen av en storulykke, argumenterer for at de tekniske barriereelementene (som inngår i realiseringen av funksjonene) normalt vil ha det største relative bidraget til risikoreduksjon sammenlignet med annet sikkerhetsutstyr. For eksempel er det nærliggende å tro at en overrislingsventil (teknisk barriereelement) som skal løse ut overrisling i et relevant område, vil være mer kritisk i å forhindre og/eller redusere konsekvensene av en brann i området, enn en manuell brannslukker (annet sikkerhetsutstyr). Dette på bakgrunn av overrislingssystemets automatiske aktivering, dekning og mengde av brannvann.

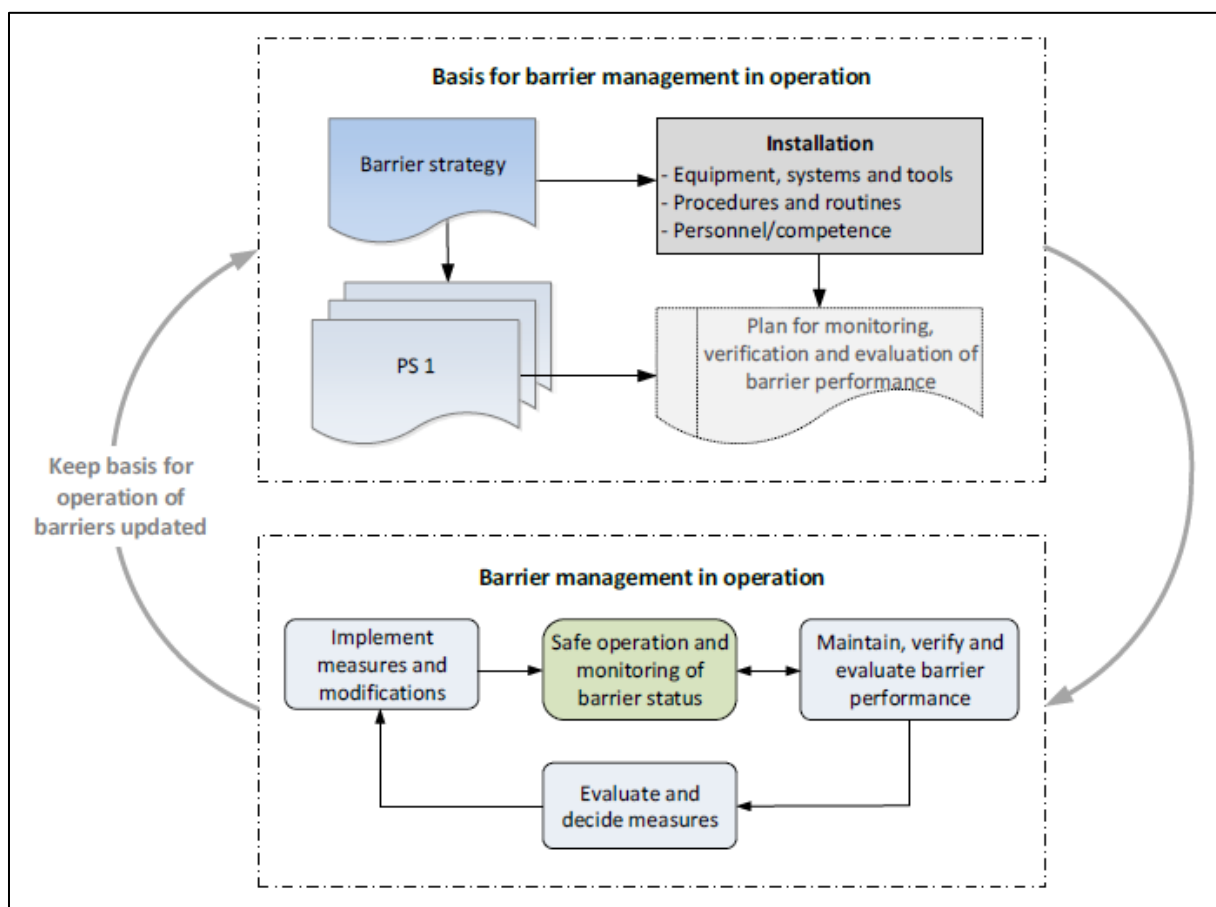
Merk at konsekvensklassifisering for både tekniske barriereelementer og annet sikkerhetsutstyr vil, i henhold til Norsok Z-008, resultere i en samlet konsekvensklassifisering lik 3 (Høy) ettersom utstyrsfeil representerer en høy konsekvens i kategorien sikkerhet [29].

4.4 Overvåking av status på barrierefunksjoner og barriereelementer i drift

Korrektivt vedlikehold av tekniske barriereelementer som er svekket eller ute av drift, inngår som en del av styringsløyfa for vedlikehold, der feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist er sentrale elementer i prioriteringen. I regelverket stilles det også krav til at det skal være kjent hvilke barrierer som er svekket eller ute av drift [10]. Det vil si at tilstanden, herunder korrektivt vedlikeholdsbehov, på de tekniske barriereelementene må overvåkes. Nødvendige tiltak skal videre iverksettes for å rette opp eller kompensere for manglende eller svekkede barrierer [10]. Dette indikerer at korrektivt vedlikeholdsbehov på tekniske barriereelementer bør behandles utover feilkritikaliteten og vedlikeholdsfristen som genereres i CMMS-systemet. Det økende fokuset på barrierestyling i bransjen for å forhindre storulykker,

deriblant kjennskap om sammenhengen av og status på barrierer, har medført at bruk av barrieretilstandspanel har fått en økende popularitet på norsk sokkel [34]. Et barrieretilstandspanel brukes til å overvåke tilstand på barrierer ved at de kartlagte barrierefunksjonene og barriereelementene har en status basert på relevant informasjon om tilstand og etterlevelse av ytelseskrav. Metodikken for å belyse status kan variere i forhold til operatørselskap og innretning, men den overordnede intensjonen er at barrieretilstandpanelet skal inngå som en aktiv del av barrierestyringen og som kan hjelpe til å ta beslutninger. For eksempel ved å foreta omprioritering av korrektivt vedlikehold på tekniske barrierelementer på bakgrunn av indikatorer i barrieretilstandpanelet. En forenklet illustrasjon av håndtering av barrierer i driftsfasen og som viser barrieretilstandspanelets rolle (grønn boks), er vist i Figur 11 [11]:

Figur 11 - Håndtering av barrierer i driftsfasen [11]



Av figuren ser en at håndtering av barrierer i driftsfasen består av fire hovedaktiviteter som kan oppsummeres slik [11]:

- **Sikker operasjon og overvåking av status på barrierer;** Sikker utførelse av operasjoner og overvåking av barrieretilstand (herunder barrieretilstandspanel).
- **Overholde, verifisere og evaluere barrierereytelse;** Overholde og sikre integritet av barrierer gjennom operasjon, inkludert verifikasjon og evaluering av barrierereytelse.
- **Evaluere og beslutte omkring tiltak;** Evaluere og beslutte omkring tiltak basert på barrierereytelse (herunder prioritering av korrektivt vedlikehold).

- **Implementere tiltak og modifikasjoner;** Implementere tiltak og modifikasjoner basert på barriereytelse og ytelseskrav (herunder korrektivt vedlikehold).

5. Innretningsspesifikk prioritering

5.1 Introduksjon

I dette kapitlet er identifisert metodikk for barrieretilstandspanel og kalkulering av feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist, presentert basert på gjennomgang av et operatørselskap på norsk sokkel. Dette er gjort ved å ta utgangspunkt i en eksisterende innretning som produserer olje og gass og som operatørselskapet mener er representativ for deres prioriteringsmetodikk som operatør. Metodikk er identifisert basert på tilgang til operatørselskapets CMMS-system, deltakelse i vedlikeholds- og planleggingsmøter og gjennomgang av dokumentasjon. Arbeidet er lagt frem ved å presentere operatørselskapets system for rapportering av feil på tekniske barrierelementer og hvilken metodikk for konsekvensklassifisering, feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist som er brukt. En gjennomgang av barrieretilstandspanel er også presentert, som etterfølges av hvordan prioritering skjer i praksis. For de følgende delkapitlene henvises det til bedriftsinterne datakilder som er presentert i kapittel 2.2.

5.2 Rapportering av feil på tekniske barriereelementer

Teknisk utstyr på innretningen er systematisert i et CMMS-system, der teknisk informasjon, konsekvensklassifisering, vedlikeholdsprogram og feilhistorikk knyttet mot et unikt tag. Utstyr som inngår i de tekniske barriereelementene er her definert på tag-nivå ved hjelp av en attributt som knytter tag mot riktig kategori av teknisk barrierelement. Det finnes for eksempel et teknisk barrierelement som kalles «Process Shut Down Valve (PSD)», der tilhørende tag er merket med denne kategorien i CMMS-systemet.

Utstysfeil som identifiseres i vanlig drift, eller i forbindelse med preventivt vedlikehold, rapporteres i CMMS-systemet ved å opprette en notifikasjon på relevant tag. Notifikasjoner som opprettes av brukere har status som «New» og settes i «Confirmed» når plattformledelse har kvalitetssikret innhold. Dette skal gjøres fortløpende. Informasjon som fylles inn er for eksempel beskrivelse av feil, kategorisering av feilpåvirkning og deteksjonsmetode. Et eksempel på en notifikasjon er vist i Figur 12:

Figur 12 - Rapporteringsvindu for en notifikasjon i CMMS [21]

Malfunction information			
Tag	50XV1004	Safety critical element (SCE)	Process Shut Down Valve (PSD)
Tag description	Export comp suct cooler SW supply	Safety critical failure (Dead)	The valve does not move to predefined safe position on signal within the specified permitted time.
Short description	Ventil lukket for seint ifm stoppen 07.06		
Safety function affected?	Yes		
Failure impact	Dead		
Detection method	By Chance		
<input type="checkbox"/> Scaffolding <input type="checkbox"/> Electric disengagement <input type="checkbox"/> Heat-trace <input type="checkbox"/> Drainage of system <input type="checkbox"/> Paint <input type="checkbox"/> Valve and blinding list <input type="checkbox"/> Remove Insulation <input type="checkbox"/> Rigging / Lifting equipment <input type="checkbox"/> Diffuse hydrocarbon leakage			
Long description	Ifm stoppen den 07.06 så feilet 50XV1004 på lukking. Den blei operert igjen 1 time etterpå og då brukte den for lang tid på å lukke. kravet er 16 og den brukte 24 sek. Det kom og inn ein PRI 1 alarm på den i kontrollrom ifm at den feilet på lukking. Ventilen er ein 8 tommer. Mulig at den første feilen har noe med tilbakmeldingen å gjøre eller så har ikkje ventilen klart å lukke heilt. Det har vi opplevd før på denne (EV5024)		
Priority calculation			
Calculated Priority	1. High	Due date modify	
Due date	2018.06.18	Due date modified user	
Prioritet	1. High	Priority overwrite user	
Reason for priority overwrite	None		
Comments: Risk and priority overwriting	Ventilen testes ved neste stopp. Lavt potensiale.		

For tag som tilhører tekniske barrierelementer synliggjøres det i notifikasjonsvinduet hvilket teknisk barrierelement det tilhører og en definisjon av sikkerhetskritisk svikt (kritisk feil) basert på ytelseskrav. Det påpekes at kritisk feil ikke er begrenset til dette, men at definisjonen utgjør et utgangspunkt for vurdering. Det er videre lagt inn en sikring mot feilrapportering på tekniske barrierelementer som heter «Safety function affected?», heretter forkortet SFA. SFA er automatisk satt lik sann ved opprettelse av notifikasjon og resulterer i at mulige valg av feilpåvirkning er begrenset til degradert eller kritisk feil. Ved manuell overstyring av SFA til usann, åpnes mulige valg av feilpåvirkning til å også inkludere begynnende feil. Denne overstyringen brukes dersom feilen ikke er relevant for utstyrets sikkerhetsfunksjon, der kategoriene kritisk, degradert og begynnende feil fungerer som kategorier for andre vedlikeholdsbehov. Eksempelvis kan SFA være satt lik usann når feil på utstyr er relatert til andre forhold som produksjon, arbeidsmiljø og så videre.

I notifikasjonen er også kalkulert feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist synliggjort, men med mulighet for manuell overstyring (re-prioritering) av plattformledelse og støtteavdeling på land. Dette kan for eksempel være relevant når den kalkulerte feilkritikaliteten eller vedlikeholdsfristen er satt feil av CMMS-systemet, under spesielle driftsforhold, eller når forholdet er delvis korrigert.

5.3 Konsekvensklassifisering og feilkritikalitet

Konsekvensklassifisering er gjennomført i henhold til metoden presentert i Norsok Z-008 og knyttet mot tag i CMMS-systemet. Det vil si at det er gjort vurderinger med hensyn til sikkerhet, miljø, produksjon, annet og begrensnig. Samlet konsekvensscore er gitt ved:

$$Konsekvensscore_{tag} = \max\{k. score_{sikkerhet}, k. score_{miljø}, k. score_{produksjon}, k. score_{annet}, k. score_{begrensning}\}$$

For alt sikkerhetsutstyr er det allokert en konsekvensscore lik 3 (Høy) for kategorien sikkerhet, som gir en samlet konsekvensscore lik 3 (Høy) for samtlige tag. For eksempel [21]:

Tabell 11 - Eksempler på samlet konsekvensklassifisering for tekniske barrierelementer og annet sikkerhetsutstyr [21]

Utstyr	Teknisk barriereelement ¹⁾	Samlet konsekvensklassifisering i CMMS
Hydrant	Nei	3 (Høy)
Manuell brannslukker	Nei	3 (Høy)
Overrislingsventil	Deluge Valve	3 (Høy)
Prosesstransmitter	Process Transmitter	3 (Høy)
Skumpumpe	Foam AFFF (mixture)	3 (Høy)
Trykkavlastningsventil	Blowdown Valve	3 (Høy)
Øyeskyllestasjon	Nei	3 (Høy)

1) Teknisk barriereelement i barrierestrategi

I genereringen av feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist skilles det dermed ikke mellom tekniske barrierelementer og annet sikkerhetsutstyr. Med utgangspunkt i prioriteringsmatrisen gitt i kapittel 3.5 (Tabell 9) vil det derfor være følgende del av prioriteringsmatrisen som er gjeldende for alle tekniske barrierelementer og annet sikkerhetsutstyr:

Tabell 12 - Prioriteringsmatrise for tekniske barrierelementer og annet sikkerhetsutstyr

Feilpåvirkning:		Kritisk feil			Degradert feil			Begynnende feil		
Redundansgruppe:		A	B	C	A	B	C	A	B	C
Konsekvensklassifisering av tag:	3 (Høy)	H: < 2	M: 30	M: 30	M: 30	L: 180	L: 180	U: 360	U: 360	U: 360

Matrisen viser kalkulert feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist (dager) og er basert på at tekniske barrierelementer og annet sikkerhetsutstyr har en samlet konsekvensklassifisering lik 3 (Høy). Merk at det i prioriteringsmatrisen ikke skilles mellom fristene som kalkuleres for redundansgruppe B og C. Basert på prioriteringsmatrisen kan en argumentere for at feil på sikkerhetsutstyr og tekniske barrierelementer skal korrigeres innenfor følgende intervaller dersom prioritering utelukkende baseres på prioriteringsmatrise og frister som er gitt i Norsok Z-008:

Tabell 13 - Tidsfristintervall for forskjellige konsekvens av feil

Konsekvens av feil	Tidsfrist	Intervall
H: Høy	< 2 dager	< 2 dager
M: Medium	30 dager	2 – 30 dager

L: Lav	180 dager	31 – 180 dager
U: Uprioritert	360 dager	181 – 360 dager

5.4 Barrieretilstandspanel

Innretningens barrieretilstandspanel er bygget opp for å synliggjøre sammenhengen mellom DFUer, barrierefunksjoner, delfunksjoner og tekniske barrierelementer. Tilstand på tekniske barrierelementer der sikkerhetsfunksjon er svekket eller ute av drift, er synliggjort både på tag og i form av aggregert status til barrierefunksjon og hovedområde. Verktøyet benyttes som et hjelpemiddel for plattformledelse og støtteavdeling på land til å vurdere tilstand på innretningens barrierer og om nødvendig iverksette tiltak eller re-prioritering av vedlikehold. Datakildene for barrieretilstandspanel er primært CMMS-systemet og i tillegg K-IMS (Kongsberg Information Management System) og Synergi. K-IMS er et verktøy som viser overbroinger og utkoblinger av utstyr og Synergi er verktøyet hvor avvik registreres, saksbehandles og godkjennes. Informasjon om korrektivt og preventivt vedlikehold kommer fra CMMS-systemet. Barrieretilstandpanelet har to visninger som er relevante for denne rapporten, som er kalt «Contributors» og «Barrier View».

Bidragstere

For korrektivt vedlikehold, herunder notifikasjoner, benyttes det et regelsett for barrierestatus (status av sikkerhetsfunksjon) på teknisk utstyr i barrieretilstandspanelet. Regelsettet gir barrierestatus på notifikasjon i form av et trafikklys (rød, gul eller grønn) basert på følgende regler:

1. Notifikasjon må være åpen (ikke avsluttet) og rapportert på en tag som er knyttet mot et teknisk barrierelement.
2. Sikkerhetsfunksjon må være påvirket (SFA er satt til sann).
- 3.

a) Dersom en re-prioritering er gjort på notifikasjon, er denne styrende for barrierestatus av notifikasjon på teknisk barriereelement:

Tabell 14 - Barrierestatus på notifikasjon ved re-prioritering [19]

Re-prioritering i CMMS	Høy	Medium	Lav	Uprioritert
Barrierestatus i barrieretilstandspanel	H ¹⁾	M ²⁾	L/U ³⁾	L/U ³⁾

1) Dersom notifikasjon er saksbehandlet og er knyttet mot et gyldig avvik, vil den gå over i gul barrierestatus.

2) Notifikasjon går over i rød status når vedlikeholdsfrist er passert.

3) Notifikasjon Ikke synlig i barrieretilstandspanel. Barrieretilstandspanel skiller ikke mellom lave og uprioriterte korrektive jobber.

b) Dersom notifikasjon ikke er re-prioritert, er feilpåvirkning rapportert på notifikasjon styrende for status barrierestatus av notifikasjon på teknisk barriereelement:

Tabell 15 - Barrierestatus på notifikasjon uten re-prioritering [19]

Feilpåvirkning i CMMS	Kritisk feil	Degradert feil	Begynnende feil

Barriерестatus i barrieretilstandspanel	H ¹⁾	M ²⁾	3)
--	------------------------	------------------------	----

1) Dersom notifikasjon er saksbehandlet og er knyttet mot et gyldig avvik, vil den gå over i gul barrierestatus.

2) Notifikasjon går over i rød status når vedlikeholdsfrist er passert.

3) Ikke mulig å velge denne kategori ved SFA satt til sann.

Relevante bidragsytere er listet opp i barrieretilstandspanelet i henhold til regelsettet og vist i en egen visning som kalles «Contributors». I visningen er bidragsyterne listet opp med relevant info som notifikasjonsnummer, tag, lokasjon, beskrivelse, feilpåvirkning, re-prioritering og eventuelt godkjente avvik som er knyttet opp mot notifikasjon. Eksempel på en bidragsyterliste fra en vilkårlig dato er vist i Figur 13:

Figur 13 - «Contributors» -visning i barrieretilstandspanel [35]

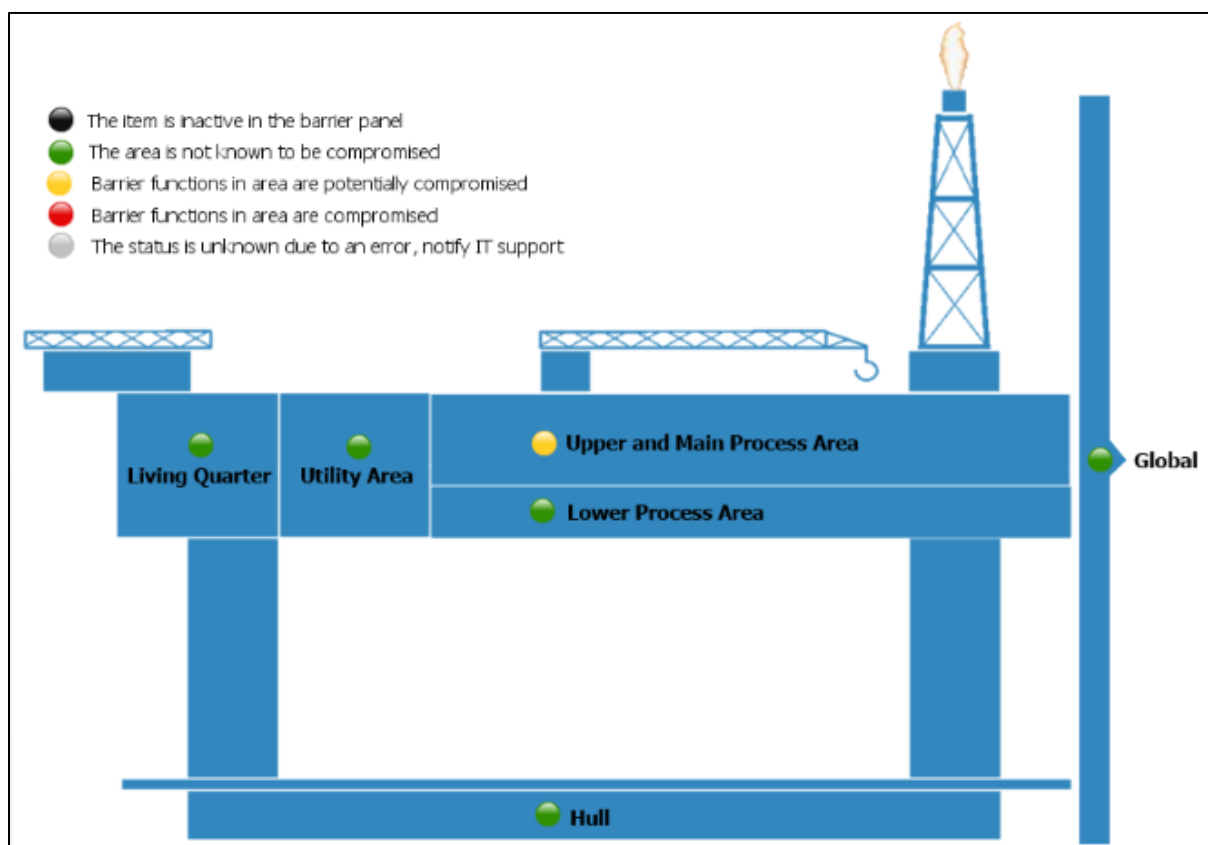
Name	Deviation	Type	Description	Safety Function Affected	PS Code	Element	Failure Impact (Re-Priority)	Due Date	Hours Planned	System	Tag	Location	Protected Areas	MAH	Maint. Status	Barrier Status	Comments (Risk and priority)
W00000390801	E261	CM	Ventil lukket for send Om stoppen 07.06	Yes	PS12	Process Shut Down Valve	Dead	10.09.2018***	15	50	50KV1004	P50H (UNPA)	UNPA	True	🟢	🟡	Ventilen testes ved neste stopp. Lavt potensiale.
W00000390800	E246	CM	Ventil lukket for send Om stoppen 07.06	Yes	PS12	Process Shut Down Valve	Dead (2. Medium)	10.09.2018***	15	45	45KV1180	R553 (UNPA)	UNPA	True	🟢	🟡	Ventilen testet og justert litt. Går nå på 4 sek (Crav 5sek)...
W00000397948		CM	Rør indikator virker ikke	Yes	PS14	LifeStart (FreeFall release function)	Seriously III	08.09.2018	3	76	76SA800	L32 (LC)	GL	True	🟢	🟢	Event ligger mot hoved tag (rivbåt 1). Livbåten er operativ ...
W00000397399		CM	70GRP324A-5004 HI alarm virker ikke	Yes	PS03	Gas Detector (optical line)	Seriously III (2. Medium)	27.08.2018	1	70	70GRP324A-5004	P50H (UNPA)	UNPA	True	🟢	🟢	Ny detektor er bestilt
38PST4108-201		OVR			PS12	Process Transmitter				38	38PST4108	P132 (LPA)	LPA	False	🟢	🟢	
W00000397103		CM	Feil info på tegstilt	No	PS09	Foam (AFFF) Mixture	Seriously III	18.08.2018	6	72	72KV4112	Q305 (UA)	UA	True	🟢	🟡	Sikkerhetsfunksjon er ikke påvirket
W00000347751		CM	Bytte aktuator	No	PS12	Process Shut Down Valve	Unwell (4. Very Low)	27.06.2018	65	13	13KV1120	R352 (UNPA)	UNPA	True	🟢	🟢	Endrer denne til opprinnelig kritikalitet. Aktuatoren er bor...
W00000347756		CM	Rust i aktuator og fjør	No	PS12	Process Shut Down Valve	Unwell (4. Very Low)	27.06.2018	48	13	13KV1120	R352 (UNPA)	UNPA	True	🟢	🟡	Endrer denne til opprinnelig kritikalitet. Aktuatoren er bor...
W00000339617		CM	Aktuator lekket i etase	No	PS04	ESD Safety Critical Valve	Unwell	02.04.2018	19	43	43ESV1015	FD (GL)	UNPA	True	🟢	🟡	SD-Jobb. Ventil fungerer
W00000389027		CM	Hængler hengsle og 'plate'	No	PS12	Process Shut Down Valve	Seriously III	27.09.2018	23	20	20KV2114	P542 (UNPA)	UNPA	True	🟢	🟢	Sikret midlertidig med ståttips
W00000347757		CM	Rust i aktuator og fjør	No	PS12	Process Shut Down Valve	Unwell (4. Very Low)	27.06.2018	47	13	13KV1120	R353 (UNPA)	UNPA	True	🟢	🟡	Endrer denne til opprinnelig kritikalitet. Aktuatoren er bor...
W00000397397		CM	Sår i hydraulikk stangen.	No	PS12	Process Shut Down Valve	Seriously III	27.08.2018	1	20	20KV11213	P505 (UNPA)	UNPA	True	🟢	🟡	Påvirker ikke funksjon til ventilen
W00000372965		PM	Sjekk Shut Down Valve, v/aktuator, B/M ALGAS/OLGAS		PS12	Process Shut Down Valve		31.05.2018	20					True	🟢	🟢	
W00000372966		PM	Sjekk Shut Down Valve, v/aktuator, B/M ALGAS/OLGAS		2 P5es	2 elements		01.07.2018	20					True	🟢	🟢	
W00000372967		PM	Sjekk Shut Down Valve, v/aktuator, B/M ALGAS/OLGAS		2 P5es	2 elements		31.07.2018	30					True	🟢	🟢	

I visningen er det også vist en skiftenøkkel som indikerer status på vedlikehold i forhold til vedlikeholdsfrist (rød når vedlikeholdsfrist er passert). Denne har ingen betydning i aggregering av informasjon til barrierefunksjon og er kun ment som informasjon i forhold til vedlikeholdsfrister. Vekting av viktighet og redundansbetraktninger er også inkludert i barrieretilstandspanel, men disse vurderingene er kun benyttet i den videre aggregeringen av informasjon til barrierefunksjon og hovedområde.

Aggregering til hovedområder

I visningen «Barrier View» presenteres det en aggregert barrierestatus til hovedområder på innretningen som er separert fra hverandre med brann og eksplosjonsvegger; boligkvarter, hjelpeområde, nedre prosessområde, hoved- og øvre prosessområde og skrog. Hovedområdene er spesifisert i den innretningsspesifikke barrierestrategien og barrierestatus er i form av en trafikklysfarge (rød, gul eller grønn). I barrieretilstandspanelet er det i tillegg visualisert et hovedområde kalt «Global» som ikke er et fysisk brannområde, men som representerer en aggregert status for de barrierefunksjonene går på tvers av brannområdene. Figur 14 viser et eksempel på aggregering til hovedområder fra en vilkårlig dato:

Figur 14 - «Barrier View» visning i barrieretilstandspanel [35]



Aggregering til hovedområde er basert på antall røde og gule barrierefunksjoner innenfor hovedområdet. Dette gjøres å summere vektet bidrag (ΣBF_{bidrag}), der røde barrierefunksjoner gir et bidrag på 1 per stykk og gule barrierefunksjoner gir et bidrag på 0,5 per stykk. Aggregert status for hovedområde fastsettes slik:

Tabell 16 – Aggregering av barrierefunksjonsstatuser til hovedområde [19]

Grenseverdi	$\Sigma BF_{bidrag} \geq 2$	$2 > \Sigma BF_{bidrag} \geq 1$	$\Sigma BF_{bidrag} < 1$
Aggregert status for hovedområde	H	M	L/U ¹⁾

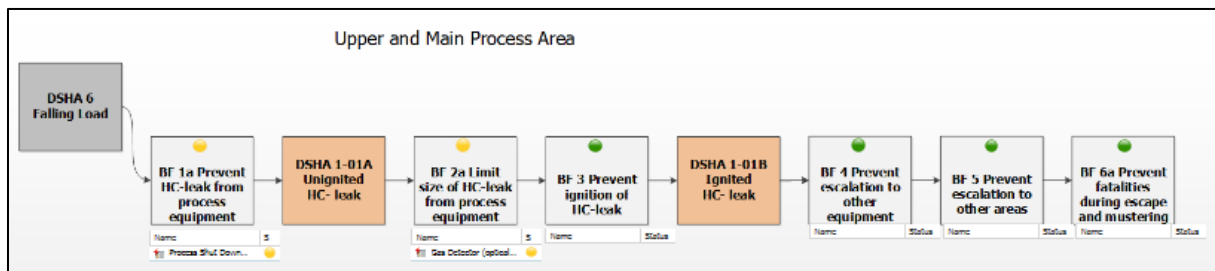
3) Barrieretilstandspanel skiller ikke mellom lave og uprioritert status.

Det vil si at dersom det kun foreligger tre gule barrierefunksjoner ($\Sigma BF_{bidrag} = 1,5$) innenfor et hovedområde, så vil hovedområdet få gul status.

Aggregering til barrierefunksjon

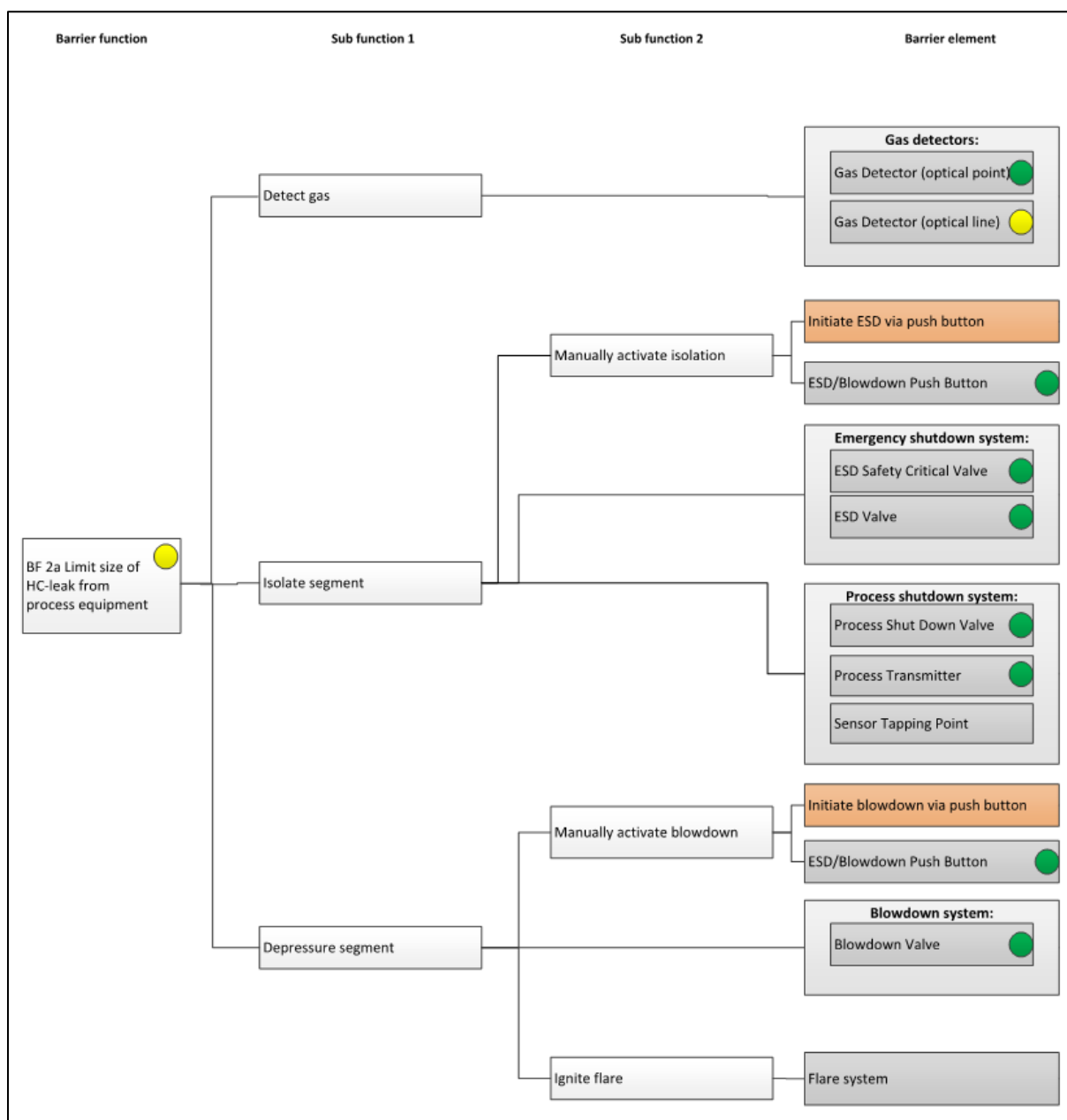
DFUene og de tilhørende barrierefunksjonene synliggjøres dersom en navigerer seg ned innenfor et hovedområde. Barrierestatus for barrierefunksjon er her i form av en trafikklysfarge (rød, gul eller grønn). For eksempel er det i henhold til barrierefilosofi følgende barriererid som er gjeldende for prosess hoved- og øvredekk:

Figur 15 - Barrieregrid for prosess hoved- og øvredekk [35]



I tillegg til prosess hoved- og øvredekk, vil også boligkvarter, hjelpeområde, nedre prosessområde, skrog og «global» ha hver deres egen barrieregrid som er avhengige av gjeldende DFUer og tilhørende barrierefunksjoner innenfor hovedområdene. Barriereelementene som inngår i realiseringen av den enkelte barrierefunksjon synliggjøres videre i form av et barrierediagram ved å navigere ned til innenfor barrierefunksjon. For eksempel for «BF 2a Limit size of HC-leak from process equipment»:

Figur 16 - Barrieredigram for "BF 2a Limit size of HC-leak from process equipment" i hovedområdet prosess hoved- og øvredekk [35]



Merk at Figur 16 er noe modifisert sammenlignet med gjeldende barrierestrategi og barrieretilstandspanel. Dette er gjort i samarbeid med anonymisert operatørselskap ettersom både barrierestrategi og barrieretilstandspanel er under revidering der endringene som er gjort vil bli implementert. Videre er statuslys på subfunksjoner ikke er vist i Figur 16 ettersom subfunksjoner ikke har noe aggregeringsbidrag og dermed ikke er relevant for rapporten. «Sensor Tapping Point» og «Flare system» har per dags dato ikke statuslys i barrieretilstandspanel ettersom dette er under implementering.

Aggregering til barrierefunksjon er basert på barrierestatus (notifikasjon) til tekniske barrierelementer, der viktighet av teknisk barrierelement tas i betraktning. Dette gjøres ved at hver notifikasjon innenfor en barrierefunksjon bidrar med en rød eller gul score som er et

produkt av notifikasjonens barrierestatus (rød, gul eller grønn basert på regelsett forklart i «Bidragsytere») og vektet viktighet av tilhørende tag:

Ved rød notifikasjon, gis rød score (R) ved:

$$R = \text{Bidragsyterscore}_{\text{notifikasjon}} = \text{viktighet}_{\text{barriereelement}}$$

Ved gul notifikasjon, gis gul score (G) ved:

$$G = \text{Bidragsyterscore}_{\text{notifikasjon}} = \text{viktighet}_{\text{barriereelement}} * 0,5$$

Aggregering fra notifikasjon til barrierefunksjon er gjort ved å summere opp rød score (ΣR) og gul score (ΣG) innenfor barrierefunksjon og fastsette aggregert status slik:

Tabell 17 - Aggregering av barrierestatuser for tekniske barrierelementer til barrierefunksjon [19]

Grenseverdi	$\Sigma R \geq 20$	$20 > \Sigma R \ \& \ (\Sigma R + \Sigma G) \geq 10$	$(\Sigma R + \Sigma G) < 10$
Aggregert status for barrierefunksjon	H	M	L/U ¹⁾

3) Barrieretilstandspanel skiller ikke mellom lave og uprioritert status.

Det vil si at det er kun sum av rød score som kan sette barrierefunksjon til rød.

Vektet viktighet og redundans

Vektet viktighet er forhåndsdefinert for alle tag i barrieretilstandspanelet og er satt basert på hvilken kategori av teknisk barriereelement det tilhører. Det vil si at vektet viktighet er satt på kategorinivå og ikke individnivå. Vektet viktighet har til hensikt å skille mellom ulike typer av tekniske barriereelementers relative bidrag i en barrierefunksjon. Bidraget er estimert basert på en konservativ «engineering judgement» i tverrfaglige møter der blant annet plattformledelse, teknisk sikkerhetsingeniør og risikorådgiver har vært representert. Bidraget måles på en skala fra 1 til 20, der 20 er et vektet bidrag som er høyt nok til at en kritisk feil (på et tilhørende tag) vil medføre rød barrierestatus av barrierefunksjon som betyr at barrierefunksjon potensielt er ute av drift. Basert på bruksområdet er vektet viktighet definert i denne rapporten som en *tverrfaglig vurdering av et teknisk barrierelements forventede innflytelse i en barrierefunksjon, uttrykket ved et vektet tall fra 1 til 20, der 20 medfører en reell mulighet for tap (eller betydelig svekkelse) av barrierefunksjonen(e) den tilhører.*

Eksempler på vekting av tekniske barrierelement [19]:

Tabell 18 - Eksempler på vektet viktighet av teknisk barrierelement [19]

Kategori av teknisk barriereelement	Vektet viktighet
Blowdown Valve	20
Deluge Nozzle	20
Deluge Valve	20

Foam (AFFF) Mixture	15
PA System (Loudspeakers), Sirens and Signal Lights	4
UPS & Battery Bank	5

Vekting kan for eksempel for «PA System (Loudspeakers), Sirens and Signal Lights» være satt basert på at innretningen er designet med en overdimensjonert dekning av høyttalere, sirener og signallys, som gjør at bortfall av flere enheter i samme område ikke vil gå på bekostning av mønstring (redundansbetraktning). Eller at det for «Foam (AFFF) Mixture» er vurdert til at brannskum ikke er av samme viktighet som brannvann («Deluge Valve», «Deluge Nozzle») ettersom brannskum fungerer som en forbedring av brannvannet (ved å typisk blande 1% skumkonsentrat), men at det er brannvannet som er hovedbarrieren.

5.5 Prioritering av korrektivt vedlikehold

Når feil på utstyr oppdages, foretas det vurderinger og prioritering av korrektivt vedlikehold basert det identifiserte forholdets omfang. Dette skjer i hovedsak i tre steg:

1. **Av utførende personell;** Når feil og degraderinger oppdages ute i felt, foretas det en vurdering av personellet som er på stedet. Dersom forholdet er svært alvorlig og/eller lett å korrigere, kan det oppstå tilfeller der det foretas en håndtering (korrigerende eller kompenserende tiltak) på stedet. I slike tilfeller skal det likevel opprettes en notifikasjon i CMMS-systemet for å dokumentere og loggføre feilhistorikk. I de andre tilfellene opprettes det en notifikasjon i CMMS-systemet som går til plattformledelse for vurdering.
2. **Av plattformledelse;** Notifikasjoner som registreres i CMMS-systemet skal til plattformledelse for kontroll og verifikasjon, deriblant kalkulert feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist. Plattformledelse er da ansvarlig for at det blir foretatt en prioritering på hvorvidt korrektivt vedlikehold eller strakstiltak skal iverksettes. Dersom forholdet er svært alvorlig og/eller lett å korrigere, kan det oppstå tilfeller der det foretas en håndtering (korrigerende eller kompenserende tiltak) før støtteavdeling på land har rukket å bli involvert.
3. **Av støtteavdeling på land;** I de fleste tilfeller er notifikasjoner gjenstand for en kontroll og verifikasjon hos støtteavdeling på land, deriblant kalkulert feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist. Videre følges disse opp i form av planlegging for når og hvordan og en skal få korrigert forholdet. Prioritering i forhold til når forholdet skal korrigeres skjer da i hovedsak på to måter; Ved bruk av kalkulert vedlikeholdsfrist og ved bruk av barrieretilstandspanel. Disse er beskrevet nærmere nedenfor.

Feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist

Vedlikeholdsplaner genereres av planleggere på land og er basert på feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist, tilgjengelige ressurser og deler. Prioritering av korrektivt vedlikehold vil da normalt skje ved at planleggerne danner seg en oversikt over alle korrektive jobber som forfaller. Basert på vedlikeholdsfrister og tilgjengelige ressurser, planlegges det videre for utførelse slik at utestående korrektivt vedlikehold minimeres. I planleggingen gjøres også vurderinger i forhold til synergieffekter, for eksempel ved at flere korrektive jobber på et og samme utstyr gjøres samtidig. Videre vil det finnes andre faktorer som spiller inn, som for eksempel vær- og vindforhold som kan medføre en fremskyndelse eller utsettelse av den

korrektive jobben. I tilfeller hvor det ikke er mulig å møte vedlikeholdsfrist, initieres det en avviksbehandling for å sikre at en utsettelse er vurdert i en tverrfaglig saksgang og at nødvendige kompenserende tiltak er iverksatt. Vedlikeholdsfrist vil da bli forlenget til det gyldige avvikets forfallsdato.

Plan for utførelse av vedlikehold kommuniseres til utførende personell og plattformledelse ved at støtteavdeling på land sender ut vedlikeholdsplaner som angir rekkefølge og datoer for utførelse av de forskjellige jobbene. Rekkefølgen av arbeidet er basert på hva som er vurdert til å være viktigst eller som er i ferd med å forfalle. I tillegg holdes det daglige morgenmøter og ukentlige planmøter mellom land og hav der jobbene diskuteres.

Barrieretilstandspanel

Synliggjøringen av relevant informasjon på tekniske barrierer i barrieretilstandspanelet benyttes til å gjøre helhetlige vurderinger for korrektivt vedlikeholdsbehov på daglig basis. Det vil si at relevante notifikasjoner og svekkelser på tekniske barrierelementer som flagges i «Contributors» og i «Barrier View» ses i sammenheng, for å vurdere hvorvidt aktiviteter skal fremskyndes eller at det skal implementeres kompenserende tiltak. I utgangspunktet er alt utstyr med rød barrierestatus gjenstand for en håndtering som tilsvarer høy prioritet, uavhengig av om kalkulert feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist generert av CMMS-systemet er lavere. Dette er for å aktivt ta grep omkring korrektivt vedlikehold av utstyr som er av særlig betydning for en storulykke. Det påpekes at dette kun vil gjelde for de typer av notifikasjoner som faktisk er belyst i barrieretilstandspanelet.

[5.6 Observasjoner i kalkulert prioriteringsmetodikk](#)

Forskjeller i prioritering basert på kalkulert feilkritikalitet og status i barrieretilstandspanel er identifisert og diskutert nedenfor.

Redundans

I tidligere revisjoner av Norsok Z-008, er ikke barrierefunksjoner og barriereelementer eksplisitt omtalt i samme grad som i siste revisjon (2017) der begge begrepene er inkludert. I denne revisjonen påpekes det at barrierefunksjoner, som er identifisert i en storulykkekontekst, kan differensiere i fra hoved- og subfunksjoner identifisert ved konsekvensklassifisering [14]. Forskjellig inndeling av funksjon kan i så måte medføre at redundansbetraktninger som er gjort for barrierefunksjoner (i en barrierestrategi), kan avvike fra vurderingene som er gjort for hoved- og subfunksjoner i en konsekvensklassifisering. Dette kan eksemplifiseres ved å se på aktiv brannbekjempelse for helikopterdekket til den anonymiserte innretningen, som i hovedsak består av et dekkintegreert grenrørsystem (med dyser) og 3stk brannkanoner. I henhold til Norsok S-001 som gjelder teknisk sikkerhet og som regelverket også viser til, kan et dekkintegreert grenrørsystem og brannkanoner benyttes istedenfor hverandre [47]. Det vil si at det på norsk sokkel finnes flere innretninger som kun har et av de to systemene for aktiv brannbekjempelse på helikopterdekket. I konsekvensklassifisering for innretningen er det likevel ikke gitt kreditt for redundans av de to funksjonene. På den andre siden benytter ikke barrieretilstandspanel redundansbetraktninger som er foretatt i konsekvensklassifisering, men vektet viktighet for teknisk barriereelement som inkluderer redundansbetraktninger på kategorinivå. Dette er forøvrig kun ved aggregering til barrierefunksjon og ikke for

barrierestatus på utstyrsnivå. Argumentet for dette er at operatørselskapet ikke ønsker å benytte redundansbetraktninger gjort i konsekvensklassifiseringen eller i barrierestrategi i vurderingen av utstyrets tilstand og prioritet, men at denne informasjonen skal benyttes når helhetlige vurderinger gjøres på barrierefunksjonsnivå. Hensikten med dette er å sikre at fokus og prioritet av å korrigere feil på tekniske barrierelementer fremdeles foreligger ved redundans. Dette fordi sårbarhet og integritet av barrierefunksjon kan være svekket, selv om funksjonaliteten på barrierefunksjonsnivå fremdeles er intakt. Videre vil det kunne foreligge pålitelighetskrav til sikkerhetsfunksjoner som ikke er møtt når redundans er svekket. Basert på dette kan det argumenteres for at kreditering av redundans i kalkulert feilkritikalitet, vil feilaktig kunne gi vedlikeholdsfrister som er lengre enn operatørselskapets eget ønske.

Prioriteringsforskjell

I den presenterte prioriteringsmatrisen foreligger det ingen differensiering mellom tekniske barrierelementer og annet sikkerhetsutstyr. Notifikasjoner rapportert på samme dag, med lik feilpåvirkning og redundansgrad, vil få lik feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist uavhengig av om disse er rapport på teknisk barrierelementer eller annet sikkerhetsutstyr. Dersom ingen manuelle overstyringer gjøres og ingen begrensninger foreligger så vil notifikasjonene i teorien bli prioritert og korrigert på samme tidspunkt i fremtiden. Annet sikkerhetsutstyr er likevel ikke belyst i barrieretilstandpanelet, med det argument at det er feil på de tekniske barrierelementene som har det største relative bidraget med tanke på en storulykke. På bakgrunn av dette, kan det argumenteres for at operatørselskapet i en prioriteringssammenheng, vil ønske å prioritere feil på tekniske barrierelementer fremfor annet sikkerhetsutstyr. Det påpekes at dette er en generisk betraktning og at det vil kunne foreligge situasjoner der dette ikke er tilfellet.

Barrierestatus og kalkulert feilkritikalitet

Status for notifikasjoner på tag som er definert som teknisk barrierelementer, vil kunne differensiere i CMMS-systemet og i barrieretilstandspanel. Basert på metodikk for kalkulasjon av feilkritikalitet i CMMS-systemet og aggregeringsregler i barrieretilstandspanel, er det identifisert hvilke prioriteringsforskjeller som ligger til grunn i de to systemene. Forskjellene er presentert nedenfor.

For notifikasjoner med SFA satt lik sann, som ikke er re-prioritert, foreligger følgende prioriteringer:

Tabell 19 - Prioriteringer for notifikasjoner med SFA satt lik sann, som ikke er re-prioritert

Feilpåvirkning (SFA satt lik sann):	Kritisk feil			Degradert feil		
	A	B	C	A	B	C
Redundansgrad:	A	B	C	A	B	C
Kalkulert feilkritikalitet (CMMS)	H	M	M	M	L	L
Barrierestatus (kritikalitet i barrieretilstandspanel)	H	H	H	M	M	M

For notifikasjoner med SFA satt lik sann, som er re-prioritert, foreligger følgende prioriteringer:

Tabell 20 - Prioriteringer for notifikasjoner med SFA satt lik sann, som er re-prioritert

Feilpåvirkning (SFA satt lik sann):	Kritisk feil				Degradert feil			
Re-prioritert kritikalitet (CMMS)	H	M	L	U	H	M	L	U
Barrierestatus (kritikalitet i barrieretilstandspanel)	H	M	L/U ¹⁾	L/U ¹⁾	H	M	L/U ¹⁾	L/U ¹⁾

1) Ikke synlig i barrieretilstandspanel. Barrieretilstandspanel skiller ikke mellom lave og uprioriterte korrektive jobber.

For notifikasjoner med SFA satt lik usann, som ikke er re-prioritert, foreligger følgende prioriteringer:

Tabell 21 - Prioriteringer for notifikasjoner med SFA satt lik usann, som ikke er re-prioritert

Feilpåvirkning (SFA satt lik usann):	Kritisk feil			Degradert feil			Begynnende feil		
Redundansgrad:	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Kalkulert feilkritikalitet (CMMS)	H	M	M	M	L	L	U	U	U
Barrierestatus (kritikalitet i barrieretilstandspanel)	L/U ¹⁾	L/U ¹⁾	L/U ¹⁾	L/U ¹⁾	L/U ¹⁾	L/U ¹⁾	L/U ¹⁾	L/U ¹⁾	L/U ¹⁾

1) Ikke synlig i barrieretilstandspanel. Barrieretilstandspanel skiller ikke mellom lave og uprioriterte korrektive jobber.

For notifikasjoner med SFA satt lik usann, som er re-prioritert, foreligger følgende prioriteringer:

Tabell 22 - Prioriteringer for notifikasjoner med SFA satt lik usann, som er re-prioritert

Feilpåvirkning (SFA satt lik usann):	Kritisk feil				Degradert feil			
Re-prioritert kritikalitet (CMMS)	H	M	L	U	H	M	L	U
Barrierestatus (kritikalitet i barrieretilstandspanel)	L/U ¹⁾	L/U ¹⁾	L/U ¹⁾	L/U ¹⁾	L/U ¹⁾	L/U ¹⁾	L/U ¹⁾	L/U ¹⁾

1) Ikke synlig i barrieretilstandspanel. Barrieretilstandspanel skiller ikke mellom lave og uprioriterte korrektive jobber.

De relevante forskjellene i utfallet av kalkulert feilkritikalitet i CMMS-systemet og barrierestatus i barrieretilstandpanelet er vist i Figur 17 og Figur 18:

Figur 17 - Forskjeller i kalkulert feilkritikalitet og barrierestatus ved SFA satt lik sann

Notifikasjon SFA: Sann Feilpåvirkning: Kritisk feil Redundansgrad: B	Kalkulert feilkritikalitet Medium	CMMS-system Barrieretilstandspanel	Kommentar Kalkulert feilkritikalitet er lavere enn barrierestatus
	Barrierestatus Høy		
Notifikasjon SFA: Sann Feilpåvirkning: Kritisk feil Redundansgrad: C	Kalkulert feilkritikalitet Medium	CMMS-system Barrieretilstandspanel	Kommentar Kalkulert feilkritikalitet er lavere enn barrierestatus
	Barrierestatus Høy		
Notifikasjon SFA: Sann Feilpåvirkning: Degradert feil Redundansgrad: B	Kalkulert feilkritikalitet Lav	CMMS-system Barrieretilstandspanel	Kommentar Kalkulert feilkritikalitet er lavere enn barrierestatus
	Barrierestatus Medium		
Notifikasjon SFA: Sann Feilpåvirkning: Degradert feil Redundansgrad: B	Kalkulert feilkritikalitet Lav	CMMS-system Barrieretilstandspanel	Kommentar Kalkulert feilkritikalitet er lavere enn barrierestatus
	Barrierestatus Medium		

Figur 18 - Forskjeller i kalkulert feilkritikalitet og barrierestatus ved SFA satt lik usann

Notifikasjon SFA: Usann Feilpåvirkning: Kritisk feil Redundansgrad: A	Kalkulert feilkritikalitet Høy	CMMS-system Barrieretilstandspanel	Kommentar Kalkulert feilkritikalitet er høyere enn barrierestatus
	Barrierestatus Lav/Uprioritert		
Notifikasjon SFA: Usann Feilpåvirkning: Kritisk feil Redundansgrad: B	Kalkulert feilkritikalitet Medium	CMMS-system Barrieretilstandspanel	Kommentar Kalkulert feilkritikalitet er høyere enn barrierestatus
	Barrierestatus Lav/Uprioritert		
Notifikasjon SFA: Usann Feilpåvirkning: Kritisk feil Redundansgrad: C	Kalkulert feilkritikalitet Medium	CMMS-system Barrieretilstandspanel	Kommentar Kalkulert feilkritikalitet er høyere enn barrierestatus
	Barrierestatus Lav/Uprioritert		
Notifikasjon SFA: Usann Feilpåvirkning: Degradert feil Redundansgrad: A	Kalkulert feilkritikalitet Medium	CMMS-system Barrieretilstandspanel	Kommentar Kalkulert feilkritikalitet er høyere enn barrierestatus
	Barrierestatus Lav/Uprioritert		

Ved notifikasjoner med SFA satt lik sann, så vil det ved kreditering av redundans i konsekvensklassifiseringen, medføre en lavere feilkritikalitet i CMMS-systemet sammenlignet med barrierestatus i barrieretilstandspanel. Dette medfører at vedlikeholdsfrist som genereres i CMMS-systemet er lengre enn kritikalitet i barrieretilstandspanel tilsier.

Viktighet og konsekvens

Konsekvensklassifiseringen som gjort for tag på innretningen, skiller ikke mellom tekniske barrierelementer eller annet sikkerhetsutstyr. Dette resulterer i en samlet konsekvensklassifisering lik 3 (Høy) uavhengig av om tag er definert som et teknisk barrierelement eller om det er et annet sikkerhetsutstyr. Det vil si at konsekvensklassifiseringen i begrenset grad er egnet for operatørselskapet til å skille ut det tekniske utstyret som er vurdert (i barrieresammenheng) til å være «det viktigste av det viktige». I barrieretilstandspanelet er tekniske barrierelementer på sin side differensiert fra hverandre ved bruk av vektet viktighet, på en skala fra 1 til 20. Vektet viktighet benyttes i barrieretilstandspanelet ved helhetlige vurderinger av barrierefunksjoners tilstand. Fordelen med vektingen er at operatørselskapet kan fremskynde korrigerende tiltak på tekniske barrierelementer som har høy vektet viktighet for å sikre at det økte risikobidraget snarlig reduseres, uten å nødvendigvis vente til vedlikeholdsfrist er i ferd med å passere. På bakgrunn av at operatørselskapet har satt vekting selv, kan det argumenteres for at det vil være i deres egen interesse at vedlikeholdsfrister for tekniske barrierelementer er justert i forhold til viktigheten av utstyret. Vurderingene som ligger til grunn for vektet viktighet er likevel ikke inkludert i prioriteringsmatrisen slik den foreligger.

6. Drøfting

6.1 Generelt

At vedlikeholdsstyring og barrierestyring henger sammen kan begrunnes i at vedlikehold bidrar til å verifisere, opprettholde og gjenopprette ytelsen til barrierer [2]. Vedlikehold har herunder tre sentrale bidrag til barrierestyring [2]:

- Opprettholdelse og eventuelt gjenoprettelse av den tekniske delen av den sikre og robuste løsningen slik at en ikke kommer i feil, fare- og ulykkessituasjoner.
- Opprettholdelse og eventuelt gjenoprettelse av ytelsen til de tekniske barriereelementene.
- Verifisering av ytelsen av den tekniske delen av en sikker og robust løsning og de tekniske barriereelementene.

Dersom en tar for seg de sentrale bidragene kan en se følgende sammenheng mellom vedlikeholdsstyring og barrierestyring:

- **Verifisere**; Ved preventivt vedlikehold overvåkes, inspiseres og funksjonstestes ytelsen til barrierer.
- **Opprettholdelse**; Ved preventivt vedlikehold forebygges og forlenges ytelsen til barrierer.
- **Gjenopprette**; Ved korrektivt vedlikehold gjenoprettes ytelsen til barrierer.

Barrierestyringsprosessen kan videre knyttes spesifikt opp mot flere av elementene fra styringssløyfa, der noen eksempler er [36]:

- Rammeverket for barrierestyringsprosessen som inkluderer operatørselskapets mandat og forpliktelse, gir rammene i form av ressurser. Styringssløyfa indikerer at der er en balanse mellom ressursbehov og ønsket resultat i form av teknisk tilstand, som dernest påvirker både risiko og regularitet. I barrierestyring er derimot hovedfokuset teknisk tilstand som påvirker risikoen og ikke regularitet av produksjon.
- Barrierestrategien vil for tekniske barrierelementer med tilhørende ytelseskrav, være førende for etableringen av mål, krav og vedlikeholdsprogram i styringssløyfa. Vedlikeholdsprogrammet i styringssløyfa vil være med på å opprettholde ytelsen av de tekniske barriereelementene.
- Vedlikeholdsutførelse er i styringssløyfa direkte knyttet til iverksettelse av driftsrutiner og kompenserende tiltak ved tekniske barrierelementer som er ute av drift.
- Rapportering av vedlikehold, testing og inspeksjon i styringssløyfa er som nevnt med på å verifisere barriereytelse.

For korrektivt vedlikehold vil grad av viktighet av arbeidet som utføres variere ut ifra utstyr og feilpåvirkning. Feilpåvirkning kan variere fra begynnende feil der ytelse ikke er påvirket, til kritiske feil der ytelsen er svekket og i verste fall utstyr ute av drift. Bruken av kalkulert feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist og barrierestatus i barrieretilstandspanel utgjør modeller med intensjon om å optimalisere vedlikeholdsstyring og/eller barrierestyring. I de fleste tilfeller vil det være umulig å fange opp alle nyanser av en virkelighet og enhver modell vil

derfor i beste fall være en tilnærming av virkeligheten [37]. Tilnærmingen kan videre beskrives som en analytikers forsøk på å representere et system eller prosess [37]. Det vil si at både kalkulert feilkritikalitet, vedlikeholdsfrist og barrierestatus i barrieretilstandspanel, er basert på et sett av antakelser og forutsetninger som sammen forenkler fremstillingen av den virkelige situasjon. For eksempel er ikke feilutviklingsperiode, tiden fra en notifikasjon omkring utstyrets tilstand er identifisert og til faktisk bortfall av sikkerhetsfunksjon, særlig representert i de to metodene.

6.2 Egenskaper ved modellene (kumulert kritikalitet og barrieretilstandspanel)

I litteraturen finnes det flere aspekter som en mener er sentrale egenskaper ved modellens gyldighet og bruksverdi. I [38] nevnes det for eksempel viktige egenskaper ved modeller som forbedrer menneskers evne til å gjøre vurderinger. Eksempler på dette er at modellen bør være [38]:

- **Enkel**; Dess enklere modellen er, desto lettere vil den være å forstå.
- **Fullstendig vedrørende viktige komponenter**; Viktige aspekter som er av betydning for beslutningstaker bør tas i betraktning, eventuelt eksplisitt komme frem hva som er ekskludert slik at beslutningstaker kan integrere resultatene med sin egen tankegang angående disse faktorene.
- **Enkel å kontrollere**; Modellens utfall bør være mer eller mindre forutsigbare basert på kjent input slik at den er logisk, samtidig som den gir ny informasjon til beslutningstaker.
- **Stabil**; Gitt at det gis fornuftig input til modellen bør det ikke kunne genereres ulogiske (for eksempel sterkt overdrevne) resultater som reduserer modellens troverdighet.
- **Fleksibel**; Modellen bør kunne respondere til endrede behov eller vinklinger slik at beslutningstakers tankegang kan integreres med resultatene fra modellen uten at vedkommende må gjøre alle mulige avveininger som input til modellen.
- **Lett å bruke**; Vanskelige modeller blir sjeldent brukt og skyldes ofte grensesnittet mellom bruker og modellen istedenfor modellens struktur som sådan som ikke viser enkle sammenhenger eller oppsummeringer av resultater.

Egenskapene anses i denne rapporten som relevante for å kunne vurdere egenskaper ved modellene for kalkulert kritikalitet, vedlikeholdsfrist og barrieretilstandspanel. Ved å vurdere de listede egenskapene og dernest foreta en krysning av modellene, kan det potensielt identifiseres en oppdatert og forbedret metodikk. Det påpekes at det i litteraturen kan finnes andre forhold og egenskaper som er relevante, men at det i rapporten er valgt å gjøre en avgrensning til disse. Vurderinger av egenskaper:

Egenskap: Enkel

Enkelhet kan defineres som det motsatte av kompleksitet og betegner gjerne renhet og klarhet [48]. Det vil si å være enkel, ublandet og usammensatt og gjør arkitekturen lettere å forklare, forstå og vedlikeholde [48].

Kumulert feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist:

Matrisebasert metodikk, der alle kombinasjoner av utfall basert på feilpåvirkning, redundansgrad og konsekvensklassifisering kan leses av. Begrenset til fire mulige utfall (2 dager, 30 dager, 180 dager og 360 dager / Høy, Medium, Lav og Uprioritert). Bakenforliggende metodikk for konsekvensklassifisering er ikke synliggjort direkte i prioriteringsmatrise, men samtidig av mindre interesse da alle tekniske barrierelementer og annet sikkerhetsutstyr likevel har samme konsekvensklassifisering 3 (Høy). Bakenforliggende metodikk for redundansbetraktninger er ikke synliggjort i matrise. Eventuell re-prioritet overstyrer konsekvensklassifisering og redundansgrad.

Barrieretilstandspanel:

Aggregeringsbasert metodikk der flere utfall skjer på teknisk barrierelement, barriererefunksjon og hovedområde. Barrierestatus på tag er utelukkende basert på re-prioritering eller feilpåvirkning. Vektet viktighet av teknisk barrierelement benyttes ved videre aggregering til barriererefunksjon, der rød og gul score benyttes basert på vektet viktighet og barrierestatus.

Sammenligning:

Barrierestatus på tag er enklere og mer usammensatt enn kalkulert kritikalitet da status er utelukkende basert på feilpåvirkning eller re-prioritet. Ved aggregering av barrierestatus til barriererefunksjon, øker kompleksitet ved at vektet viktighet i kombinasjon med feilpåvirkning benyttes til å kalkulere rød og gul score som sammenlignes mot grenseverdier. Bruk av aggregering til barriererefunksjon fordrer bruk av barrierediagram til å foreta helhetlige vurderinger som igjen forutsetter en viss kompetanse og forståelse av risiko blant personell som skal foreta prioriteringer.

Egenskap: Fullstendig vedrørende viktige komponenter

Fullstendighet er oversatt fra det engelske ordet «completeness» som kan defineres som den tilstanden av å være fullstendig og hel [49]. Det vil si å ha alt som er nødvendig [49].

Kalkulert feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist:

Inkluderer feilpåvirkning, redundansgrad og konsekvensklassifisering. Vedlikeholdsfrist settes basert på anbefalte tidsfrister som er gitt i Norsok Z-008 og inkluderer ikke en eksplisitt vurdering av feilutviklingsperiode. Redundansgrad er basert på metodikk i Norsok Z-008, som kan differensiere fra redundansgrad i barrieresammenheng på bakgrunn av forskjeller i inndeling av hoved- og subfunksjoner, sammenlignet med barriererefunksjoner.

Barrieretilstandspanel:

Inkluderer re-prioritet og feilpåvirkning i barrierestatus. Vurdering av konsekvens er implisitt inkludert ved at det er foretatt en vurdering i barrierestrategi på hvilket utstyr som skal inngå i barrieretilstandspanel som teknisk barrierelement med størst bidrag i forhold til en storulykke. Vektet viktighet av teknisk barrierelement benyttes ved videre aggregering til barriererefunksjon, der rød og gul score benyttes basert på vektet viktighet og barrierestatus.

Sammenligning:

Bruk av aggregering til barriererefunksjon fordrer bruk av barrierediagram til å foreta helhetlige vurderinger der vektet viktighet og sammenhengen mellom barrierelementer og barriererefunksjoner vurderes for å foreta prioriteringer. Feilutviklingsperiode er ikke eksplisitt

inkludert i aggregeringen, men er naturlig å inkludere når en helhetlig vurdering av risiko skal gjøres. I kalkulert kritikalitet og vedlikeholdsfrist begrenses den helhetlige vurderingen ved at status foreligger kun på individnivå og at den ikke settes i sammenheng med andre systemer for beslutningstaker.

Egenskap: Enkel å kontrollere

Verifiserbarhet er oversatt fra det engelske ordet «verifiable» som kan defineres som evnen til å bli testet (verifisert eller forfalsket) ved eksperiment eller observasjon [50].

Kalkulert feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist:

Utfall av kalkulert feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist vil av bruker kunne verifiseres mot prioriteringsmatrisens oppsett i forhold til feilkritikalitet, redundansgrad og konsekvensklassifisering. Verifikasjon av utfall mot faktisk bakenforliggende antakelser og vurderinger gjort, er derimot mindre sannsynlig så lenge det ikke foreligger en prosess for en helhetlig vurdering av situasjon.

Barrieretilstandspanel:

Utfall av barrierestatus vil av bruker kunne verifiseres mot re-prioritering eller feilpåvirkning. Verifikasjon av aggregert status til barrierefunksjon vil kunne verifiseres ved å se på bidragsytternes røde og gule score (herunder vektet viktighet) og sammenligne summen av disse mot gitte grenseverdier. Verifikasjon av utfall mot faktisk bakenforliggende antakelser og vurderinger fordrer bruk av en helhetlig vurdering av situasjon. Barrieretilstandspanelet intensjon er at det skal foretas helhetlige vurderinger omkring risiko ved å belyse informasjon om utstyr og dens bidrag i en barrierefunksjon, slik at prioritet kan baseres på den helhetlige vurderingens utfall.

Sammenligning:

Både verifikasjon av kalkulert kritikalitet og vedlikeholdsfrist i forhold til prioriteringsmatrise og barrierestatus mot re-prioritering eller feilpåvirkning, anses som gjennomførbart for beslutningstaker. Dette er basert på at verifikasjon ikke krever annen kompetanse av beslutningstaker enn å sammenligne mot et enkelt regelsett. Aggregering av barrierestatus til barrierefunksjon kan derimot vurderes som en noe mer komplisert verifikasjon, ettersom mengden av mulige utfall ikke er inkludert i en matrise som bruker enkelt kan sammenligne mot. Basert på at vektet viktighet kan ha utfall fra 1 – 20, vil antall mulige utfall av kombinasjonen vektet viktighet og feilpåvirkning/re-prioritet være langt flere enn utfallene som er gitt i prioriteringsmatrisen for kalkulert kritikalitet. Bruken av barrieretilstandspanel fordrer på sin side en helhetlig vurdering, der eventuelle feil i antakelser, aggregering og kritikalitet har mulighet for å bli fanget opp.

Egenskap: Stabil

I begrepet «stabilitet» legges ofte betydningen «tilstrekkelig sikkerhet mot utglidning» uten at dette er kvantifisert [51]. Det vil si at modellens utfall bør være forutsigbare og troverdig, dersom den skal kunne forbedre menneskers evne til å gjør vurderinger [38].

Kalkulert feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist:

Redundansgrad er basert på metodikk i Norsok Z-008 og kan differensiere fra redundansgrad i barrieresammenheng på bakgrunn av forskjeller i inndeling av hoved- og subfunksjoner,

sammenlignet med barrierefunksjoner. Kreditering av redundansgrad i prioriteringsmatrisen kan følgelig gi utfall der vedlikeholdsfrist er lengre enn ønskelig for tekniske barriererlementer.

Barrieretilstandspanel:

Vektet viktighet og eventuelle redundansbetraktninger ikke inkludert i barrierestatus, men i aggregering til barrierefunksjon. Denne metodikken medfører en konservativ tilnærming på bidragsyternivå, men som håndteres på barrierefunksjonsnivå når helhetlige vurderinger gjøres.

Sammenligning:

Kalkulert feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist vil, spesielt i redundanstilfeller, kunne gi utfall som ikke er i henhold til operatørselskapets intensjon for tekniske barriererlementer. På den andre siden kan det i barrieretilstandspanelet oppleves gule og røde lys på barrierefunksjon selv om funksjonen av barrierefunksjon ikke er redusert. I en helhetlig vurdering er likevel dette elementer som bør kunne forventes at fanges opp og håndteres deretter.

Egenskap: Fleksibel

Fleksibel kan bety bøyelig eller smidig [52]. Å være bøyelig eller smidig tolkes her som modellens evne til å være tilpasningsdyktig.

Kalkulert feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist:

Alle vurderinger, inkludert redundansbetraktninger, gjøres på individnivå som øker muligheten til å differensiere mellom forskjellige individer. På den andre siden begrenser konsekvensklassifiseringen individuelle vurderinger ved at alle individer som tilhører et teknisk barriererlement, eller som inngår som et annet sikkerhetsutstyr, har samlet konsekvensklassifisering lik «Høy».

Barrieretilstandspanel:

I barrieretilstandspanelet benyttes vektet viktighet for de forskjellige typer av tekniske barriererlementer på en skala fra 1 til 20. Vektingen er satt på kategorinivå og ikke på tagnivå. Det vil si at alle tag som tilhører samme kategori av teknisk barriererlement, arver samme vektet viktighet, uavhengig av om noen individer realistisk sett kan ha en lavere viktighet.

Sammenligning:

Barrieretilstandspanel er noe mer fleksibel i vurderingen av viktighet av utstyret, da det skilles mellom typer av utstyr ved bruk av vektet viktighet. Kalkulert kritikalitet og vedlikeholdsfrist er noe mer fleksibel i forhold til redundansbetraktninger, da disse gjøres på individnivå. Som det likevel allerede er påpekt, kan denne differensiere fra redundansgrad i barrieresammenheng.

Egenskap: Lett å bruke

Lett å bruke henger sammen med det som kalles brukervennlighet. Brukervennlighet betyr at den som skal bruke en løsning eller modell, klarer å bruke den på en måte som en selv oppfatter som god [53].

Kalkulert feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist:

Prioriteringsmatrisens oppsett og begrensede antall mulige utfall, gir en forholdsvis enkel metodikk som det er rimelig å anta at bør være lett å bruke. Ved at notifikasjoner registreres med feilpåvirkning, vil CMMS-systemet enkelt generere en vedlikeholdsfrist basert på kalkulert feilkritikalitet der informasjon om tag (konsekvensklassifisering og redundansgrad) allerede er gitt. Planleggere kan dernest benytte vedlikeholdsfrister til å allokere korrektive jobber slik at forfallsfrister best mulig overholdes.

Barrieretilstandspanel:

Barrierestatusens fremstilling i rød, gul eller grønn farge basert på feilpåvirkning eller re-prioritet begrenser forenkler antall mulige utfall til et antall som enkelt kan forstås. Ved aggregering til barrierefunksjon vil aggregeringsreglenes bruk av rød og gul score (herunder vektet viktighet) medføre at bruker må ha noe mer kompetanse i forhold til hvilke aggregeringsregler som gjelder for å forstå status av barrierefunksjon i rød, gul eller grønn farge. Bruken av farge er derimot forenkler i den forstand at trafikklysprinsippet er en relativt veletablert og dermed intuitiv, metode som retter fokus mot de barrierefunksjonene som potensielt er påvirket (røde og gule).

Sammenligning:

Kalkulert kritikalitet og vedlikeholdsfrist er en metodikk som er enkel å forholde seg til når allokering av korrektive jobber skal gjøres, men som ikke belyser sammenhengen mellom utstyr (tekniske barrierelementer) som har en viktig rolle i realiseringen av en barrierefunksjon. De genererte vedlikeholdsfristene kan derfor feile i å tilegne fokus på korrektive jobber som bør få ekstra prioritet i lys av hvilken rolle det berørte utstyret har i forhold til en storulykke. Barrieretilstandspanelet forenkler fremstilling av en kompleks sammenheng av tekniske barrierelementer som inngår i realiseringen til barrierefunksjoner, er derimot med på å sikre helhetlige vurderinger som kan fange opp dette.

Oppsummering

Basert på sammenligning av kalkulert kritikalitet og barrieretilstandspanel kan følgende konstanteres:

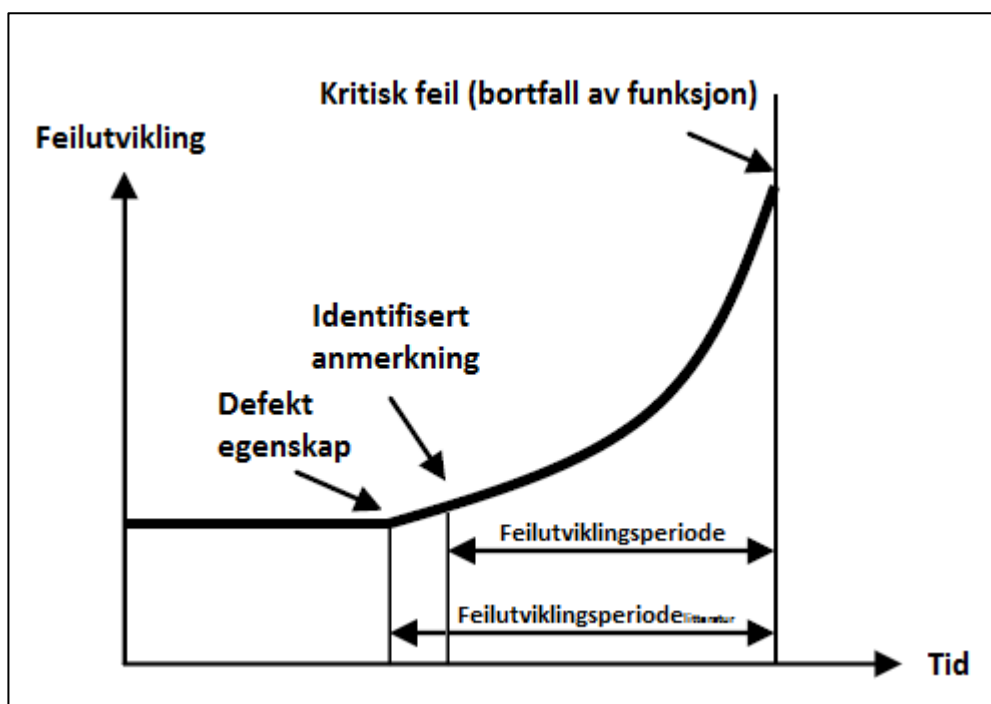
- Kalkulert feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist er en noe enklere metodikk (prioriteringsmatrise) enn barrieretilstandspanel (aggregering og helhetlig vurdering).
- Den helhetlige vurderingen som er en forutsetning ved bruk av barrieretilstandspanel, hjelper å fange korrektive jobber som bør få ekstra prioritet i lys av utstyrets rolle i en barrierefunksjon.
- Kreditering av redundansgrad ved kalkulert kritikalitet og vedlikeholdsfrist kan gi en vedlikeholdsfrist som er lengre enn ønskelig. Metodikken har på sin side en styrke at redundansbetraktninger gjøres på individnivå, istedenfor kategorinivå.
- Konsekvensklassifiseringen resulterer i at alle tekniske barrierelementer og annet sikkerhetsutstyr får en samlet konsekvensklassifisering lik 3 (Høy). Vektet viktighet i barrieretilstandspanelet medfører at en kan skille relativ viktighet blant kategorier av tekniske barrierelementer.

Det påpekes her at kvaliteten av den helhetlige vurderingen vil være avhengig av flere forhold som for eksempel hvilken informasjon som er inkludert og hvilken kompetanse analysegruppen innehar og i hvilken frekvens vurderinger gjøres fortløpende.

6.3 Feilutviklingsperiode

Det er spesifisert i Norsok Z-013 at rangering av kritikalitet bør baseres på virkningen av feil og på tiden fra noe skjer (av feil/svikt) til virkningen skjer på selve innretningen [30]. Feilutviklingsperiode, er i så måte en interessant egenskap ved rapporterte anmerkninger ved tekniske barrierelementer. Sannsynligheten for at en hendelse inntreffer, øker gjerne som følge av at aktiviteter ikke utføres [39]. Med begrepet «feilutviklingsperiode» i denne rapporten, menes det tiden fra forholdet identifiseres og til virkningen skjer. Det vil si tiden fra en anmerkning omkring utstyrets tilstand identifiseres og til det identifiserte forholdet har utviklet seg til en kritisk feil. Merk at kritiske feil, i henhold til sin tilhørende definisjon, medfører umiddelbart bortfall av evne til å utføre nødvendig funksjon. Dermed er degraderte og begynnende feil som vil være mest interessante å se i lys av en feilutviklingsperiode. Til forskjell fra denne rapporten, omtales gjerne feilutviklingsperiode i litteraturen som tiden fra en defekt egenskap i utstyrets tilstand oppstår til operasjonell feil på utstyret [40]. Det vil si fra den defekte egenskapen oppstår og ikke fra når den defekte egenskapen faktisk identifiseres. For å skille mellom bruken av disse to begrepene er det i rapporten valgt å bruke begrepet «feilutviklingsperiode_{litteratur}» i de tilfeller der er snakk om tiden fra den defekte egenskapen oppstår og til bortfall av funksjon. Utvikling av feil og forskjellen mellom de to begrepene er vist i Figur 19:

Figur 19 - Feilutviklingsperiode (modifisert figur fra [40])



Merk at feilutvikling kan skje på andre måter enn vist i figuren, som ved at rask feilutvikling medfører operasjonell feil omtrent momentant i det den defekte egenskap oppstår. Feilutviklingsperiode er ikke eksplisitt inkludert i kalkulert vedlikeholdsfrist eller i

aggregeringen i barrieretilstandpanelet og bør derfor fanges opp i helhetlige vurderinger. Generiske vedlikeholdsfrister kan likevel fungere som en barriere mot at feil ikke korrigeres og får utvikle seg over tid, dersom de settes riktig. Det vil si at bruken av kalkulert vedlikeholdsfrister i disse tilfellene er avhengig av at manuelle omprioriteringer foretas der vurderinger omkring feilutviklingsperiode er inkludert. Eller eventuelt at feilutviklingspotensial inkluderes som en del av prioriteringsmatrisen for kalkulering av kritikalitet og vedlikeholdsfrist. Ideen om å inkludere vurderinger omkring utviklingsperiode for feil er allerede foreslått i litteraturen, for eksempel i forbindelse med FMEA/FMECA-analyser [40]. Det er da foreslått at feilutviklingsperiode_{litteratur} benyttes som en rangering, på en skala fra 1 (tregest feilutvikling) til 10 (raskest feilutvikling), for å kunne forenkle differensieringen mellom forskjellige feilmoder [40]. Rangeringssystemet er vist i Figur 20:

Figur 20 - Rangering av feilutviklingsperiode [40]

FDP (Failure Developing Period)	The time difference between the moment of fault and operational interruption, with the possibility / or not for corrective intervention	Rank
Extremely fast	The time difference between the moment of fault and operational interruption is null.	10
Very fast	The defect is evolving rapidly, is unavoidable a reactive maintenance action.	9
Fast	The time difference between the moment of fault and operational interruption is very small.	8
Noticeable	The defect evolution allows the implementation of corrective actions, if it its intervened quickly.	7
Appreciable	The defect evolution allows the implementation of planned corrective actions.	6
Moderate	Planned corrective actions are applied at average intervals.	5
Moderately slow	Planned corrective actions are applied at large intervals.	4
Slow	The defect evolution allows corrective action planning.	3
Very slow	Failure evolves very slowly.	2
Extremely slow	Failure evolves extremely slowly.	1

Det påpekes at ved å inkludere rangeringssystemet slik det foreligger i litteraturen, vil ikke nødvendigvis kalkulert kritikalitet og vedlikeholdsfrist endres da prioriteringsmatrisen ikke er omfattet av metoden. Den foreslåtte metoden er ment som er verktøy for å kunne ta bedre valg i forbindelse med FMEA/FMECA-analyser og ikke for prioritering av korrektivt vedlikehold i driftsfasen. Dessuten er den foreslåtte metodikken ikke tilpasset tekniske barrierelementer. Det kan derimot være mulig å videreføre prinsippet om å inkludere feilutviklingsperiode, ved at å modifisere metodikk og inkludere vurdering av feilutviklingsperiode i en oppdatert prioriteringsmatrise. Dette vil bli diskutert i kapittel 7.1.

6.4 Vektet viktighet

Rangering av kritikalitet bør blant annet baseres på virkningen av feil på selve innretningen [30]. Ved å benytte vurderinger omkring vektet viktighet i den helhetlige vurderingen i

barrieretilstandspanelet, åpnes det for at korrektive jobber som bør få ekstra prioritet kan fanges opp basert på virkningen på innretningen. Ettersom alle tekniske barrierelementer og annet sikkerhetsutstyr har en samlet konsekvensklassifisering lik 3 (Høy), er differensiering av tekniske barrierelementer fra annet sikkerhetsutstyr og seg selv imellom i liten grad inkludert i prioriteringsmatrisen. Det nevnes i [32] at muligheten for å vurdere relativ viktighet for forskjellige barrierer og effekt av endringer, er viktig for å kontrollere risiko og prioritere risikoreduserende tiltak. Dersom vektet viktighet inkluderes i prioriteringsmatrisen, kan det tenkes at ekstra prioritet kan allokere til utstyr med høy viktighet ved bruk av kortere vedlikeholdsfrister. En potensiell utfordring med dette er den eksisterende inndelingen av vektet viktighet som er på en skala fra 1 til 20 og som kan resultere i prioriteringsmatrise med svært mange kombinasjoner og utfall. I lys av egenskaper i kapittel 6.2 foreslås det derfor en forenkling i inndeling i vektgrupper for å sikre prioriteringsmatrisens egenskaper omkring enkelhet, enkel å kontrollere og lett å bruke. På den andre siden kan det argumenteres for at en slik forenkling kan ha negativ innvirkning på fullstendighet vedrørende viktige komponenter, ettersom det vil foreligge mindre presis informasjon. I denne rapporten er det likevel valgt å prioritere enkelhet fremfor fullstendighet, ettersom en prioriteringsmatrise uansett ikke vil kunne eliminere behovet for en helhetlig vurdering. Et forslag til forenkling er presentert i kapittel 7.1.

6.5 Behov for helhetlig tankegang

En betingelse for god og effektiv risiko- og barrierestyring er helhetlig tankegang [2]. Formålet med å etablere et informativt risikobilde er å gi støtte til bedre beslutningsprosesser [41]. I lys av sine antakelser og begrensninger som ligger i modellens virkelighetsforenkling, kan det argumenteres for at verken barrieretilstandspanelet eller kalkulert feilkritikalitet og vedlikeholdsfrist kan gi et fullstendig risikobilde der alle aspekt av en virkelighet er fanget opp. Feilpåvirkning, vektet viktighet og andre parametere som er benyttet i modellene, er kvantifiseringer som forsøker å sette tall på en virkelighet. I litteraturen beskrives usikkerhet med kvantifisering av pålitelighet slik [41]:

- **Modellen;** Modellen kan beskrives som analysens forsøk på å representere systemet. Usikkerhet kan her knyttes til modellens evne til å fange opp vesentlige faktorer i systemet inkluderts operasjonelle forhold. I praksis må ofte motstridende interesser balanseres mellom motstridende interesser og følgelig vil modellens begrensnes av kompromisser. For eksempel at modellen bør være realistisk samtidig som den er enkel og håndterbar.
- **Fullstendighet;** Vurderingers ufullstendighet kan beskrives som en usikkerhet som enten er kjent men ikke inkludert i vurderingene, eller ukjent og ikke inkludert i vurderingene. Fullstendigheten er sterkt knyttet til faktorer som følger av modellen. Kjent usikkerhet kan følger av unnlattelse av faktor som ulike feilmoder, mens ukjent usikkerhet kan skyldes måter å håndtere effekter.
- **Datagrunnlag;** Usikkerhet relatert til hvilken grad data som benyttes i modellene er relevante for å fange opp fremtidige resultater/hendelser vil foreligge i modellen. For eksempel er ikke historiske data det samme som fremtidige data (selv om det er snakk om samme komponent). Videre kan datagrunnlag være ufullstendig som følge av få testobservasjoner, eller ved at ikke alle mulige utfall er inkludert.

Selv om beskrevet usikkerhet er relatert til kvantifisering av pålitelighet, vil en i etableringen av andre modeller likevel gjøre en lignende kvantifiseringsprosess der antakelser og forenklinger av virkelighet må gjøres [41]. Kvantifisering er beskrevet i litteraturen som en «mekanisering av verifikasjonsprosesser» og påpekes som et generelt problem innenfor risikovurdering og -styring [41]. Dersom beslutningstaking utelukkende fattes basert på en mekanisert prosess, kan en i så måte argumentere for at det vil foreligge en relevant grad usikkerhet (modellen, fullstendighet, datagrunnlag) i resultatene som beslutningene baseres på. I litteraturen argumenteres det for at forsiktighet skal være det rådende prinsippet ved beslutningstaking under usikkerhet, der ambisjoner omkring følgene forhold er inkludert i prosessen [41]:

- **Gjennomsiktighet;** Gjennomsiktighet når beslutning og kontekst omkring beslutningen identifiseres og forstås.
- **Diskusjon** og kommunikasjon; Involvering av interessenter som er relevante for beslutningen.
- **Forbedre mål og løsninger;** Kontinuerlig forbedring skal være et bærende prinsipp.
- **Erfaringsdata og vurderinger;** Innhenting av kunnskap, inkludert betraktninger omkring vurderinger og analyser fra eksperter, samt synspunkter og vurderinger fra ufaglærte.

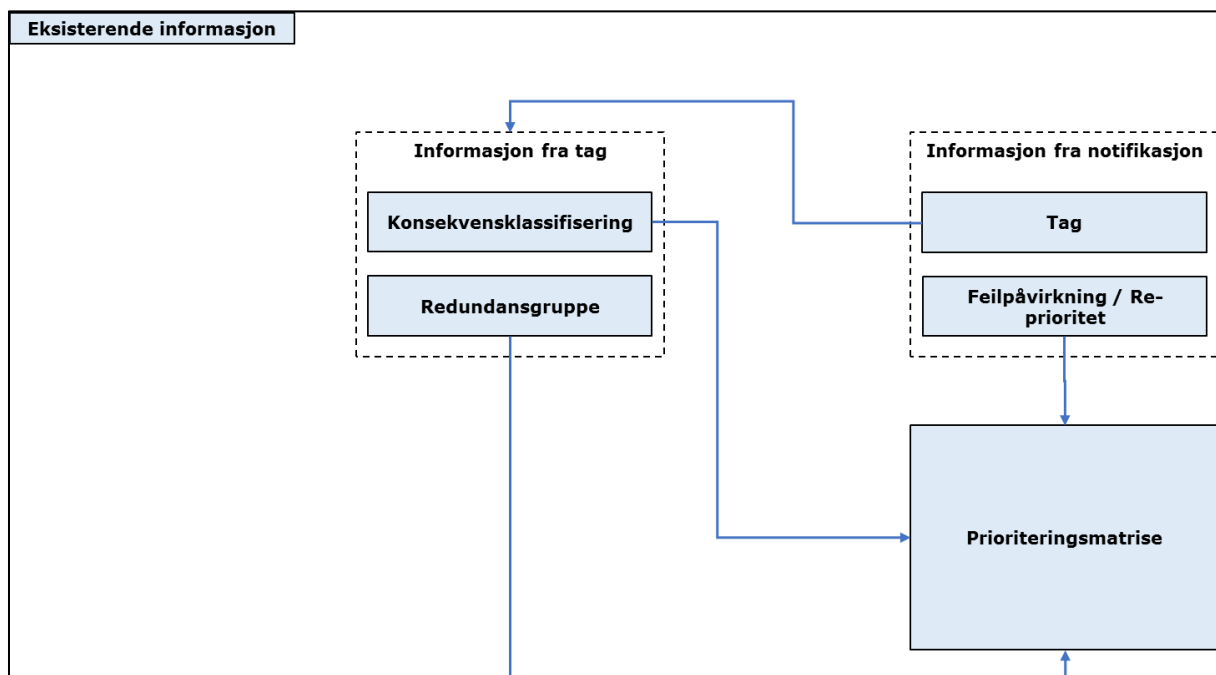
I en prioriteringsmatrise der til eksempel hverken gjennomsiktighet, diskusjon og kommunikasjon behandles, vil det følgelig foreligge et behov for en helhetlig vurdering omkring beslutninger som fattes (utover kalkulert vedlikeholdsfrist). Dette er spesielt relevant for beslutninger omkring komplekse aktiviteter som medfører en høy grad av usikkerhet og/eller risiko, der vil foreligge et sprang fra beslutningsunderlaget til selve beslutningen [41]. Mekaniseringsbehovet omkring beslutninger i form av gul, grønn og rød sortering eller pålitelighetsstyrt beslutningslogikk er likevel relevant da man ofte ikke har tilstrekkelig med ressurser til å foreta verdivalgene [55]. Av dette argumenteres det for at en optimalisert prioriteringsmatrise ikke kan benyttes som et fullverdig alternativ for beslutningstaking, men at den kan gi et forbedret utgangspunkt til å flagge feil som snarlig bør korrigeres i lys av sitt feilutviklingspotensial og som dermed bør inkluderes i vedlikeholdsplaner.

7. Forslag til optimalisering av prioriteringsmatrise

7.1 Metodikk

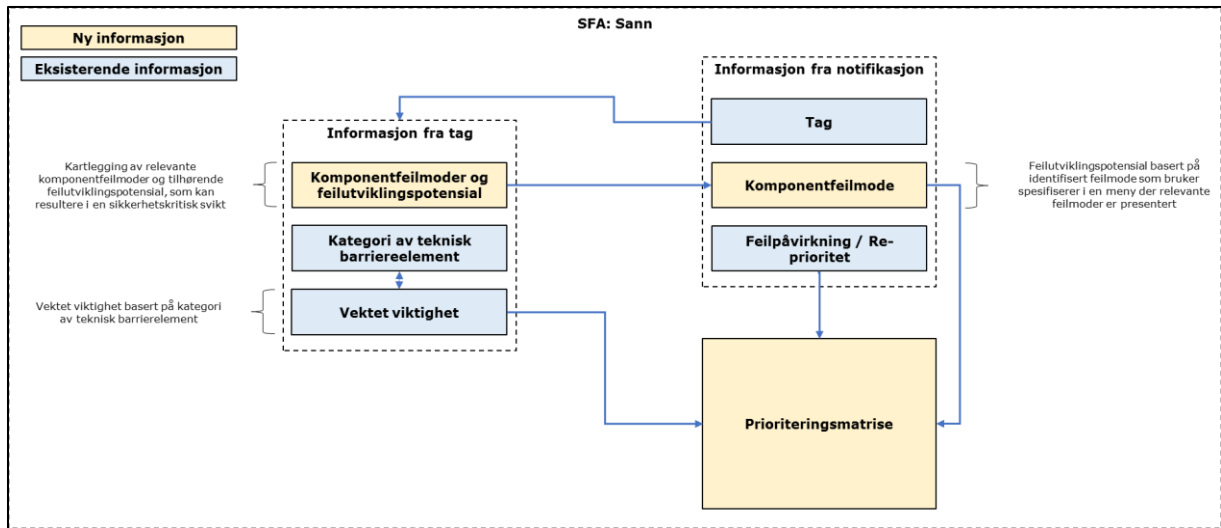
I kapittel 6.3 og 6.4 er det drøftet til at feilutviklingsperiode og vektet viktighet potensielt kan inkluderes i prioriteringsmatrise for kalkulert kritikalitet og vedlikeholdsfrist. Det er videre nevnt i kapitel 5.6 at redundansgrad i henhold til eksisterende metodikk, kan resultere i lengre vedlikeholdsfrister enn operatørselskapets eget ønske. I dette kapittelet presenteres et forslag til optimalisering av prioriteringsmatrise, slik at korrektivt vedlikehold på tekniske barrierelementer utføres i henhold til operatørselskapets intensjon med barrieretilstandspanelet. En oppsummering av hvilken informasjon som benyttes i eksisterende prioriteringsmatrise er vist i Figur 21:

Figur 21 - Informasjon benyttet i eksisterende prioriteringsmatrise



Den eksisterende prioriteringsmatrisen er allerede diskutert, men kan kort oppsummeres med at kalkulering av vedlikeholdsfrister er basert på at notifikasjon inkluderer informasjon om feilpåvirkning, eventuell re-prioritering og hvilken tag det er snakk om. Informasjon om tag, herunder konsekvensklassifisering og redundansgruppe (i henhold til metodikk i Norsok Z-008), brukes deretter i kombinasjon med feilpåvirkning eller eventuelt re-prioritering til å kalkulere vedlikeholdsfrist. Informasjon som inkluderes i den oppdaterte prioriteringsmatrisen er vist i Figur 22. Merk at denne prioriteringsmatrisen kun er relevant ved SFA lik sann:

Figur 22 - Informasjon benyttet i oppdatert prioriteringsmatrise



Metodikken er basert på at vedlikeholdsfrist kalkuleres basert på vektet viktighet av utstyr, feilpåvirkning/re-prioritet av notifikasjon og feilutviklingspotensial av feilmode på relevant komponent (som er identifisert som årsak til feil på utstyr). Inkluderingen av disse er beskrevet nedenfor:

Feilpåvirkning/Re-prioritet

Feilpåvirkning inkluderes i sin opprinnelige form i oppdatert prioriteringsmatrise, ettersom dette sier noe om påvirkningen feilen gir på utstyret. Det vil si at feilpåvirkning fremdeles er inndelt i kategoriene begynnende, degradert og kritisk feil. Tilsvarende er re-prioritet også inkludert som høy, medium, lav og uprioritert.

Tag

Notifikasjonen inkluderer informasjon om hvilken tag det er snakk om. Informasjon om tag er videre relevant for kalkulering av vedlikeholdsfrist.

Komponentfeilmode og feilutviklingspotensial

Feilutviklingsperiode kan inkluderes som et element i den oppdaterte prioriteringsmatrisen dersom det foreligger vurderinger for dette. Å legge opp til forløpende vurderinger er en mulighet, men kvaliteten vil da være avhengige av den enkeltes kunnskap omkring feilutvikling. Ved å inkludere disse vurderingene i FMEA/FMECA-lignende analyser, kan det derimot tenkes at kvaliteten vil øke signifikant ettersom analysene allerede gjør kartlegginger som anses som svært relevante. Analysene kartlegger for eksempel forhold som kan resultere i en feil og kombinerer videre alvorlighet og sannsynlighet i en kritikalitetsindeksing som representerer et mål på den totale risikoen assosiert med hver kombinasjon av disse [42]. Dette prinsippet kan derfor være hensiktsmessig å videreføre når vurderinger for feilutviklingsperiode skal gjøres. Det er nevnt at en metodikk for dette foreligger i litteraturen, men at den ikke er tilpasset tekniske barrierelementer og formålet om en oppdatert prioriteringsmatrise. På bakgrunn av dette foreslås det i denne rapporten en egen metodikk som kan utføres for tekniske barrierelementer og som er ment som et supplement til FMEA/FMECA-analyser. Forslaget innebærer bruk av FMEA/FMECA-analysens kartlegging av komponenter og tilhørende komponentfeilmoder, sett i lys av det tekniske

barrierelementets definerte sikkerhetskritiske svikt (viser til kapittel 4.2, Tabell 10). Det vil si at det gjøres vurderinger av utstyrets forskjellige komponenter og komponentfeilmøder, for å identifisere feilutviklingspotensialet (til en sikkerhetskritisk svikt) ved å ta i betraktning feilutviklingsperiode. Et fiktivt eksempel på et oppsett for en brannpumpe (sentrifugalpumpe) er vist i Figur 23. Det vises forøvrig til [42] for komponenter og komponentfeilmøder som er benyttet i eksempelet:

Figur 23 - Komponentfeilmøder for teknisk barrierelement og kritikalitetsscore av feilutviklingspotensial

Teknisk barrierelement		Komponenter		
Teknisk barrierelement	Sikkerhetskritisk svikt definert i prosedyre #91488	Komponenter	Komponentfeilmøder	Feilutviklingspotensial *
Fire Water Pump / Fire Water Pump Unit	The fire water pump delivers less than 90 % compared to design curve (capacity at required pressure). The fire water pump unit fails to start on signal. The fire water pump fails to stop when defined as safety critical.	Shaft	Worn	0
			Excessive deformation	0
		Bearing	Misalignment	1
			Seizure	1
			Broken	1
		Mechanical seal	Fracture	0
			Leakage	-1
		Impeller	Pitting marks	-1
			Blade damages	0
		Other	Other	-1
* Vurdering med hensyn på sannsynlighet for at komponentfeilmøder, basert på feilutviklingsperiode, resulterer i en sikkerhetskritisk svikt. -1 er lik Lav, 0 er lik Medium, og 1 er lik Høy.				

Metodikken er skjema-basert, der skjemaet inkluderer følgende deler:

- **Teknisk barrierelement;** Alle tekniske barrierelementer listes opp for å muliggjøre en vurdering med hensyn på hver enkelt type.
- **Sikkerhetskritisk svikt;** Definert sikkerhetskritisk svikt av teknisk barrierelement er av utvalgt interesse ettersom en sikkerhetskritisk svikt kan gi et sikkerhetskritisk bidrag for barrierefunksjon. Det er nevnt at definisjoner av sikkerhetskritisk svikt allerede foreligger for tekniske barrierelementer.
- **Komponenter;** Identifiserte komponenter som er relevant for en sikkerhetskritisk svikt listes opp slik at disse kan evalueres.
- **Komponentfeilmøder;** Identifisere feilmøder på komponent som er relevant for (og resulterer i, eller kan utvikle seg til) en sikkerhetskritisk svikt og listes opp for evaluering. Intensjonen er at de mest relevante feilmødene listes opp og at andre feilmøder som anses som mindre relevante faller inn under kategorien «other». For utstyr som inneholder en stor mengde komponenter, kan antall komponenter muligens begrenses ved å velge ut de største bidragsyterne i forbindelse med en screening eller lignende.

- **Feilutviklingspotensial:** En kvalitativ vurdering av feilutvikling for feilmode på komponent foretas, der hensikten er å gi en score som sier noe om feilutviklingspotensialet (til sikkerhetskritisk svikt) som ligger i feilmode av komponent. Datakilder kan for eksempel være pålitelighetshistorikk og leverandørinformasjon. Valg av kritikalitetsscore er her valgt å begrense på en skala fra -1 til 1, for å en muliggjøre implementering i prioriteringsmatrisen som ikke resulterer i for mange mulige utfall (enkelhet).

Merk at metodikken har noen sentrale forutsetninger og begrensninger. Eksempler er kompetanse og bakgrunnskunnskap til analysegruppens deltakere og at et teknisk barrierelement kan ha andre typer av svikt som ikke faller inn under definisjonen av sikkerhetskritisk svikt og som dermed kan bli utelatt i vurderingen. En vurdering av sviktdefinisjonens omfang og kvalitet er derfor å anbefale i forkant av analysen. Produksjons- og kostnadsevalueringer er ikke inkludert da rapporten er begrenset til prioritering av korrektivt vedlikehold på tekniske barrierelementer i forhold til en storulykke.

Kategori av teknisk barrierelement og vektet viktighet

Kategori av teknisk barrierelement foreligger på tag. Vektet viktighet er videre basert på denne kategorien og muliggjør differensiering av korrektivt vedlikehold basert på viktigheten av det tekniske barrierelementet. Vurdering av vektet viktighet eksisterer allerede som en del av barrieretilstandspanel, men det er argumentert for at en forenkling bør gjøres dersom den skal benyttes i prioriteringsmatrise. Et forslag til forenkling er presentert i Tabell 23 og er gjort ved å gruppere inndelingen av vektet viktighet i fire grupper. Inndelingen er gjort med inspirasjon fra Norsok Z-008 sin tabell for inndeling av feilpåvirkning:

Tabell 23 - Vektgruppeinndeling av vektet viktighet

Vekt-gruppe	Beskrivelse	Vektet viktighet (V.V.)
4	Svikt av barriereelement som alene kan medføre umiddelbart bortfall av barrierefunksjonens fundamentale funksjon(er).	$20 \geq V.V. > 15$
3	Svikt av barriereelement som alene ikke kan medføre umiddelbart bortfall av barrierefunksjonens fundamentale funksjon(er), men som påvirker en eller flere andre relevante forhold av funksjon. (Eventuelt redundansbetraktninger som reduserer vekt av barriereelement).	$15 \geq V.V. > 10$
2	Svikt av barriereelement som alene ikke kan medføre umiddelbart bortfall av barrierefunksjonens fundamentale funksjon(er), men som medfører ufullkommenhet i status eller tilstand av funksjon. (Eventuelt redundansbetraktninger som reduserer vekt av barriereelement).	$10 \geq V.V. > 5$
1	Svikt av barriereelement som alene ikke kan medføre umiddelbart bortfall av barrierefunksjonens fundamentale funksjon(er), men som potensielt kan medfører ufullkommenhet i status eller tilstand av funksjon.	$5 \geq V.V.$

	(Eventuelt redundansbetraktninger som reduserer vekt av barriereelement).	
--	---	--

7.2 Forslag til prioriteringsmatrise

Et forslag til en oppdatert prioriteringsmatrise er gitt i Figur 24. Prioriteringsmatrisen er basert på en kombinert score av vektgruppe for teknisk barriereelement og feilutviklingspotensial av feilmode på komponent, som benyttes for å generere et utfall innenfor hver kategori av feilpåvirkning/re-prioritet. Dette er med unntak av kritiske feil/høy re-prioritet, der det per definisjon allerede har oppstått en sikkerhetskritisk svikt og som dermed betyr at feilutviklingspotensial av komponent er mindre relevant for svikt av utstyr. Kombinert score kalkuleres forøvrig ved

Kombinert score

$$= vektgruppe_{teknisk\ barriereelement} + feilutviklingspotensial_{komponent}$$

Det vil si at et en notifikasjon som er rapportert på et teknisk barriereelement i vektgruppe 3 og med en identifisert komponentfeil som gir et feilutviklingspotensial lik 1, vil få en kombinert score lik 4. Bruk av kombinert score er valgt for å muliggjøre en reduksjon i vedlikeholdsfrist dersom feilutviklingspotensialet er høyt og en økning dersom det er lavt.

Figur 24 - Oppdatert prioriteringsmatrise

Feilpåvirkning / Re-prioritet							
Kritisk feil / Høy		Degradert feil / Medium		* / Lav		* / Uprioritert	
Vektgruppe	Vedlikeholdsfrist	Kombinert score	Vedlikeholdsfrist	Kombinert score	Vedlikeholdsfrist	Kombinert score	Vedlikeholdsfrist
4	0 timer	5	0 timer	5	2 dager	5	31 dager
3	16 timer	4	2 dager	4	31 dager	4	181 dager
2	32 timer	3	9 dager	3	68 dager	3	226 dager
1	48 timer	2	16 dager	2	106 dager	2	271 dager
		1	23 dager	1	143 dager	1	315 dager
		0	30 dager	0	180 dager	0	360 dager

* Begynnende feil er ikke relevant ved SFA = Yes

Vedlikeholdsfrister er basert på en oppstyking av intervallene (< 2 dager, 2 – 30 dager, 31 – 180 dager og 181 – 360 dager) som derivert basert på Norsok Z-008 (viser til kapittel 5.3, Tabell 13). Oppstyking er forsøkt å gjøre enkel (viser til kapittel 6.2, enkelhet) ved at intervallene er delt inn i like (avrundede) avstander for hvert utfall av kombinert score, med unntak av den høyeste (5). En kombinert score lik 5 er kun er mulig for tekniske barrierelementer som inngår i vektgruppe 4 og som har en feil med høyt feilutviklingspotensial. Etersom feil på disse i ytterste konsekvens kan gi bortfall av en barrierefunksjon, er det valgt å sette en vedlikeholdsfrist for utfallet som tilsvarer vedlikeholdsfrist for samme vektgruppe i kategorien (feilpåvirkning/re-prioritet) til venstre i prioriteringsmatrisen – der feilutviklingspotensial ikke blir tatt hensyn til. Bakgrunnen for sistnevnte er at feilutviklingspotensialet ikke skal krediteres to ganger. Merk at det er ikke valgt å utfordre vedlikeholdsfrister i Norsok Z-008 og at oppstyking derfor er utformet slik at det laveste utfallet (innenfor hver kategori av feilpåvirkning/re-prioritet) resulterer gir lik tidsfrist som i standarden.

Tilrettelegging for bruk av prioriteringsmatrise i CMMS

Dersom oppdatert prioriteringsmatrise skal implementeres i CMMS-systemet, må det gjøres tilpasninger i opprettelsen av notifikasjoner. En mulighet for dette er å inkludere en rullemeny som må fylles ut når nye notifikasjoner på tekniske barrierelementer opprettes og SFA er satt lik sann. Rullemenyen kan for eksempel hete «Component failure mode» og som inkluderer alle de kartlagte komponentene og tilhørende feilmodene for det tekniske barrierelementet som notifikasjonen er knyttet mot. Til eksempel for brannpumpen i Figur 23; «Shaft – worn», «Shaft – excessive deformation», «Bearing – misalignment», «Bearing – seizure» og så videre. Bruker kan dermed velge hvilken komponent og tilhørende feilmode som er relevant for anmerkningen omkring utstyrets tilstand. Merk at dette forutsetter at det faktisk er gjennomført en analyse av alle tekniske barrierelementer i henhold til foreslått metode. Analysen bør prioriteres slik at en ikke ender opp med mange tilfeller av notifikasjoner der valg av «Component failure mode» ikke er dekkende for det identifiserte forholdet omkring utstyrets tilstand. For å tilrettelegge for tilfeller der valg av «Component failure mode» likevel ikke er dekkende, kan en for eksempel inkludere noen generelle valg:

- **«Other»**; Tilsvarende en score for feilutviklingspotensial lik -1. Ettersom en god analyse bør fange opp majoriteten av de største bidragsyterne som er forventet i å kunne resultere i en sikkerhetskritisk svikt, kan det argumenteres for at brorparten av andre feilmoder på komponenter ikke vil gi et grunnlag for å redusere vedlikeholdsfrist sammenlignet med Norsok Z-008.
- **«Other, medium potential»**; Tilsvarende en score for feilutviklingspotensial lik 0. I henhold til oppdatert prioriteringsmatrise så vil dette medføre en noe redusert vedlikeholdsfrist sammenlignet med Norsok Z-008. Dette alternativet er relevant i de tilfeller der en identifiserer en anmerkning i utstyrets tilstand som en mener kan ha et potensiale til å utvikle seg til en sikkerhetskritisk svikt.
- **«Other, high potential»**; Tilsvarende en score for feilutviklingspotensial lik 1. I henhold til oppdatert prioriteringsmatrise så vil dette medføre en tydelig redusert vedlikeholdsfrist sammenlignet med Norsok Z-008. Dette alternativet er relevant i de tilfeller der en identifiserer en anmerkning i utstyrets tilstand som en mener mest sannsynlig vil kunne utvikle seg til en kritisk svikt.

Ved re-prioritering følger notifikasjonen den oppdaterte prioriteringsmatrisen, med unntak av de tilfeller der bruker velger å overstyre ved å sette vedlikeholdsfristen selv (eksisterende funksjonalitet).

7.3 Analysegruppe

Vektet viktighet og feilutviklingspotensial er basert på flere betraktninger i forhold til konsekvens og sannsynlighet. Utfallet og kvaliteten av disse analysene vil følgelig være avhengig av kompetanse til analysegruppen, men også gjennomføringsmetoden. Betraktninger omkring sannsynlighet fra eksperter er subjektive vurderinger som reflekterer ekspertens grad av tro og ikke at sannsynligheten er så nær en sann sannsynlighet som mulig [43]. Ifølge litteraturen er dette på grunn av at det ikke eksisterer sanne sannsynligheter, men kun grad av tro [44]. Forskning innen psykologi viser videre at å sette presise verdier for en subjektiv sannsynlighetsvurdering ikke kan gjøres så enkelt som å spørre en ekspert om en sannsynlighet, uten vedkommende kan bli utsatt for flere uønskede påvirkninger [43]. I en

utspørringssituasjon kan uønskede påvirkninger påføres fra flere hold, som for eksempel intervjueren, andre eksperter og skjemaoppsett som kan føre til uønskede skjevfordelinger i svarene [43]. For å redusere effekten av dette, er det nødvendig med en strukturert metode som ivaretar de kjente heuristikker og andre uønskede effekter av påvirkninger [43]. Dette argumenterer for at vurderinger som gjøres må dokumenteres på en strukturert og god måte, der antakelser og forutsetninger som er lagt til grunn kommer frem. Dette sikrer sporbarhet for ettertiden. Punkter som det i norske standarder er gitt at deltakere i en risikovurdering samlet sett skal kunnskap om [43][45]:

- Bruk av risikoanalytiske metoder og relevant erfaring.
- Analyseobjektet og aktuelle farer.
- Samspillet mellom analyseobjektet og andre forhold, internt og eksternt.

Relevante personell som på bakgrunn av dette bør inngå i en analysegruppe kan for eksempel være:

- **Beredskapsansvarlig på land;** Vedkommende bør ha god kjennskap til forskjellige beredskapsscenarioer og vil følgelig kunne gi relevante innspill til vektet viktighet i forhold til tekniske barrierelementer som er relevante i en beredskapssituasjon.
- **Driftspersonell;** Vedkommende bør ha (praktisk) utstyrsspesifikk kunnskap og vil følgelig kunne gi relevante innspill i forhold til hvilke komponenter som kan feile og hvilke utfall som kan forventes.
- **Materialekspert;** Vedkommende bør ha kompetanse i forhold til mekanismer som forårsaker degradering og feilutvikling av forskjellige materialer og vil følgelig kunne ha relevante innspill vedrørende feilutviklingspotensial på komponenter.
- **Plattformsjef;** Vedkommende bør både ha god kjennskap til forskjellige beredskapsscenarioer og vil følgelig kunne gi relevante innspill til vektet viktighet i forhold til tekniske barrierelementer som er relevante i en beredskapssituasjon.
- **Risikorådgiver;** Vedkommende bør ha god kompetanse og erfaring omkring bruk av risikoanalytiske metoder og vil følgelig kunne gi en god innføring i dette til andre deltakere i analysegruppen. Videre vil vedkommende kunne sikre at prosessen kjøres på en god måte.
- **Teknisk sikkerhetsingeniør;** Vedkommende bør ha kjennskap til tekniske barrierelementer og teknisk integritet og vil følgelig kunne gi relevante innspill i forhold til vektet viktighet og feilutviklingspotensial.
- **Utstyrsansvarlig;** Vedkommende bør ha (teoretisk) utstyrsspesifikk kunnskap og vil følgelig kunne gi relevante innspill i forhold til hvilke komponenter som kan feile og hvilke utfall som kan forventes.
- **Vedlikeholdsingeniør;** Vedkommende bør ha kompetanse i forhold til gjennomføring av FMEA/FMECA-analyser og vil i så måte kunne behjelpe og strukturere gjennomføringen av analysen av komponentfeilmoder. Vedkommende bør videre ha kunnskap om vedlikeholdsstyring generelt og kan ha relevante innspill omkring prioritering av korrektivt vedlikehold.

I tilfeller det foreligger lite tilgjengelig erfaring omkring en utstyrstype, kan en vurdere å inkludere en representant fra utstyrsleverandør som vil kunne bidra med utstyrsspesifikk kompetanse.

7.4 Anvendelsesområde

Den oppdaterte prioriteringsmatrisen er foreslått som et verktøy for å generere vedlikeholdsfrister som, i tillegg til feilpåvirkning/re-prioritet, tar i betraktning vektet viktighet og feilutviklingspotensial. Forslaget er rettet mot tekniske barriereelementer som i henhold til barrierestrategi har det største bidraget i forhold til en storulykke. Notifikasjoner med SFA lik usann, er i henhold til operatørselskapets instruksjon kun relevante for anmerkninger i utstyrets tilstand som ikke vil gi et bortfall av sikkerhetskritisk funksjon. Fra et barriereperspektiv er dermed disse notifikasjoner ikke relevante og kan dermed håndteres på lik linje med notifikasjoner på annet utstyr. På bakgrunn av dette er den oppdaterte prioriteringsmatrisen kun relevant for notifikasjoner der SFA er satt lik sann.

7.5 Begrensninger i oppdatert prioriteringsmatrise

Behovet for en helhetlig vurdering er diskutert i kapittel 6.5 og er fremdeles gjeldende ved en oppdatert prioriteringsmatrise. Identifiserte sårbarheter og begrensninger ved bruk av oppdatert prioriteringsmatrise er presentert nedenfor og argumenterer for at feil på tekniske barriereelementer fremdeles må være gjenstand for kvalitetskontroll og evalueringer.

Feilutviklingspotensial

Å kartlegge et utstyrs komponenter, tilhørende komponentfeilmoder og deretter gjøre en vurdering omkring feilutviklingspotensialet, kan være krevende og vanskelig. Dette er spesielt relevant i tilfeller med ny og ukjent teknologi. Potensialet for feilmoden kan også være avhengig av hendelse og situasjon. For eksempel kan feilutviklingspotensialet være annerledes dersom utstyret står innendørs, sammenlignet med utendørs.

Kompetanse

Mangler i kompetanse kan medføre at det gjøres feilaktige antakelser og forutsetninger i vurderinger som gjøres. Eller at notifikasjoner ikke rapporteres på riktig måte og som dermed ikke er gjenstand for en korrektiv prioritering i henhold til prioriteringsmatrise.

Modell for kalkulering

Prioriteringsmatrisen er basert på kvantifisering av vurderinger. Der de kvantifiserte verdiene videre benyttes til å kalkulere en vedlikeholdsfrist. Informasjon som går tapt i kvantifiseringsprosessen og i modellens enkelhet for kalkulasjon, kan gi utfall som ikke samsvarer med det en helhetlig vurdering ville konkludert med.

Operatørselskapsspesifikk

Forbedringer i metodikk og prioriteringsmatrise er identifisert på bakgrunn av litteratur og på informasjon som er tilgjengeliggjort fra et operatørselskap. Dette begrenser muligheten til å sammenligne med andre operatørselskapers beste praksis, som kan være videreutviklede metoder med relevant informasjon.

Sikkerhetskritisk svikt

Definisjon av sikkerhetskritisk svikt av et teknisk barrierelement vil ikke nødvendigvis fange opp alle mulige brudd på ytelseskrav (funksjonalitet, integritet og sårbarhet). Bruk av sikkerhetskritisk svikt som utgangspunkt i analysen for vurdering av feilutviklingspotensial på komponenter, kan derfor medføre at feilmoder ikke fanges opp eller blir gitt feil score.

Tekniske barrierelementer

De forskjellige typene av tekniske barrierelementene er identifisert i barrierestrategien, som igjen er basert på en rekke analyser og vurderinger. Utstyrets viktighet vil videre være basert på type av hendelse og situasjon. Å kvantifisere vektet viktighet er dermed noe sårbart i forhold til at alle situasjoner ikke kan fanges opp i en representert verdi.

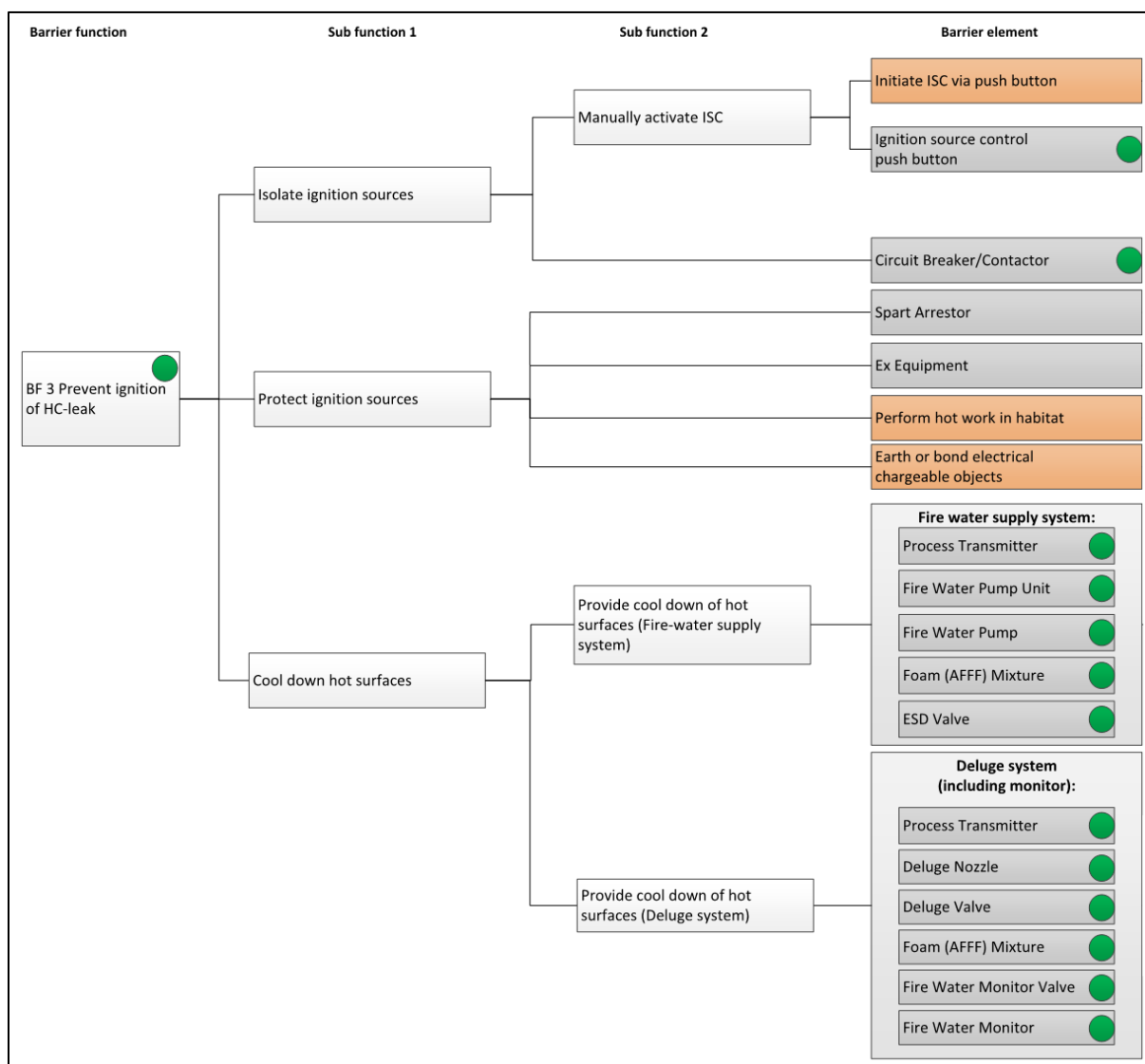
Vedlikeholdsfrister

Vedlikeholdsfrister i prioriteringsmatrise er basert på frister i Norsok Z-008 uten at en overskridelse av disse er nærmere utfordret. Det vil si at det kan finnes tilfeller der det aksepteres at korrektivt vedlikehold, som på bakgrunn av lav feilpåvirkning og feilutviklingspotensialt, kan vært naturlig å gi en lengre vedlikeholdsfrist enn den som er tillatt i Norsok Z-008.

[7.6 Konkret eksempel på bruk av ny prioriteringsmatrise](#)

For å vise oppdatert prioriteringsmatrise i praksis, er det valgt å ta utgangspunkt i barrierefunksjonen «BF 3 Prevent ignition of HC-leak» fra barrierestrategien for prosess hoved- og øvre område. Denne er heretter forkortet BF3 og er benyttet for å se på korrektivt vedlikehold av noen utvalgte tekniske barrierelementer. Barrierediagrammet for BF3 er vist i Figur 25 og er hentet fra den innretningsspesifikke barrierestrategien:

Figur 25 - Barrierediagram for "BF 3 Prevent ignition of HC-leak" i hovedområdet prosess hoved- og øvredekk [35]



Merk at Figur 25 er noe modifisert sammenlignet med gjeldende barrierestrategi og barrieretilstandspanel. Dette er gjort i samarbeid med anonymisert operatørselskap ettersom både barrierestrategi og barrieretilstandspanel er under revidering der endringene som er gjort vil bli implementert. Videre er statuslys på subfunksjoner ikke er vist i Figur 25 ettersom subfunksjoner ikke har noe aggregeringsbidrag og dermed ikke er relevant for rapporten. «Spark Arrestor» og «Ex Equipment» har per dags dato ikke statuslys i barrieretilstandspanel ettersom dette er under implementering.

Som barrierediagrammet viser består BF3 av delfunksjonene «Isolate ignition sources», «Protect ignition sources» og «Cool down of hot surfaces». Sistnevnte kan basert på barrierediagrammet videre brytes ned i tekniske barriererlementer som inngår i realiseringen av delfunksjonen. En oversikt over disse og forslag til vektet viktighet er gjort i Tabell 24:

Tabell 24 - Vurdering av tekniske barrierelementer som inngår i realisering av delfunksjon "Cool down of hot surfaces"

Del-funksjon	Teknisk barriereelement	Vurdering	Vektet viktighet	Vekt-gruppe
Cool down of hot surfaces	Process Transmitter	Utstyr er listet opp to ganger i delfunksjonen, da denne type er både inkludert i tilførselssystemet av brannvann og i det lokale overrislingsanlegg for innretningen. Kritisk for aktivering og utløsning av brannvann til relevante områder.	20	4
Cool down of hot surfaces	Fire Water Pump Unit	Utstyr er kritisk for tilstrekkelig forsyning av brannvann til relevante områder. Innretningen er konfigurert med et sentralisert system bestående av 4stk brannpumper med 50% kapasitet av kapasitetskravet, som åpner for en reduksjon i vektet viktighet.	10	2
Cool down of hot surfaces	Fire Water Pump	Utstyr er kritisk for tilstrekkelig forsyning av brannvann til relevante områder. Innretningen er konfigurert med et sentralisert system bestående av 4stk brannpumper med 50% kapasitet av kapasitetskravet, som åpner for en reduksjon i vektet viktighet.	10	2
Cool down of hot surfaces	Foam (AFFF) Mixture	Utstyr er listet opp to ganger i delfunksjonen, da denne type er både inkludert i tilførselssystemet av brannvann og i det lokale overrislingsanlegg for innretningen. Kritisk for aktivering og utløsning av 1% skuminnblanding til brannvann til relevante områder. Brannvann er vurdert til å være primær barriere, der skumsystemet er en forbedring av barrieren som i hovedsak gir en forbedret effekt ved væskebranner [56]. Åpner for en reduksjon i vektet viktighet.	15	3
Cool down of hot surfaces	ESD Valve	Utstyr er kritisk for å segregere brannvannssystemet fra sjøvannssystemet på innretningen, slik at kapasitet av brannvannssystem ikke forringes ved at	20	4

		sjøvannsystemet stjeler brannvann til andre formål.		
Cool down of hot surfaces	Deluge Nozzle	Utstyr er kritisk for tilstrekkelig spredning av brannvann til det relevante området for å gi kjøling av varme overflater.	20	4
Cool down of hot surfaces	Deluge Valve	Utstyr er kritisk for at brannvann slippes ut til dysene i det relevante området.	20	4
Cool down of hot surfaces	Fire Water Monitor Valve	Utstyr er kritisk for at brannvann slippes ut til brannkanon, som muliggjør at brannvann kan skytes mot utpekt enkeltutstyr. På grunn av overrislingsanlegg i samme området, åpnes det for en reduksjon i vektet viktighet.	15	3
Cool down of hot surfaces	Fire Water Monitor	Utstyr er kritisk for at brannvann slippes ut til brannkanon, som muliggjør at brannvann kan skytes mot utpekt enkeltutstyr. På grunn av overrislingsanlegg i samme området, åpnes det for en reduksjon i vektet viktighet.	15	3

Dersom en videre tar utgangspunkt i to av de tekniske barriereelementene, «Fire Water Pump» og «Fire Water Pump Unit», som begge er relatert til brannpumpe(r), kan en for eksempelets del bruke verdier for feilutviklingspotensial som er gitt i Figur 23. Bruk av den nye prioriteringsmatrisen kan da vises ved å vise et fiktivt eksempel på en notifikasjon som registreres i CMMS-systemet, til å vise en feil som kan oppstå og hvilken kalkulert vedlikeholdsfrist som genereres:

Notifikasjon

Informasjon fylt ut av bruker:

Beskrivelse av feil: *Ved visuell inspeksjon av brannpumpe ble det oppdaget at lager (bearing) er feiljustert (misalignment). Brannpumpe fungerer, men lager ulyder som kan indikere at feil over tid kan oppstå.*

Feilpåvirkning: *Degradert feil*

SFA: *Sann*

Informasjon om utstyr (tag) som ligger i CMMS-systemet:

Teknisk barriereelement: Fire Water Pump

Konsekvensklassifisering: 3 (Høy)

Redundansgruppe: C

Kalkulering av vedlikeholdsfrist ved eksisterende prioriteringsmatrise:

Kalkulert vedlikeholdsfrist: 180 dager (viser til Tabell 12)

Kalkulering av vedlikeholdsfrist ved oppdatert prioriteringsmatrise:

Dersom en utvider eksempelet til å inkludere bruk av ny prioriteringsmatrise, som betyr at funksjonalitet i CMMS-systemet lar bruker velge «Component failure mode», kan bruker velge «Bearing – misalignment» i rullemenyen når notifikasjonen skal fylles ut. Kombinert score kan da beregnes som vist nedenfor og videre brukes sammen med kategorisert feilpåvirkning til å finne vedlikeholdsfrist i prioriteringsmatrise:

Kombinert score

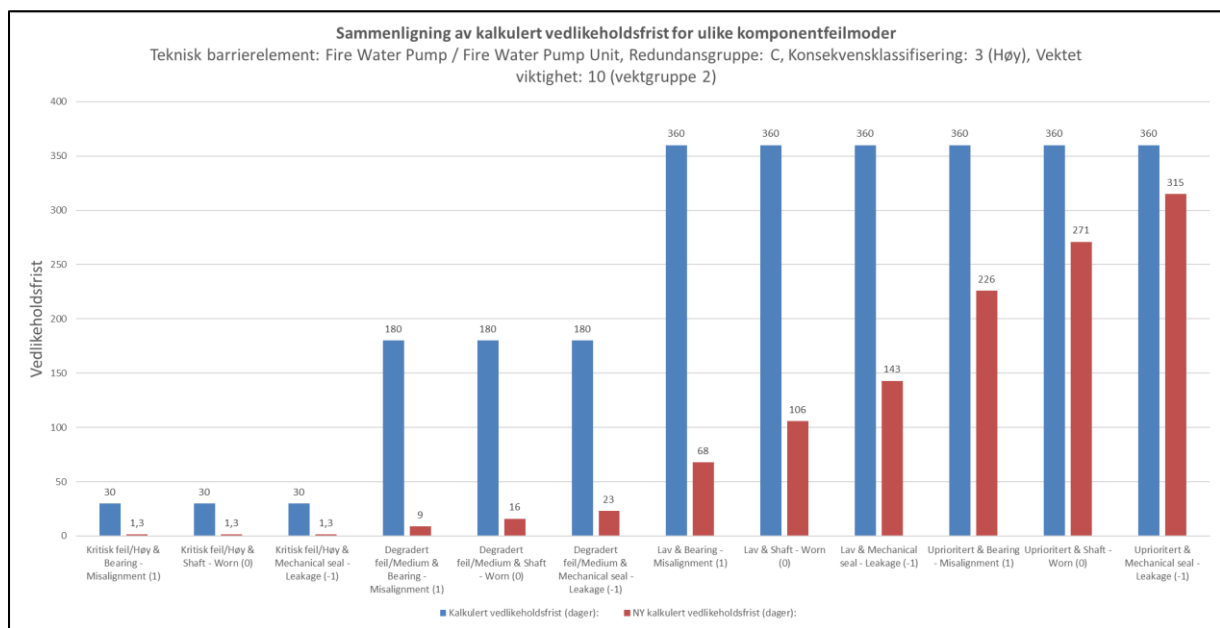
$$= \text{vektgruppe}_{\text{teknisk barriereelement}} + \text{feilutviklingspotensial}_{\text{komponent}}$$
$$= 2 + 1 = 3$$

Kalkulert vedlikeholdsfrist: 9 dager

Andre utfall av samme notifikasjon

Ved å ta videre utgangspunkt i andre komponentfeilmøder og tilhørende verdier for feilutviklingspotensial i Figur 23 kan en sammenligne forskjellige utfall av de to metodikkene:

Figur 26 - Sammenligning av kalkulert vedlikeholdsfrist



I Figur 26 er forskjellige valg av komponentfeilmøder gitt, der korresponderende kalkulerte vedlikeholdsfrister basert på eksisterende prioriteringsmatrise er gitt i blått og basert på oppdatert prioriteringsmatrise er gitt i rødt. Av figuren ser en følgende:

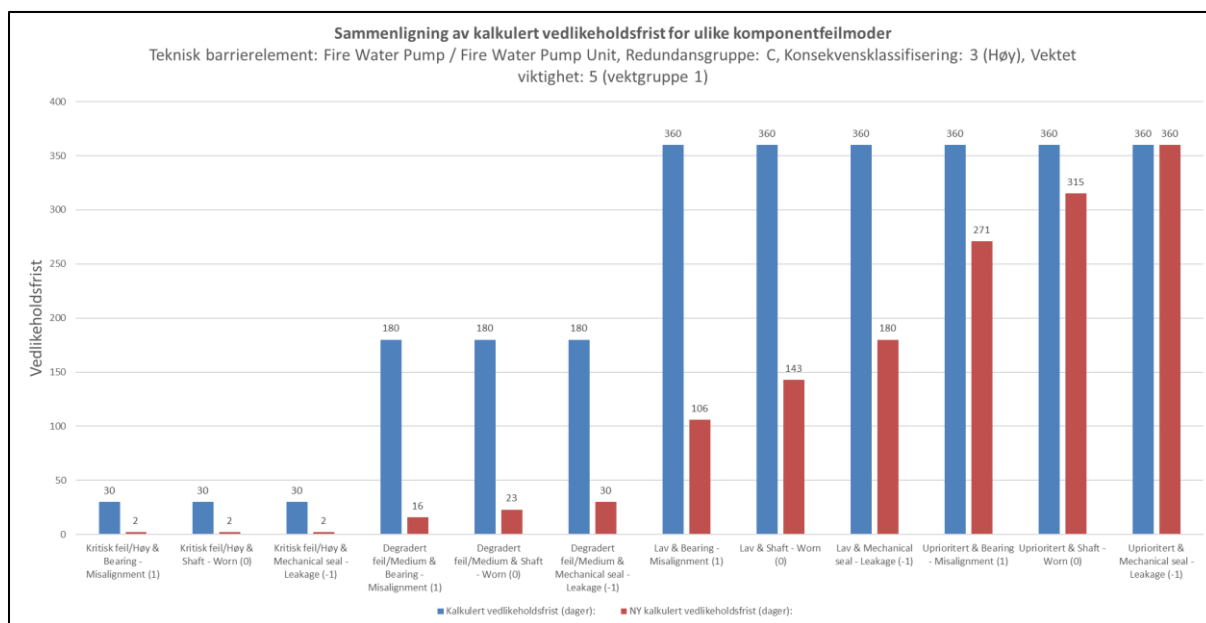
- **Kritiske feil/Høy re-prioritet;** Kalkulerte vedlikeholdsfrister er redusert fra 30 dager til 36 timer (1,3 dag) på bakgrunn av utstyrets vektete viktighet. En høyere vektgruppe ville medført en enda kortere vedlikeholdsfrist, mens en lavere vektgruppe ville medført en lengre vedlikeholdsfrist. Dette er i tråd med argumentet om at desto viktigere det tekniske barrierelementet er, desto mer ønskelig vil det trolig være å prioritere korrigering av den kritiske feilen. Vedlikeholdsfrist samsvarer forøvrig med kritikalitet i barrieretilstandspanel som tilsier at kritiske feil skal korrigeres innen 2 dager.

- **Degraderte feil/Medium re-prioritet;** Kalkulerte vedlikeholdsfrister er redusert fra 180 dager til 9, 16 og 23 dager. Dette på bakgrunn av utstyrets vektete viktighet og feilutviklingspotensialet som er identifisert for de forskjellige komponentfeilmodene. Vedlikeholdsfrist er forøvrig noe strengere sammenlignet med kritikalitet i barrieretilstandspanel som tilsier at kritiske feil skal korrigeres innen 30 dager. Dette er på grunn av utstyrets vektete viktighet.
- **Begynnende feil/Lav re-prioritet;** Kalkulerte vedlikeholdsfrister er redusert fra 360 dager til 68, 106 og 143 dager. Dette er på bakgrunn av utstyrets vektete viktighet og feilutviklingspotensialet som er identifisert for de forskjellige komponentfeilmodene.
- **Uprioritert re-prioritet;** Kalkulerte vedlikeholdsfrister er redusert fra 360 dager til 226, 271 og 315 dager. Dette er på bakgrunn av utstyrets vektete viktighet og feilutviklingspotensialet som er identifisert for de forskjellige komponentfeilmodene.

Eksempelet viser utfall med betydelig reduksjonen av kalkulert vedlikeholdsfrist på bakgrunn av at den eksisterende prioriteringsmatrisen gir økte kalkulerte vedlikeholdsfrister på grunn av at utstyret tilhører redundansgruppe C. Det er argumentert for i rapporten at dette ikke er i tråd med kritikalitet i barrieretilstandspanel og redundansgruppe er derfor ikke benyttet i den oppdaterte prioriteringsmatrisen. I stedet for vektet viktighet inkludert ettersom denne er satt på bakgrunn av vurderinger som er gjort i et barriereperspektiv for de tekniske barrierementene.

Av eksempelet ser en at den oppdaterte prioriteringsmatrisen gir kalkulerte vedlikeholdsfrister som reduseres basert på vektet viktighet og feilutviklingspotensialet. Det vil si at dersom utstyret hadde tilhørt en vektgruppe 1 istedenfor vektgruppe 2, så ville de kalkulerte vedlikeholdsfristene med den oppdaterte prioriteringsmatrisen vært noe høyere:

Figur 27 - Sammenligning av kalkulert vedlikeholdsfrist



Kalkulerte vedlikeholdsfrister ved eksisterende prioriteringsmatrise er uendret i Figur 27 sammenlignet med Figur 26. En ser videre av Figur 27 at følgende er gjeldende for kalkulerte vedlikeholdsfrister som genereres basert på oppdatert prioriteringsmatrise:

- **Kritiske feil/Høy re-prioritet;** Kalkulerte vedlikeholdsfrister er økt fra 36 timer (1,3 dag) til 2 dager på bakgrunn av at utstyrets vektete viktighet er noe lavere. Vedlikeholdsfrist samsvarer forøvrig med kritikalitet i barrieretilstandspanel som tilsier at kritiske feil skal korrigeres innen 2 dager.
- **Degraderte feil/Medium re-prioritet;** Kalkulerte vedlikeholdsfrister er økt fra 9, 16 og 23 dager til 16, 23 og 30 på bakgrunn av at utstyrets vektete viktighet er noe lavere. Vedlikeholdsfrist er enten strengere eller lik kritikalitet i barrieretilstandspanel som tilsier at kritiske feil skal korrigeres innen 30 dager. Dette er på grunn av at komponentfeilmøder som har et relevant feilutviklingspotensial vil gi en reduksjon i kalkulert vedlikeholdsfrist.
- **Begynnende feil/Lav re-prioritet;** Kalkulerte vedlikeholdsfrister er økt 68, 106 og 143 dager til 106, 143 og 180 dager på bakgrunn av at utstyrets vektete viktighet er noe lavere.
- **Uprioritert re-prioritet;** Kalkulerte vedlikeholdsfrister er økt fra 226, 271 og 315 dager til 271, 315 og 380 dager på bakgrunn av at utstyrets vektete viktighet er noe lavere.

Eksempelet viser oppdatert prioriteringsmatrise gir kalkulerte vedlikeholdsfrister som ikke overskrider kritikalitet i barrieretilstandspanel og som justeres basert på det tekniske barrierelementets vektete viktighet og feilutviklingspotensialet (til en sikkerhetskritisk svikt) til den identifiserte komponentfeilmøden. Forskjellene i kalkulerte vedlikeholdsfrister som genereres med oppdatert prioriteringsmatrise av de to situasjonene kan oppsummeres slik (kalkulerte vedlikeholdsfrister er oppgitt i dager):

Figur 28 – Reduksjon i kalkulert vedlikeholdsfrist

Feilpåvirkning / re-prioritet	Komponentfeilmøder		Kalkulert vedlikeholdsfrist		Reduksjon i kalkuert vedlikeholdsfrist for vektgruppe 2 sammenlignet med vektgruppe 1
	Feilmøde	Feilutviklingspotensial	Vektgruppe 2	Vektgruppe 1	
Kritisk feil / Høy	Bearing - Misalignment (1)	1	1,3	2	33 %
	Shaft - Worn (0)	0	1,3	2	33 %
	Mechanical seal - Leakage (-1)	-1	1,3	2	33 %
Degradert feil / Medium	Bearing - Misalignment (1)	1	9	16	44 %
	Shaft - Worn (0)	0	16	23	30 %
	Mechanical seal - Leakage (-1)	-1	23	30	23 %
Lav	Bearing - Misalignment (1)	1	68	106	36 %
	Shaft - Worn (0)	0	106	143	26 %
	Mechanical seal - Leakage (-1)	-1	143	180	21 %
Uprioritert	Bearing - Misalignment (1)	1	226	271	17 %
	Shaft - Worn (0)	0	271	315	14 %
	Mechanical seal - Leakage (-1)	-1	315	360	13 %

Av Figur 28 ser en følgende:

- **Kalkulert vedlikeholdsfrist reduseres med økt feilpåvirkning/re-prioritet;** Samtlige utfall av kalkulert vedlikeholdsfrist for en gitt kombinasjon av vektgruppe og komponentfeilmøde er lavere ved økt feilpåvirkning/re-prioritet.
- **Kalkulert vedlikeholdsfrist reduseres med økt vektet viktighet (vektgruppe);** Samtlige utfall av kalkulert vedlikeholdsfrist for en gitt kombinasjon av feilpåvirkning/re-prioritet og komponentfeilmøde er lavere for vektgruppe 2 enn for vektgruppe 1.
- **Kalkulert vedlikeholdsfrist reduseres med økt feilutviklingspotensiale;** For alle kombinasjoner av feilpåvirkning/re-prioritet og komponentfeilmøder er kalkulert vedlikeholdsfrist redusert med økt feilutviklingspotensiale, med unntak av for kritisk

feil/høy re-prioritet. For sistnevnte er feilutviklingspotensialet ikke kreditert i kalkulering av vedlikeholdsfrist ettersom en kritisk feil/høy re-prioritet per definisjon allerede er en sikkerhetskritisk svikt og at det dermed er det tekniske barrierelementets viktighet som er relevant.

Merk at det i tillegg til eksemplene som er vist i dette delkapittelet vil kunne foreligge flere kombinasjoner som gir andre utfall. For eksempel andre vektgrupper (vektgruppe 3 og 4) og annen redundansgrad (redundansgruppe B og C gir samme utfall). Prosentvis reduksjon vil variere basert på kombinasjoner, men for samtlige vil utfall vil kalkulert vedlikeholdsfrist reduseres med økt vektet viktighet (vektgruppe) og med økt feilutviklingspotensiale. Flere utfall av kalkulerte vedlikeholdsfrister er vist i Vedlegg A – Beregning av forskjellige utfall av kalkulert vedlikeholdsfrist.

8. Konklusjon

8.1 Forslag til videre arbeid

Basert på presenterte begrensninger (se kapittel 7.5) i den foreslåtte prioriteringsmatrisen, gis det forslag til videre arbeid som bør vurderes ved en eventuell implementering av metodikken. Forslag til videre arbeid:

Feilutviklingspotensial

Prinsippet om å kartlegge feilutviklingspotensial på komponentnivå er noe umodent og skjema for kartlegging kan med fordel videreutvikles. For eksempel er det mulig at situasjonsspesifikke vurderinger bedre kan representeres og at grad av usikkerhet allokering av verdier for feilutvikling kan inkluderes.

Kompetanse

En utvidet kartlegging av nødvendig personell og kompetanse til de ulike vurderingene (vektet viktighet, feilutviklingspotensial etc.) som prioriteringsmatrisen bygger på kan med fordel vurderes. Videre bør det foretas en kartlegging av hvilken økning i kompetanse som må stilles til personell som skal skrive notifikasjoner dersom ny metodikk implementeres i CMMS-systemet.

Modell for kalkulering

Antakelser, bakgrunnskunnskap og usikkerhet som foreligger ved bruk av en prioriteringsmatrise som forenkler virkeligheten bør synliggjøres. En utvidelse av metodikken for å tydeliggjøre disse betraktningene i prioriteringen bør vurderes.

Operatørselskapsespesifikk

En utvidelse av informasjonsinnhenting til å inkludere flere operatørselskaper bør vurderes for å fange opp løsninger som kan være mer videreutviklede og erfaringsbaserte enn metodikken til det anonymiserte operatørselskapet.

Sikkerhetskritisk svikt

Definisjon av sikkerhetskritisk svikt fanger ikke nødvendigvis opp alle mulige brudd på ytelseskrav (funksjonalitet, integritet og sårbarhet). Å identifisere en metodikk eller utvide prioriteringsmatrise til å inkludere andre brudd på ytelseskrav er et potensielt punkt for forbedring.

Tekniske barrierelementer

Prioriteringsmatrisen fokuserer på tekniske barrierelementer som er identifisert i barrierestrategien og er basert på en rekke analyser og vurderinger. En utvidelse av metodikk som fanger opp feil som også er registrert på annet utstyr som kan være relevant for en storulykke bør også vurderes. For eksempel feil på utstyr som i seg selv ikke utgjør et teknisk barrierelement, men som derimot kan utgjøre en risiko/trussel. Videre bør vektet viktighet av teknisk barrierelement vurderes til å kunne settes forskjellig på enkeltindivider innenfor samme kategori og tilpasses basert på hvilken barrierefunksjon det tekniske barrierelementet tilhører.

Vedlikeholdsfrister

Vedlikeholdsfrister er basert på Norsok Z-008. Å utfordre fristene kan med fordel vurderes for å åpne for en økning i kalkulert vedlikeholdsfrist noen typer av korrektivt vedlikehold. For eksempel ved at feilutviklingspotensial er svært lavt. Eller at en nøyere gjennomgang av forventet feilutviklingsperiode kan erstatte generiske vedlikeholdsfrister.

8.2 Oppsummering og konklusjon

I driftsfasen av innretninger som produser olje og gass, står korrektivt vedlikehold for tekniske barrierelementer sentralt i barrierestyningen. Dette fordi at vedlikehold bidrar til å verifisere, opprettholde og gjenopprette ytelsen til barrierer [2]. Prioriteringer skjer ved bruk av feilkritikalitet, vedlikeholdsfrist og barrieretilstandspanel for å sikre at prioritet er basert på effekten av feilen. Basert på relevant litteratur og foreliggende metodikk for et operatørselskap på norsk sokkel, er det i rapporten foreslått en metodikk med intensjon å forbedre kalkulering av vedlikeholdsfrister for korrektivt vedlikehold på tekniske barrierelementer som er relevant for sikkerhetsfunksjonen. I metodikken foreslås det bruk av en ny prioriteringsmatrise for kalkulering av vedlikeholdsfrister for sikkerhetsrelaterte feil som rapporteres på tekniske barrierelementer. Kalkulering og bruk prioriteringsmatrisen er basert på vurderinger omkring vektet viktighet av det tekniske barrierelementet, feilpåvirkning og feilutviklingspotensial. Vurderingene kan motiveres basert på regelverkets krav om at utstyr skal konsekvensklassifiseres og at funksjonsfeil med alvorlige konsekvenser skal brytes ned i identifiserte sviktmoder (sikkerhetskritisk svikt), sviktårsaker (komponenter) og sviktmekanismer (komponentfeilmode) der sannsynligheten (feilutviklingspotensial) for den enkelte sviktmodusen er vurdert [9]. Med andre ord vil mye av vurderingene som prioriteringsmatrisen bygger på være vurderinger som regelverket allerede peker på. De genererte vedlikeholdsfristene overskrider ikke de foreslåtte vedlikeholdsfristene i Norsok Z-008 for feilpåvirkning, men innfører en reduksjon i tidsfrist i forhold til feilutviklingspotensialet dersom feilen er relatert til et utstyr med høy vektet viktighet (i lys av konsekvenspotensialet). Det er likevel argumentert for at begrensninger i metodikken medfører et behov for å gjennomføre helhetlige vurderinger omkring prioritering av korrektivt vedlikehold. Et konkret eksempel på bruk av metodikk er presentert i rapporten for å påvise at følgende egenskaper er ivaretatt:

- Kalkulert vedlikeholdsfrist reduseres med økt feilpåvirkning/re-prioritet
- Kalkulert vedlikeholdsfrist reduseres med økt vektet viktighet (vektgruppe)
- Kalkulert vedlikeholdsfrist reduseres med økt feilutviklingspotensiale

Justeringen av kalkulert vedlikeholdsfrist samsvarer med prinsippet om å rangere kritikalitet basert på virkningen av feil og på tiden fra noe skjer (av feil/svikt) og til virkningen skjer på selve innretningen som Norsok Z-013 nevner [30]. Metodikken innfører ingen utvidelse av kalkulerte vedlikeholdsfrister sammenlignet med Norsok Z-008 og det påpekes derfor at dette kan vurderes etter hvert som en opparbeider seg erfaring med bruk av prioriteringsmatrisen. Eksempler kan være tilfeller der det foreligger en kombinasjon av lav vektet viktighet, lite feilutviklingspotensial og lav feilpåvirkning. Fordelen med dette er at det da kan frigjøres ressurser til å gjøre annet vedlikehold.

9. Referanser

- [1] Wiencke, H. S. (2015). *Barrierestyring*. Presentasjon ved ESRA. Proactima. 2015.
- [2] Eltervåg, A., Ersdal, G., Hansen, T. B., Heggeland, J. E., Johnsen, B., Lauridsen, Ø., Lootz, E., Rasmussen, E., Sørensen, E. (2017). *Prinsipper for barrierestyring i petroleumsvirksomheten. Barrierenotat 2017*. Ptil (Petroleumstilsynet). 15.03.2017.
- [3] Frafjord, G., Kristiansen, V., Lauridsen, Ø. (2013). *Prinsipper for barrierestyring i petroleumsvirksomheten. Barrierenotat 2013*. Ptil (Petroleumstilsynet). 29.01.2013.
- [4] Midttun, Ø. (2017). *Slår ring om standardisering*. Artikkel. Ptil (Petroleumstilsynet). 23.02.2017.
Hentet fra: <http://www.ptil.no/sss2017/-article12615-1254.html>
- [5] Schjølberg, P., Øien, K. (2007). *Vedlikehold som virkemiddel for å forebygge storulykker. Vedlikeholdsstatus og utfordringer*. SINTEF 26.10.2007.
- [6] Dørum, F. S., Haug, B. A., Rasmussen, E. R., Skogen, K. (2018). *Tilsyn med risiko-, barriere- og vedlikeholdsstyring på Jotun A*. Ptil (Petroleumstilsynet). 30.05.2018.
- [7] Andreassen, S., Førland, I. H., Kierulff, N. S., Melleby, O. J. (2015). *Revisjonsrapport etter tilsyn med Alvheim - Vedlikeholdsstyring, materialhåndtering og beredskap*. Ptil (Petroleumstilsynet). 24.09.2015.
- [8] Hørnlund, E., Kierulff, N. S., Langøy, M. A., Melleby, O. J. (2015). *Rapport etter tilsyn med beslutningsunderlag for prioritering av vedlikehold Ekofisk C og J*. Ptil (Petroleumstilsynet). 25.09.2015.
- [9] (2018). *Forskrift om utføring av aktiviteter i petroleumsvirksomheten (aktivitetsforskriften)*. Ptil (Petroleumstilsynet). 18.12.2017.
- [10] (2018). *Forskrift om styring og opplysningsplikt i petroleumsvirksomheten og på enkelte landanlegg (styringsforskriften)*. Ptil (Petroleumstilsynet). 18.12.2017.
- [11] Hauge, S., Øien, K. (2016). *Guidance for barrier management in the petroleum industry*. PDS, SINTEF. 23.09.2016.
- [12] Frafjord, G. E. (2012). *Barrierestyring*. Presentasjon ved ESRA. Ptil (Petroleumstilsynet). 07.07.2012.
- [13] Schjølberg, P., Sæbø, H. J. (1998). *Forebyggende vedlikehold basert på RCM-konseptet*. SINTEF. 29.06.1998.
- [14] Norsok standard Z-008 (2017). *Risk based maintenance and consequence classification*. Norsk Olje & Gass. 30.12.2017.

- [15] ISO 14224:2016 (2016) *Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. ISO. 16.09.2016.
- [16] Dokument nr. 91488 (2016). *Safety critical failures*. Anonymisert operatørselskap. 23.06.2016.
- [17] Dokument nr. 146128 (2012). *Event, work order and prioritization*. Anonymisert operatørselskap. 16.05.2012.
- [18] Dokument nr. 868138 (2018). *Gjøa barrier strategy*. Anonymisert operatørselskap. 07.07.2017.
- [19] Dokument nr. 1043775 (2018). *Aggregeringsregler*. Anonymisert operatørselskap. 09.05.2018.
- [20] Dokument nr. C097-ENG-S-SP-0001 (2015). *Safety systems and barrier performance standards*. Anonymisert operatørselskap. 18.12.2015.
- [21] COMOS. Vedlikeholdsstyringssystem for anonymisert innretning. Anonymisert operatørselskap. 03.11.2018.
- [22] NEK IEC 60300-3-11:2009 (2009). *Dependability management - Part 3-11: Application guide - Reliability centred maintenance*. NEK. 17.06.2009.
- [23] Vestvik, D. Halvorsen (2012). *Development of FMEA/RCM methodology to be implemented in Generic Maintenance Concepts*. Masteroppgave, UiS. 14.06.2012.
- [24] Grindhaug, R. (2013). *Asset Integritet Management(AIM) på den norske kontinentalsokkel(NCS). Praktiske gjennomføringer og utfordringer innenfor offshore-vedlikehold*. Masteroppgave, UiS. 29.11.2013.
- [25] (2015). *RCM en modern metode for effektiv vedlikeholdsstyring*. Kursbeskrivelse. NFV. 07.04.2015.
Hentet fra: https://www.nfv.no/images/nyheter/1443_program.pdf
- [26] Auglend, G., Staurvik, N. T. (2015). *Risikobasert vedlikeholdsplanlegging og fornyelsesstrategi for høyspente luftlinjer i distribusjonsnett*. Masteroppgave, UiA. 25.05.2015.
- [27] *Feilmode, effekt og kritikalitetsanalyse (FMEA/FMECA)*. Artikkel. Safetec. 03.11.2018.
Hentet fra: <https://www.safetec.no/tjenester/reliability-and-availability/feilmode-effekt-og-kritikalitetsanalyse-fmeafmeca/>
- [28] Lundteigen, M. A., Rausand, M. (2015). *Reliability of Safety-Critical Systems 3. FMECA and associated terminology*. Presentasjon ved NTNU. 01.10.2015.

- [29] Bergsagel, I. (2011). *Unngå Storulykker - Fokus på kritisk utstyr*. Masteroppgave ved UiS. 14.06.2011.
- [30] Norsok standard Z-013N (2001). *Risiko- og beredskapsanalyse*. Norsk Olje & Gass. 02.09..2001.
- [31] Gjerstad, M. (2016). *Hvordan kan risiko styres*. Artikkel. Ptil (Petroleumstilsynet). 25.02.2016.
Hentet fra: <http://www.ptil.no/sss2016/teori-og-praksis-article11833-1216.html>
- [32] Vinnem, J. E. (2007) *Offshore Risk Assessment. Principles, Modelling and Applications of QRA Studies*. 2nd Edition. Springer.
- [33] Egeli, A., Nyheim, O. M. (2017). *Sikring i barrierestyring*. Presentasjon ved fagdag om barrierer. Safetec. 05.05.2017.
- [34] Bodsberg, L., Hauge, S., Hoem, Å. S., Øien, K. (2016). *Aggregation and presentation of safety barrier status information*. SINTEEF. 01.09.2016.
- [35] Barrier Panel (Corporator). *Barrieretilstandspanel for anonymisert innretning*. Anonymisert operatørselskap. 03.11.2018.
- [36] Hauge, S., Øien, K. (2014). *Vedlikeholdets plass i barrierestyringen*. SINTEF. 12.03.2014.
- [37] Tranvåg, B. (2014). *Evaluering av dagens metode for usikkerhetsstyring, samt diskutere forslag til alternativt verktøy for styring av usikkerhet*. Masteroppgave UiS. 14.01.2014.
- [38] Hopkins, D. S (1981). *Planning models for colleges and universities*. Stanford University Press. 01.05.1981.
- [39] Meland, O., Schjølberg, P., Øien, K. (2008). *Vedlikehold for aldrende innretninger – en utredning*. SINTEF. 25.11.2008.
- [40] Ungureanu, A. L., Stand, G. (2016). *Improving FMEA risk assessment through reprioritization of failures*. IOP. 2016
- [41] Pettersen, M. B. (2011). *Utfordringer ved bruk av kvantitative akseptkrav til pålitelighet, risiko og sikkerhet generelt i olje- og gassindustrien*. Masteroppgave UiS. 27.05.2011.
- [42] Deeptesh, S., Suhane, A. (2015). *Study of centrifugal pump using failure mode effect and critical analysis based on fuzzy cost estimation: A case study*. IJSR. 2013.
- [43] Askeland, T. (2012). *Subjektive sannsynligheter – overføring av kunnskap til sannsynligheter for bruk i risikoanalyser*. Masteroppgave UiS. 15.06.2012.
- [44] Aven, T. (2012). *Foundations of risk analysis*. Wiley. 2008.

- [45] Norsk standard NS5814 (2008). *Krav til risikovurderinger*. Standard Norge. 01.07.2008.
- [46] Vatn, J. (2017). *WCM repetisjon – Sikkerhet, pålitelighet og vedlikehold*. NTNU. 2007.
Hentet fra: <http://folk.ntnu.no/jvatn/WCM/ForberedelseTilEksamenWCM.pdf>
- [47] Norsok standard Z-013 (2010). *Technical safety*. Norsk Olje & Gass. 30.10.201
- [48] Wasskog, T. A. (2008). *BEKK: Høringssvar*. Bekk Consulting AS. 25.09.2008.
Hentet fra: https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/fad/vedlegg/ikt-politikk/faos/horing_faos_bekk.pdf
- [49] (2018). *Defininitions of completeness*. Definitions.net. 03.11.2018.
Hentet fra: <https://www.definitions.net/definition/completeness>
- [50] (2018). *Verifiable*. Vocabularo.com. 03.11.2018.
Hentet fra: <https://www.vocabulary.com/dictionary/verifiable>
- [51] (2018). *Underbygning/Stabilitet*. Jernbanekompetanse.no. 02.02.2012.
Hentet fra: <http://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Underbygning/Stabilitet>
- [52] (2018). *Fleksibel*. Store norske leksikon. 07.05.2018.
Hentet fra: <https://snl.no/fleksibel>
- [53] (2018). *Brukervennlighet*. Brukertest.com. 03.11.2018.
Hentet fra: <http://brukertest.com/brukeropplevelser/interaksjonsdesign/brukervennlighet>
- [54] (2018). *Hva er tilsyn?*. Ptil (Petroleumstilsynet). 22.01.2018.
Hentet fra: <http://www.ptil.no/hva-er-tilsyn/category1287.html>
- [55] Vatn, J. (2005). *Risiko, usikkerhet og beslutninger*. Presentasjon ved NTNU. 24.11.2005.
- [56] Mostue, B. A., Stensaas, J. P. (2005). *Ny kunnskap om brann offshore – en innføring i ny kunnskap om brann offshore, tilegnet gjennom de siste 10 års forskning – 2. utgave*. SINTEF. 14.02.2005.

Vedlegg A – Beregning av forskjellige utfall av kalkulert vedlikeholdsfrist

Kalkulert vedlikeholdsfrist er beregnet for ulike kombinasjoner av feilpåvirkning, redundansgruppe, vektgruppe ved både eksisterende og oppdatert prioriteringsmatrise. Kalkulerte utfall er vist i Figur 29.

Figur 29 - Kalkulert vedlikeholdsfrist for ulike kombinasjoner av feilpåvirkning, redundansgruppe, vektgruppe

Tag informasjon	Feilutviklingspotensial	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1
Redundansgruppe: A	SFA	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann
Konsekvensklassifisering: 3 (Høy)	Feilpåvirkning/Re-prioritet	Kritisk feil/Høy	Kritisk feil/Høy	Kritisk feil/Høy	Degradert feil/Medium	Degradert feil/Medium	Degradert feil/Medium	Lav	Lav	Lav	Uprioritert	Uprioritert	Uprioritert
Vektet viktighet: Vektruppe 4	Kalkulert vedlikeholdsfrist (dager)	2	2	2	30	30	30	180	180	180	360	360	360
	Oppdatert kalkulert vedlikeholdsfrist (dager)	0	0	0	0	2	9	2	31	68	31	181	226
	Reduksjon i kalkulert vedlikeholdsfrist	100 %	100 %	100 %	100 %	93 %	70 %	99 %	83 %	62 %	91 %	50 %	37 %
												Gjennomsnittsreduksjon	82 %
Redundansgruppe: A	SFA	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann
Konsekvensklassifisering: 3 (Høy)	Feilpåvirkning/Re-prioritet	Kritisk feil/Høy	Kritisk feil/Høy	Kritisk feil/Høy	Degradert feil/Medium	Degradert feil/Medium	Degradert feil/Medium	Lav	Lav	Lav	Uprioritert	Uprioritert	Uprioritert
Vektet viktighet: Vektruppe 3	Kalkulert vedlikeholdsfrist (dager)	2	2	2	30	30	30	180	180	180	360	360	360
	Oppdatert kalkulert vedlikeholdsfrist (dager)	0,7	0,7	0,7	2	9	16	31	68	106	181	226	271
	Reduksjon i kalkulert vedlikeholdsfrist	67 %	67 %	67 %	93 %	70 %	47 %	83 %	62 %	41 %	50 %	37 %	25 %
												Gjennomsnittsreduksjon	59 %
Redundansgruppe: A	SFA	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann
Konsekvensklassifisering: 3 (Høy)	Feilpåvirkning/Re-prioritet	Kritisk feil/Høy	Kritisk feil/Høy	Kritisk feil/Høy	Degradert feil/Medium	Degradert feil/Medium	Degradert feil/Medium	Lav	Lav	Lav	Uprioritert	Uprioritert	Uprioritert
Vektet viktighet: Vektruppe 2	Kalkulert vedlikeholdsfrist (dager)	2	2	2	30	30	30	180	180	180	360	360	360
	Oppdatert kalkulert vedlikeholdsfrist (dager)	1,33333333	1,33333333	1,33333333	9	16	23	68	106	143	226	271	315
	Reduksjon i kalkulert vedlikeholdsfrist	33 %	33 %	33 %	70 %	47 %	23 %	62 %	41 %	21 %	37 %	25 %	13 %
												Gjennomsnittsreduksjon	37 %
Redundansgruppe: A	SFA	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann
Konsekvensklassifisering: 3 (Høy)	Feilpåvirkning/Re-prioritet	Kritisk feil/Høy	Kritisk feil/Høy	Kritisk feil/Høy	Degradert feil/Medium	Degradert feil/Medium	Degradert feil/Medium	Lav	Lav	Lav	Uprioritert	Uprioritert	Uprioritert
Vektet viktighet: Vektruppe 1	Kalkulert vedlikeholdsfrist (dager)	2	2	2	30	30	30	180	180	180	360	360	360
	Oppdatert kalkulert vedlikeholdsfrist (dager)	2	2	2	16	23	30	106	143	180	271	315	360
	Reduksjon i kalkulert vedlikeholdsfrist	0 %	0 %	0 %	47 %	23 %	0 %	41 %	21 %	0 %	25 %	13 %	0 %
												Gjennomsnittsreduksjon	14 %
Redundansgruppe: B/C	SFA	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann
Konsekvensklassifisering: 3 (Høy)	Feilpåvirkning/Re-prioritet	Kritisk feil/Høy	Kritisk feil/Høy	Kritisk feil/Høy	Degradert feil/Medium	Degradert feil/Medium	Degradert feil/Medium	Lav	Lav	Lav	Uprioritert	Uprioritert	Uprioritert
Vektet viktighet: Vektruppe 4	Kalkulert vedlikeholdsfrist (dager)	30	30	30	180	180	180	180	180	180	360	360	360
	Oppdatert kalkulert vedlikeholdsfrist (dager)	0	0	0	0	2	9	2	31	68	31	181	226
	Reduksjon i kalkulert vedlikeholdsfrist	100 %	100 %	100 %	100 %	99 %	95 %	99 %	83 %	62 %	91 %	50 %	37 %
												Gjennomsnittsreduksjon	85 %
Redundansgruppe: B/C	SFA	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann
Konsekvensklassifisering: 3 (Høy)	Feilpåvirkning/Re-prioritet	Kritisk feil/Høy	Kritisk feil/Høy	Kritisk feil/Høy	Degradert feil/Medium	Degradert feil/Medium	Degradert feil/Medium	Lav	Lav	Lav	Uprioritert	Uprioritert	Uprioritert
Vektet viktighet: Vektruppe 3	Kalkulert vedlikeholdsfrist (dager)	30	30	30	180	180	180	180	180	180	360	360	360
	Oppdatert kalkulert vedlikeholdsfrist (dager)	0,7	0,7	0,7	2	9	16	31	68	106	181	226	271
	Reduksjon i kalkulert vedlikeholdsfrist	98 %	98 %	98 %	99 %	95 %	91 %	83 %	62 %	41 %	50 %	37 %	25 %
												Gjennomsnittsreduksjon	73 %
Redundansgruppe: B/C	SFA	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann
Konsekvensklassifisering: 3 (Høy)	Feilpåvirkning/Re-prioritet	Kritisk feil/Høy	Kritisk feil/Høy	Kritisk feil/Høy	Degradert feil/Medium	Degradert feil/Medium	Degradert feil/Medium	Lav	Lav	Lav	Uprioritert	Uprioritert	Uprioritert
Vektet viktighet: Vektruppe 2	Kalkulert vedlikeholdsfrist (dager)	30	30	30	180	180	180	180	180	180	360	360	360
	Oppdatert kalkulert vedlikeholdsfrist (dager)	1,33333333	1,33333333	1,33333333	9	16	23	68	106	143	226	271	315
	Reduksjon i kalkulert vedlikeholdsfrist	96 %	96 %	96 %	95 %	91 %	87 %	62 %	41 %	21 %	37 %	25 %	13 %
												Gjennomsnittsreduksjon	63 %
Redundansgruppe: B/C	SFA	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann	Sann
Konsekvensklassifisering: 3 (Høy)	Feilpåvirkning/Re-prioritet	Kritisk feil/Høy	Kritisk feil/Høy	Kritisk feil/Høy	Degradert feil/Medium	Degradert feil/Medium	Degradert feil/Medium	Lav	Lav	Lav	Uprioritert	Uprioritert	Uprioritert
Vektet viktighet: Vektruppe 1	Kalkulert vedlikeholdsfrist (dager)	2	2	2	30	30	30	180	180	180	360	360	360
	Oppdatert kalkulert vedlikeholdsfrist (dager)	2	2	2	16	23	30	106	143	180	271	315	360
	Reduksjon i kalkulert vedlikeholdsfrist	93 %	93 %	93 %	91 %	87 %	83 %	41 %	21 %	0 %	25 %	13 %	0 %
												Gjennomsnittsreduksjon	53 %