

Ptil Sektoroppgave 2016/80

Utforming av elektriske anlegg uten dedikert nødkraftsystem

		Dato			
		Sign.			
		Dato			
		Sign.			
		Dato			
		Sign.			
		Dato			
		Sign.			
		Dato			
		Sign.			
02	Endelig versjon	Dato	02.12.16	02.12.16	02.12.16
		Sign.	SAA	BB	SAA
01	For kommentarer	Dato	10.11.16	10.11.16	10.11.16
		Sign.	SAA	BB	SAA
Rev. nr.	Beskrivelse		Utarbeidet	Sjekkert	Utgitt
Dokument nr.: UPS-2016015-R01		Kundens referanse: Kontrakt nr. 06558			
Dokument tittel: Utforming av elektriske anlegg uten dedikert nødkraftsystem		UPS Prosjekt nr.	Rev.	Sider	
		2016015	02	53	

Innholdsfortegnelse

1. OPPSUMMERING	4
2. INTRODUKSJON.....	6
2.1 Bakgrunn	6
2.2 Hensikt	6
2.3 Arbeidsomfang	6
3. REVISJONSHISTORIKK	7
4. FORKORTELSER.....	7
5. REGELVERK OG NORMER	8
6. VURDERINGER AV ROBUSTHET OG KOMPLEKSITET	9
6.1 Generell arbeidsmetodikk	9
6.2 Metode for kartlegging av styrker og svakheter.....	9
6.3 Definisjon av et tradisjonelt nødkraftsystem.....	10
6.4 Spesifikke vurderinger – Fast produksjonsinnretning.....	11
6.4.1 Anleggets utforming.....	11
6.4.2 Fysisk redundans/adskillelse	11
6.4.3 Elektrisk redundans/uavhengighet	12
6.4.4 Redundans/uavhengighet i hjelpesystemer	13
6.4.5 Funksjonalitet	14
6.4.6 Organisatoriske og operasjonelle forhold	14
6.4.7 Vurdering av styrker og svakheter	15
6.5 Spesifikke vurderinger – Oppjekkbar boreinnretning.....	18
6.5.1 Anleggets utforming.....	18
6.5.2 Fysisk redundans/adskillelse	18
6.5.3 Elektrisk redundans/uavhengighet	19
6.5.4 Redundans/uavhengighet i hjelpesystemer	22
6.5.5 Funksjonalitet	23
6.5.6 Organisatoriske og operasjonelle forhold	25
6.5.7 Vurdering av styrker og svakheter	26
6.6 Spesifikke vurderinger – Flyttbar innretning m. dynamisk posisjonering.....	28
6.6.1 Anleggets utforming.....	28
6.6.2 Fysisk redundans/adskillelse	29
6.6.3 Elektrisk redundans/uavhengighet	30
6.6.4 Redundans/uavhengighet i hjelpesystemer	35
6.6.5 Funksjonalitet	36
6.6.6 Organisatoriske og operasjonelle forhold	38
6.6.7 Vurdering av styrker og svakheter	39
7. FELLES VURDERINGER OG ANBEFALINGER.....	42
7.1 Generelle vurderinger.....	42
7.1.1 Felles styrker og svakheter	42
7.1.2 Styrker og svakheter ved operasjon med lukket samleskinnebryter	42

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	2 of 53

7.2	Betenkninger omkring operasjon med lukket samleskinnebryter	43
7.3	Ulikt valg av tekniske løsninger	44
7.4	Håndtering av «nødmodus»	45
7.4.1	«Blackout» på hovedkraftanlegget	45
7.4.2	Plattform «shutdown»	45
7.4.3	Dødstart	46
7.5	Betenkninger omkring dagens regelverk.....	47
7.5.1	Generelle krav i regelverk og normer	48
7.5.2	Særskilte krav i normverket	49
7.6	Anbefalinger til forbedringer av dagens regelverk	51
7.7	Anbefalinger til videre arbeid	52
VEDLEGG 1: REDUNDANSMATRISER.....		53
A.1	Redundansmatrise for fast produksjonsinnretning	53
A.2	Redundansmatrise for oppjekkbar boreinnretning	53
A.3	Redundansmatrise for flyttbar innretning med dynamisk posisjonering	53
VEDLEGG 2: ANLEGGSSPESIFIKKE NOTATER		53
A.4	Teknisk Notat for fast produksjonsinnretning.....	53
A.5	Teknisk Notat for oppjekkbar boreinnretning.....	53
A.6	Teknisk Notat for flyttbar innretning med dynamisk posisjonering	53

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	3 of 53

1. Oppsummering

Ptil registrerer at næringen i økende grad utfordrer regelverkets krav til utforming av elektriske nødkraftsystemer, og har derfor identifisert behov for å innhente mer kunnskap og erfaringer med etablerte og nye løsninger på dette området. Dette arbeidet er gjennomført i form av en dybdestudie, med bruk av ekstern konsulentbistand.

Dybdestudien har resultert i en relativt detaljert innsikt i utformingen av elektriske anlegg uten dedikert nødkraftsystem på tre utvalgte innretninger av ulik karakter.

Følgende typer innretninger er undersøkt:

- Fast produksjonsinnretning
- Oppjekkbar boreinnretning
- Flyttbar innretning med dynamisk posisjonering

Styrker og svakheter med systemenes utforming er identifisert, og styrkeforholdet er vurdert opp mot et tradisjonelt anlegg med dedikert nødkraftsystem. Det er videre gjort vurderinger av kompleksitet og sårbarhet mot fellesfeil ved operasjon med lukket samleskinnebryter. Vurderingene omfatter tekniske, organisatoriske og operasjonelle forhold.

Noen styrker og svakheter er felles for anleggene, mens andre er mer spesifikke for den enkelte innretningen. Generelt kan utelatelsen av dedikert nødgenerator sies å være en synergieffekt av den innebygde redundansen mellom to eller flere hovedkraftsystemer, og hvor hovedbegrunnelsen for redundansen mellom hovedkraftsystemene er et generelt ønske om eller behov for økt robusthet i tilgang på elektrisk kraft.

Robustheten i et elektrisk anlegg hvor minst to redundanssoner opereres uavhengig av hverandre vurderes til å være god. Forutsatt full uavhengighet mellom redundanssonene vil en samtidig «blackout» på begge/alle hovedkraftsystemene være svært lite sannsynlig. Forutsetningen for denne robustheten er imidlertid basert på uavhengigheten mellom redundanssonene. Denne uavhengigheten utfordres når de ulike redundanssonene kobles sammen elektrisk, slik tilfellet er på alle de studerte innretningene.

Sammenkoblingen av redundanssonene er i hovedsak motivert av ønsket om en mer rasjonell drift av anlegget totalt sett. Denne driftsformen gir en rekke fordeler, men innebærer samtidig en rekke utfordringer. For å ivareta selektiv utkobling av eventuelle feil i anlegget kreves kompliserte vern- og kontrollsystemløsninger, og hvor koordinering og samhandling mellom disse avanserte systemene blir en viktig faktor.

For de mest avanserte anleggene viser det seg problematisk å ha eget operativt driftspersonell med kompetanse på alle nødvendige systemer. Konsekvensen av dette er en økende avhengighet av assistanse fra spesialkompetanse hos en eller flere ulike systemleverandører dersom det skulle oppstå problemer.

Ved operasjon med lukket samleskinnebryter er det krevende å utføre periodiske tester av hele nødkraftsystemet i henhold til intensjonene i regelverket.

Det er valgt ulike tekniske løsninger mellom de studerte innretningene på flere viktige områder. Noen av ulikhetene kan begrunnes i innretningens overordnede funksjon. For andre ulikheter synes det ikke å være noen logisk begrunnelse. Slike ulikheter kan i en stor grad tilskrives mangel på føringer i regelverk og normer.

Ptil sine forskrifter åpner, via referert normverk, prinsipielt for løsningen med utelatelse av dedikert nødgenerator. Som nevnt over er den praktiske tilnærmingen til løsningen ulik fra

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	4 of 53

anlegg til anlegg. Resultatene av dybdestudien tilsier ikke at denne muligheten skal fjernes eller begrenses, men det observeres at regel- og normverk ikke i tilstrekkelig grad gir åpning for bruk av denne løsningen. Det anbefales derfor å klargjøre kravene til en slik løsning i HMS regelverket. Denne klargjøringen bør som et minimum presisere hvilke krav som gjelder for et anlegg som skal opereres med lukket samleskinnebryter.

Dybdestudien har identifisert en rekke relaterte tema som anses som relevante for videre arbeid. En vurdering av nødkraftsystemet sin rolle som sikkerhetsfunksjon mot farer og ulykker, med tilhørende definisjon av ytelseskrav, er et av flere identifiserte tema.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	5 of 53

2. Introduksjon

2.1 Bakgrunn

Ptil registrerer at næringen i økende grad utfordrer regelverkets krav til utforming av elektriske nødkraftsystemer, og har derfor identifisert behov for å innhente mer kunnskap og erfaringer med etablerte og nye løsninger på dette området. Dette arbeidet er gjennomført i form av en dybdestudie, med bruk av ekstern konsulentbistand.

2.2 Hensikt

Hovedhensikten med dybdestudien er at Ptil skal få en mer helhetlig oversikt over operatørenes og rederienes arbeid med utforming av elektriske anlegg uten dedikert nødkraftsystem på innretninger til havs, herunder generering og fordeling av elektrisk kraft. Målet er redusert saksbehandlingstid og likebehandling av saker knyttet til tema for studien. Videre er hensikten å dele denne kunnskapen med resten av næringen, samt vurdere eventuelle endringer i regelverket.

2.3 Arbeidsomfang

Kompleksitet og robusthet i løsninger hvor utformingen av det elektriske anlegget er uten dedikert nødkraftsystem er blitt vurdert for tre utvalgte innretninger av ulik karakter.

Følgende typer innretninger er undersøkt:

- Fast produksjonsinnretning
- Oppjekkbar boreinnretning
- Flyttbar innretning med dynamisk posisjonering

Styrker og svakheter med systemenes utforming er identifisert, og styrkeforholdet er vurdert opp mot tradisjonelle anlegg med dedikert nødkraftsystem. Det er videre gjort vurderinger av kompleksitet og sårbarhet mot fellesfeil ved operasjon med lukket samleskinnebryter. Vurderingene omfatter tekniske, organisatoriske og operasjonelle forhold.

Arbeidet er utført ved kombinasjon av dokumentgjennomgang, arbeidsmøter med operatører og redere og/eller offshorebefaringer på innretningene. Arbeidet er blitt utført i tett samarbeid med de ulike aktørene.

Det er utarbeidet anbefalinger til forbedringer av dagens regelverk, samt forslag til videre utredninger av aktuelle og relaterte tema.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	6 of 53

3. Revisjonshistorikk

Dato	Rev. nr.	Beskrivelse	Detaljert beskrivelse
10.11.16	01	For kommentar	Første utsendelse av rapporten
02.12.16	02	Endelig versjon	Implementering av kommentarer som følger: <ul style="list-style-type: none"> - «Borerigg» endret til «boreinnretning» generelt i rapport og vedlegg - «Flytende» endret til «Flyttbar» innretning generelt i rapport og vedlegg - Kommentarer mottatt i forbindelse med presentasjon av rapporten 17.11.16 - Kommentarer mottatt til rev. 01 av rapporten, fra Ptil og aktørene

4. Forkortelser

AGS	Advanced Generator Supervision
AVR	Automatic Voltage Regulator
CPU	Central Processing Unit
DP	Dynamisk Posisjonering
ESD	Emergency Shut Down
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
F&G	Fire & Gas
HMI	Human Machine Interface
HMS	Helse, Miljø og Sikkerhet
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning
I/O	Input/Output
LMS	Load Management System
PMS	Power Management System
Ptil	Petroleumstilsynet
SAS	Safety and Automation System
SIL	Safety Integrity Level
UPS	Avbruddsfri strømforsyning
VSD	Variable Speed Drive (Frekvensomformertavle)

5. Regelverk og normer

Følgende Ptil forskrifter ansees som relevante for det aktuelle tema:

- Styringsforskriftens § 4 om risikoreduksjon og § 5 om barrierer
- Innretningsforskriftens § 8 om sikkerhetsfunksjoner, § 38 om nødskraft og nødbelysning og § 47 om elektriske anlegg
- Rammeforskriftens § 3 om anvendelse av maritimt regelverk for flyttbare innretninger

Innretningsforskriften refererer til følgende normer og standarder hvor elektrisk anlegg uten dedikert nødkraftsystem er beskrevet:

- Mobile and fixed offshore units - Electrical installations - IEC 61892-2 (Edition 2.0 2012-03), kapittel 4.3.1
- Code for the construction and equipment of mobile offshore drilling units (2009 MODU CODE), 2010 edition, kapittel 5.4
- DNV Offshore Standard for Electrical Installations DNV-OS-D201, October 2013, kapittel 2, seksjon 2, punkt 3.1.6

I henhold til disse normene tilfaller det myndighetene i de enkelte land å vurdere om løsningen med elektriske anlegget uten dedikert nødkraftsystem skal være tilgjengelig for aktørene eller ikke. Ptil har ikke spesifikt omtalt dette i sine forskrifter.

Rammeforskriftens § 3 åpner for bruk av Sjøfartsdirektoratets regelverk for flyttbare innretninger, med tillegg av utfyllende klasseregler. Sjøfartsdirektoratets forskrift nr. 856 av 4. september 1987 om bygging av flyttbare innretninger (FOR-1987-09-04-856) § 11 omhandler Nødkraftforsyning. Denne paragrafen åpner for utelatelse av dedikert nødgenerator ved redundante hovedkraftkilder, tilsvarende som for de ovenfor refererte normer og standarder.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	8 of 53

6. Vurderinger av robusthet og kompleksitet

6.1 Generell arbeidsmetodikk

Dybdestudien har vært preget av en omforent forståelse av at dette ikke dreier seg om et tilsyn fra Ptil, men en informasjonsinnhenting hvor hovedhensikten har vært å øke kunnskapen om det aktuelle emnet. Arbeidet har vært preget av en åpen og konstruktiv dialog mellom aktørene.

Den generelle arbeidsmetodikken har i all hovedsak innbefattet følgende elementer:

- Operatør/reder oversender kjernedokumenter relevante for tema
- Konsulent foretar gjennomgang av disse, og etterspør supplerende dokumentasjon
- Konsulent foretar dokumentgjennomgang, og utarbeider «redundansmatrise»
- Arbeidsmøte hos reder/operatør, med presentasjon og gjennomgang av anlegget basert på den på forhånd oversendte «redundansmatrise»
- Befaring om bord på innretningen, inkludert besiktigelse i felt, samtaler med relevant personell og gjennomgang av teknisk dokumentasjon
- Konsulent utarbeider Teknisk Notat spesifikt for det aktuelle anlegget
- Konsulent utarbeider endelig prosjektrapport

Ptil har vært aktivt involvert i arbeidet i hele prosjektfasen.

6.2 Metode for kartlegging av styrker og svakheter

Som nevnt i ovenstående kapittel er en «redundansmatrise» brukt som arbeidsredskap for kartlegging av styrker og svakheter.

Denne matrisen ble utviklet i oppstartsfasen av studien, og har blitt utviklet og tilpasset det enkelte anlegget underveis.

Matrisen består av en opplisting av aspekter som anses å kunne påvirke robusthet og kompleksitet i et system hvor tilgang på nødkraft er basert på redundans mellom to eller flere hovedkraftsystemer. Matrisen inneholder separate kolonner for operasjon med åpen samleskinnebryter og lukket samleskinnebryter.

En egen kolonne med definisjonen av egenskapene for et tradisjonelt anlegg med dedikert nødgenerator er del av matrisen.

En indikativ fargekoding er inkludert, med følgende kodemønster;

DEFINISJON AV FARGEKODER:		BEDRE LØSNING
		NOE BEDRE LØSNING
		LIKEVERDIG LØSNING
		NOE MERE SÅRBAR/KOMPLEKS
		MERE SÅRBAR/KOMPLEKS

Det er i denne sammenheng viktig å presisere at fargekodingen representerer en generisk vurdering av et tenkt anlegg av den aktuelle typen, og ikke en konkluderende vurdering av det aktuelle anlegget. De anleggsspesifikke vurderingene finner man i kapittelet for den enkelte innretningstypen.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	9 of 53

6.3 Definisjon av et tradisjonelt nødkraftsystem

For å kunne vurdere styrker og svakheter sammenlignet med et tradisjonelt anlegg med dedikert nødgenerator var det nødvendig å definere hva som kjennetegner et slikt anlegg.

Et detaljert oversikt over kravene til et tradisjonelt anlegg med dedikert nødgenerator fremkommer i en egen kolonne i redundansmatrisene.

Kjennetegnene ved et tradisjonelt anlegg med dedikert nødgenerator er forutsatt som følger:

- A60 brannskille mellom nød- og normalkraftsystemet
- Egen nødgenerator på lavspenningsnivå
- Egne elektriske tavler for distribusjon av nødkraft
- Redusert beskyttelse av nødgenerator og dens drivmaskin i nødmodus
- Kun alarm ved første jordfeil (IT-system), med unntak av 400/230V fordelinger
- Nødgeneratoren skal være robust og enkel, og operere uavhengig av andre hjelpe- og/eller kontrollsystemer på innretningen
- Startsystem i henhold til krav i NFPA 20 (Standard for the Installation of Stationary Fire Pumps for Fire Protection)
- Hele nødkraftsystemet kan testes i henhold til krav i IEC 61892-2 kapittel 4.3.10
- Nødgeneratoren er tilrettelagt for dødstart av anlegget

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	10 of 53

6.4 Spesifikke vurderinger – Fast produksjonsinnretning

6.4.1 Anleggets utforming

Det elektriske anlegget på innretningen består av 3 redundante kraftsystemer. Hvert av kraftsystemene har en gassturbindrevet hovedgenerator. Gassturbinen opereres normalt på gass, men kan kjøres på diesel ved behov. Skifte av brennstoff skjer uten opphold i driften.

Hver av hovedgeneratorene forsyner sin 11 kV hovedtavle innenfor den aktuelle redundanssonen. Normalt opereres 11 kV hovedtavlene med lukket samleskinnebryter mellom redundanssonene. Hver 11 kV hovedtavle forsyner 690 V hovedtavlene innenfor sin redundanssone via sine respektive transformatorer, i tillegg til en rekke høyspenningsmotorer og VSD-anlegget for boring.

En dedikert 690 V nødtavle forsynes fra 690 V hovedtavler i hver av de 3 redundanssonene. Nødtavlen består av 3 seksjoner. Nødtavlen opererer med åpne samleskinnebrytere, som lukker automatisk ved bortfall av en innkommende forsyning. Nødtavlen er plassert i eget nødtavlerom.

De ulike 690 V tavlene forsyner videre til 230 V systemene via sine respektive transformatorer.

3 stk. kombinerte sjøvanns/brannvannspumper forsynes via dedikerte 11/6,6 kV transformatorer innenfor hver redundanssone. I tillegg har innretningen en fjerde brannvannspumpe med egen dieselgenerator. Denne generatoren har mulighet for tilkobling/forsyning til 690 V nødtavlen via egen transformator.

Ved normal operasjon er 11 kV anlegget systemjordet over permanent innkoblede motstander i generatorenes nullpunkt. I nødmodus forbikobles deler av denne motstanden, slik at resistansen øker og jordfeilstrømmen reduseres til maks. 2 A. I normal modus er 690 V systemet direktejordet. En bryteranordning i nullpunktstilkoblingen på transformatorens sekundærside sørger for at systemets nullpunkt isoleres i nødmodus. 230 V systemene er direktejordet. UPS-systemene har isolert nullpunkt.

Hoved UPS består av 2 stk. redundante systemer. De 2 hoved UPS'ene opereres adskilt, men kan sammenkobles manuelt ved behov.

Hver av de tre generatorpakkene har et dedikert 2 x 100 % redundant UPS-system, plassert i elektro/instrument kontrollrommet på pakken. I tillegg har hver generatorpakke en liten dieseldrevet hjelpegenerator for blant annet å møte kravet til antall startforsøk i henhold til NFPA 20 og lading av batterier på dedikert UPS.

Innretningen har altså ingen dedikert nødgenerator. Alle hovedgeneratorene er spesifisert som nødgenerator med hensyn til elektrisk/mekanisk beskyttelse og hjelpesystemer for oppstart og drift.

6.4.2 Fysisk redundans/adskillelse

Foreskrevne skiller mellom de ulike redundanssonene i kraftanlegget med hensyn til brann og eksplosjon synes å være ivaretatt på en forskriftsmessig måte. Det antas at det er brukt tosidig A60 brannskille mellom de ulike elektro-rommene, uten at dette ble fysisk verifisert. Det er anvendt brannsikker kabel på nød- og UPS-systemene, samt på overordnet sikkerhet/nedstengningssystem.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	11 of 53

6.4.3 Elektrisk redundans/uavhengighet

Elektriske vern testes med faste intervaller i henhold til vedlikeholdsprogrammet. Vern-testingen utføres med eget testutstyr, og av eget driftspersonell. De ulike vernfunksjonene testes mot siste revisjon av releplanen. Releplanen er i følge operatøren holdt fortløpende oppdatert i forbindelse med endringer og oppgraderinger på anlegget.

For 11 kV er det skiftet kort i alle vern, ettersom disse var i ferd med å gå ut av produksjon.

Operatøren forutsetter at de anvendte vernfunksjoner med sine respektive innstillinger ivaretar selektiv utkopling/isolering av eventuelle feilbefengte deler av 11 kV systemet. En overordnet test av at dette virkelig er tilfelle har imidlertid aldri blitt foretatt. Konsekvensen av eventuell manglende selektiv utkopling/feilisolering ved operasjon med lukkede skinneforbindelser på 11 kV (ring nett) kan i verste fall være en full nedstenging av hovedkraftsystemet på innretningen. Ettersom man ikke har egen nødgenerator vil man da gå direkte over i UPS/batteridrift, og forsyning kun til sikkerhetskritiske forbrukere i en begrenset tidsperiode.

Overgang fra normal til nødmodus inntreffer på ESD 2.1 nivå. Overgang fra gass- til diesel-drift på turbinene initieres automatisk, og antall operative vernfunksjoner for turbin og generator begrenses til det som er absolutt påkrevd. For ytterligere kommentarer knyttet til overgang fra gass- til diesel-drift henvises til neste kapittel 6.4.4.

Inhibitering av vernfunksjoner på generatorer og drivmaskin skjer kun ved overgang til nødmodus, uavhengig av antall generatorer som opererer. I praksis betyr dette at dersom man har kun 1 stk. generator i «normal» drift (med hensikt, eventuelt etter en tripp av generator nr. 2) vil man være mere utsatt for total "black-out" og overgang til batteridrift enn hva man er i nødmodus.

Likeledes skjer endring av prinsipp for systemjording kun ved overgang til nødmodus. Endring fra lav-resistans til høy-resistans jording av nullpunkt på 11 kV systemet, og fra direkte jordet til isolert nullpunkt på 690V systemet, er altså ikke påvirket av antall generatorer i drift.

Det er i denne forbindelse verdt å notere seg at det kun er i forbindelse med revisjonsstanser at man med hensikt opererer med 1 stk. generator i drift, og da alltid med en generator i standby.

Fordeling av aktiv- og reaktiv last mellom generatorene styres normalt av Load Management Systemet (LMS) i overordnet SAS. Lastavkasting ved tap av generator ivaretas av en egen SAS node i Load Management panelet som er plassert i elektrisk kontrollrom.

Lastavkasting ved ESD 2.1/overgang til nødmodus ivaretas av sentralt F&G/ESD system innenfor den enkelte redundanssonen.

Hver av de tre generatorpakkene har sin dedikerte SAS-node, plassert i turbinkontrollpanelet i elektro/instrument kontrollrommet på pakken. Denne noden styrer sekvenser og hjelpesystemer på pakken, og kommuniserer utvalgte signaler med den proprietære turbin-kontrollenheten samt med AVR og synkroniseringsutstyr. Generator innkommer bryter på 11 kV styres fra generator kontrollpanelet.

Styringen av de resterende bryterne i det elektriske fordelingsystemet på 11 kV og 690 V nivå ivaretas av en felles SAS node plassert i sentralt utstyrsrom, via Remote I/O enheter i hvert av tavlerommene. Denne SAS noden har redundant CPU med «keep current value» oppsett, slik at de elektriske bryterne ikke tripper ved et eventuelt tap av denne. Alle elektriske vern har «activate to trip» funksjonalitet, og fungerer uavhengig av SAS systemet. Et eventuelt tap av den nevnte SAS noden vil dog resultere i tap av kontroll/styring på

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	12 of 53

vesentlige deler av det elektriske fordelingsnett. Manuell kontroll av bryterne lokalt i de respektive tavlerom vil fortsatt være mulig. Uavhengighet mellom de ulike redundanssonene med hensyn på automatisk styring synes likevel ikke å være ivaretatt for denne delen av systemet.

Hver av de tre generatorpakkene har et dedikert 2 x 100 % redundant UPS-system, plassert i elektro/instrument kontrollrommet på pakken. I tillegg har hver generatorpakke en liten dieseldrevet hjelpegenerator for blant annet å møte kravet til antall startforsøk i henhold til NFPA 20 og lading av batterier på dedikert UPS.

Det er 2 stk. redundante hoved UPS'er på innretningen, plassert henholdsvis i nødtavlerommet og i elektrisk kontrollrom. Systemene er sammenkoblet, og opererer normalt i parallell. En UPS enhet er i stand til å håndtere hele lasten dersom den andre av en eller annen grunn skulle feile.

6.4.4 Redundans/uavhengighet i hjelpesystemer

Dagtanken på hver av generatorpakkene har kapasitet for 24 timers drift på 3 MW ytelse.

Filosofien for overgang fra gass- til diesel-drift på turbinene har endret seg etter hvert som man har fått driftserfaring med anlegget. Ved operasjon av tre turbiner kjøres en av turbinene på diesel. Endring til diesel-drift skjer dessuten automatisk på alle gjenværende turbiner ved feil/tripp på en turbin. Man venter altså ikke lenger på lavt trykk i gassforsyningen før man initierer overgang til diesel-drift. Dette, sammen med interne modifikasjoner på turbinen sitt brennstoffsystem, har gjort overgangen fra gass- til diesel-drift mer pålitelig.

Generelt må forskjellen mellom antall hjelpesystemer og kompleksiteten i disse på en stor gassturbinpakke sammenlignet med en mindre dieselmotor for en dedikert nødgenerator sies å være relativt stor. En gassturbinpakke har dessuten en rekke hjelpesystemer som ikke behøves på en dieselmotor, f.eks. eget hydraulikkoljesystem, eget trykkluftsystem, system for vannvasking av turbinen, undertrykksventilasjon av turbin-hus og brannslukkeanlegg for dette. Ved anvendelse av redundansprinsippet i krafttilførselen som erstatning for egen nødgenerator må alle hjelpesystemene dessuten være uavhengige innenfor hver enkelt redundanssone.

En egen nødsmøreoljepumpe med batteridrift er installert for smøring av turbinen under nedrulling og kjøling etter stopp dersom hoved- og standby-pumpen skulle være ute av drift.

Den enkelte generatorpakke har sine egne uavhengige HVAC systemer, inkludert for sitt respektive elektro/instrument kontrollrom.

Uavhengighet mellom de ulike redundanssonene synes imidlertid ikke å være fullt ut ivaretatt for HVAC systemet for de elektriske utstysrommene i innredningen. I henhold til HVAC diagrammene er det installert felles til-luft og felles fra-luft aggregat for alle høyspentrom og lavspenrom på tvers av redundanssonene. Det samme HVAC systemet betjener også nødtavlerommet og elektrisk kontrollrom, hvor de to hoved-UPS systemene for innretningen er plassert. HVAC aggregatene på til- og fra-luft har 2 x 100 % kapasitet, og det er redundans i SAS nodene som styrer systemet. Luftkanalføring er dog felles. Dette betyr i praksis at et eventuelt sammenbrudd på enkeltkomponenter i dette HVAC systemet kan gi tap av ventilasjon/kjøling/overtrykk i alle de nevnte rommene.

Kompenserende tiltak for å holde temperaturen nede ved et eventuelt utfall av systemet er åpning av dører og manuell brannvakt/overvåking av området.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	13 of 53

6.4.5 Funksjonalitet

Test av systemet foretas i forbindelse med årlig vedlikehold, som del av overordnet ESD 2.1 test. Lastavkasting av ikke-essensielle forbrukere, overgang til høy-resistans jording på 11 kV og til isolert nullpunkt på 690 V systemet ivaretas av F&G/ESD systemet.

Ved en eventuell dødstart av systemet kan den dieseldrevne brannpumpegeneratoren tilkobles 690 V nødtavle, for forsyning til/oppstart av innretningens hoved-UPS.

6.4.6 Organisatoriske og operasjonelle forhold

Erfaringene med driften av det elektriske anlegget på innretningen synes å være overveiende positive. De ekstra forutsetningene knyttet til ivaretagelse av redundansfunksjonaliteten synes å være håndtert på en god måte.

Innretningen har eget personell om bord med kompetanse på kritiske systemer i et eventuelt «blackout»-scenario. Dette gjelder både elektriske systemer/vernustyring, mekaniske hjelpesystemer og overordnet SAS.

Følgende forutsetninger ble nevnt som spesielt viktige for ivaretagelse av systemets funksjonalitet;

- Tett oppfølging og regulær testing av elektriske vern
- Fokus på opplæring/kompetanse på viktige elementer i systemet, eksempelvis elektriske vern

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	14 of 53

6.4.7 Vurdering av styrker og svakheter

Styrker og svakheter med det elektriske anlegget på den faste produksjonsinnretningen kan oppsummeres som følger:

6.4.7.1 Operasjon med åpen samleskinnebryter, sammenlignet med et tradisjonelt anlegg

Styrker (Enklere, mer robust)	Svakheter (Mer komplekst, større sårbarhet)
Redundansen i anlegget gjør at hovedkraftsystemet er mere robust mot en nedstenging enn et tradisjonelt anlegg.	Forskjellen mellom antall hjelpesystemer og kompleksiteten i disse på en stor gassturbinpakke sammenlignet med en mindre generator med dieselmotor er relativt stor. En gassturbinpakke har dessuten en rekke hjelpesystemer som ikke behøves på en dieselmotor, f.eks. eget hydraulikkoljesystem, eget trykkluftsystem, system for vannvasking av turbinen, undertrykksventilasjon av turbin-hus og brannslukkeanlegg for dette.
Konseptet med redundante hovedkraftgeneratorer er bra tilpasset behov for reserve/nødkraft til store forbrukere (f.eks. sementpumpe, brannpumper). Store forbrukere driver opp størrelsen på nødgeneratoren, alternativt kreves egne systemer for lastbegrensning og større utfordringer med spenningskvalitet.	Krav til dedikerte og relativt komplekse hjelpesystemer innenfor hver enkelt redundanssone skaper ekstra utfordringer for driften av disse. Dette på grunn av mye driftstid og slitasje på enkeltkomponenter i hvert enkelt delsystem.
3 stk. likeverdige generatorer som alle kan operere som nødgenerator gir økt robusthet. Alle 3 generatorene har startsystem i henhold til NFPA 20, og redundante hjelpesystemer som gjør generatorene helt uavhengige av hverandre.	Overgangen fra gass- til diesel-drift på gassturbiner er generelt en sårbar operasjon. Robustgjørende tiltak er implementert, i form av umiddelbar overgang til dieseldrift på samtlige turbiner ved feil, samt diverse interne modifikasjoner på brennstoffsystemet.
Inhibitering av vernfunksjoner på drivmaskin og generator samt automatisk endring av prinsipp for systemjording gjør anlegget mindre sårbart for ikke-kritiske feil i nødmodus.	Mindre fleksibilitet med hensyn til plassering av generatoranlegget, med tilhørende luftinntak. En enkeltstående nødgenerator er enklere å plassere med hensyn til avstand fra gasskildene ombord.
Tilgjengelighet på brannvann fra en elektrisk drevet pumpe som allerede er i drift forutsettes å være bedre enn for en dedikert brannvannpumpe drevet av en dieselgenerator som skal startes opp ved behov.	Inhibitering av vernfunksjoner på drivmaskin og generator skjer kun ved overgang til nødmodus. Dette gjør anlegget mere sårbart for en total «black-out» på grunn av ikke-kritiske feil dersom man kjører med kun 1 stk. generator i normal drift.
Dieselgenerator for brannvannpumpe nr. 4 kan kobles til nødtavlen, for lading av UPS'er i	En og samme SAS node styrer samtlige brytere i 11kV og 690V fordelingssystemet. Et eventuelt

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	15 of 53

<p>et evt. dødstart-scenario samt tilbakemating til nødtavlen ved evt. vedlikehold på forsyningen til denne.</p>	<p>tap av denne SAS noden vil resultere i tap av kontroll/styring på vesentlige deler av det elektriske fordelingsnettet, og avhengighet av manuell intervensjon for operasjon av dette.</p>
<p>Innretningen har eget personell om bord med kompetanse på kritiske systemer i et eventuelt nød-/»blackout»-scenario. Dette gjelder både elektriske systemer/vernustrustning, mekaniske hjelpesystemer og overordnet SAS.</p>	<p>HVAC systemet er felles for alle essensielle elektriske utstysrom, inkludert høyspenning-, lavspenning-, nødtavle-rom samt elektrisk kontrollrom.</p>
<p>Tett oppfølging av elektriske vern, i form av regulær testing og utskifting ved behov, sikrer at funksjonaliteten ivaretas i henhold til designpremissene.</p>	<p>Mangel på kjøling i UPS/batterierom ved tap av kraftgenerering kan medføre behov for lufting med åpne dører og manuell overvåking.</p>
	<p>Flere elektriske utstysrom må være spenningsatt ved en ESD situasjon (ESD2.1) sammenlignet med et tradisjonelt nødkraftsystem.</p>

6.4.7.2 Operasjon med lukket kontra åpen samleskinnebryter

Styrker (Enklere, mer robust)	Svakheter (Mer komplekst, større sårbarhet)
<p>Lavere drivstofforbruk og mindre utslipp på grunn av større fleksibilitet, færre driftstimer og mer effektiv turbin/generatordrift.</p>	<p>Ved operasjon med lukket samleskinnebryter stiller regelverket krav til selektiv utkobling, slik at en feil i en redundanssone ikke gir uakseptable konsekvenser for funksjonen i de andre redundanssonene.</p> <p>Man støtter seg til vurderinger/analyser foretatt i designfasen med hensyn til selektiv utkobling av feil i anlegget. Det utføres ikke jevnlig tester for å verifisere dette.</p> <p>Ved en eventuell «blackout» vil det være en relativt omfattende prosedyre å få startet opp igjen en gassturbinpakke inkludert alle berørte systemer.</p>
<p>Mulighet for deling av aktiv og reaktiv last mellom flere generatorer. «Stivere» nett, mindre ømfintlig for frekvens- og spenningsvariasjoner samt for harmonisk spenningsforvrengning.</p>	<p>Problematisk å få testet hele systemet i henhold til intensjonene i regelverket.</p>
<p>Større fleksibilitet med hensyn til planlagt vedlikehold på deler av anlegget.</p>	
<p>Reduserte konsekvenser ved feil på deler av anlegget, forutsatt at det er selektiv utkobling mellom redundanssonene</p>	

6.5 Spesifikke vurderinger – Oppjekkbar boreinnretning

6.5.1 Anleggets utforming

Det elektriske anlegget på innretningen består av 2 redundante hovedkraftsystemer. Hvert av hovedkraftsystemene består av 2 stk. generatorer som forsyner A henholdsvis B siden av innretningens 6,6 kV hovedtavle. Hver av sidene på 6,6 kV hovedtavle forsyner A henholdsvis B siden av VSD'er for boring samt 690 V hovedtavle via transformatorer. Samtlige høyspenningstransformatorer er utstyrt med system for pre-magnetisering ved oppstart.

690 V hovedtavle forsyner direkte til A henholdsvis B siden av 690V tavle for boring, til hoved-UPS'er samt til egne 690 V tavler for HVAC-systemet og for innretningens jekkesystem.

440 V og 230 V systemene er forsynt fra 690 V tavlen via sine respektive transformatorer.

Normalt opereres 6,6 kV hovedtavle med lukket samleskinnebryter, og alltid med minst 1 stk. generator i stand-by. Likestrømskinnen i VSD'er for boring opereres med lukket samleskinnebryter. Alle andre tavler opereres normalt med åpen samleskinnebryter.

6,6 kV nivået er systemjordet over permanent innkoblet motstand i generator nullpunkt, mens lavspenningssystemene og UPS opererer med isolert nullpunkt.

De spesifikke vurderingene i nedenstående kapitler refererer til punkter i redundansmatrisen.

6.5.2 Fysisk redundans/adskillelse

Ref. punkt A.1-A.35:

Foreskrevne skiller mellom de to redundanssonene i hovedkraftsystemet med hensyn til brann og eksplosjon er ivaretatt på en forskriftsmessig måte. Det er brukt tosidig A60 brannskille mellom de to redundanssonene.

Luftinntakene til de respektive maskinrommene (separate inntak for forbrenningsluft og ventilasjonsluft) er plassert i god avstand fra hverandre på styrbord henholdsvis babord side på innretningen, og er utstyrt med gassdeteksjon. Lokalisering av luftinntakene akter, det vil si i relativt begrenset avstand til bore-området, må sees i sammenheng med en naturlig plassering av hovedmaskinrommene i denne enden av innretningen. Ved et tradisjonelt nødkraftsystem med en dedikert nødgenerator ville det vært enklere å plassere luftinntakene i større avstand fra de eksplosjonsfarlige områdene om bord.

Det er anvendt brannsikker kabel på nød- og UPS-systemene, samt på overordnet sikkerhet/nedstengningssystem.

Alt essensielt utstyr i kraftanlegget er plassert utenfor kollisjonssonen, og utstyret er designet for operasjon ved største krenningsvinkel i henhold til regelverket.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	18 of 53

6.5.3 Elektrisk redundans/uavhengighet

Ref. punkt B.1-B.39) Elektrisk beskyttelse etc.:

Innstillingsverdier for overstrøm-, kortslutning- og jordfeil-vern er dokumentert i en egen relestudie. Dette dokumentet er utarbeidet av leverandøren til det elektriske anlegget om bord.

Relestudien beskriver at innstillingsverdiene for 6,6 kV samleskinnebryter og for avgangsbryter til 6,6/0,690 kV transformator må endres ved operasjon av kun 1 stk. hovedgenerator for å oppnå selektivitet i anlegget. Det var ikke mulig å verifisere at så er tilfellet, hverken i test-rapport fra commissioning av anlegget eller ved fysisk inspeksjon og gjennomgang av innstillingsverdiene på de aktuelle vern.

Av test-rapporten fra commissioning av anlegget fremgår det at en rekke vernfunksjoner utover de som er dokumentert i relestudien er aktivert, innstilt og testet. Det er imidlertid uklart hva som er basis for innstilling av disse funksjonene, og hvorvidt det eksisterer overordnede systemanalyser som understøtter de valgte innstillingsverdier.

Det stilles blant annet spørsmål med om valgte innstilling av underspenningsvern og anleggets underspenningsfunksjonalitet er koordinert med innstillingen av kortslutningsvern, eksempelvis vern for 6,6/0,690 kV trafoer. Det kan synes som om en kortslutning vil resultere i at anlegget kobler ut på underspenning, ettersom tidsforsinkelsen for kortslutningsvernet er satt relativt høyt. Dette kan i sin tur ha uheldig konsekvenser for den videre håndteringen av situasjonen. Tripp på kortslutning har behov for lokal reset av lock-out funksjonen i vernet, hvilket ikke er tilfellet for tripp på underspenning.

Ved tap av spenning vil 6,6 kV samleskinnebryter trippe på underspenning, og den «friske» delen av anlegget vil kunne operere videre. Lukking av 6,6 kV samleskinnebryter må initieres manuelt, dette er ikke en automatisk aksjon fra PMS.

De valgte innstillingsverdiene og tilhørende tidsforsinkelse for over-/under-frekvensvernet i 6,6 kV samleskinnebryter synes å være relativt marginale dersom man opererer med store lastvariasjoner. Eventuelle dynamiske analyser eller testdokumentasjon for generator lastpåslag/lastavslag som kan understøtte valgte innstillinger ble ikke identifisert.

Det er installert underspenningstripp på alle tavlebrytere (det vil si innkommere, samleskinnebryter og avganger til nedstrøms tavle/transformatoravganger) i hele anlegget, også på 440 V og 230 V nivå. De aktuelle bryterne må da kobles inn igjen av PMS (eventuelt manuelt) etter et spenningsutfall. Det kan stilles spørsmål med nødvendigheten av dette, spesielt på de laveste spenningsnivåene. For 230 V hovedtavle må dog løsningen sees i sammenheng med ATS-systemet (Automatisk Transfer System) som er installert lokalt i tavlen. Dette systemet sørger for at samleskinnebryteren lukkes automatisk dersom man mister forsyningen på A- eller B- siden, forutsatt at det ikke er noen elektrisk feil på den aktuelle tavledelen.

For 690 V forsyning til UPS-systemet er det brukt MCCB'er uten underspenningstripp, hvilket vurderes som en hensiktsmessig løsning som sikrer umiddelbar forsyning til UPS'ene etter reetablering av spenning på tavlen.

Det skjer ingen inhibitering av vernfunksjoner for generatorene ved overgang til nødmodus. Dette er i tråd med regelverket. Denne filosofien stiller imidlertid desto større krav til koordinering og integritet mellom de ulike vernfunksjonene i anlegget.

Jordfeildeteksjon ved operasjon av kun en generator er ivarettatt ved måling av strøm i generatorens nullpunktsforbindelse.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	19 of 53

Isolasjonsovervåkning på lavspenning- og UPS-systemene er standardisert på samme fabrikat. Det er individuell alarm til PMS på forbrukernivå for 690 V og 440 V systemet, mens det på 230 V systemet er felles alarm for hver underfordelingstavle.

Elektriske vern vil bli testet av leverandør/3.dje part med faste intervaller i henhold til vedlikeholdsprogrammet. Det operative personellet om bord har ikke detaljkunnskap om innstilling og testing av elektriske vern, men skal ha tilstrekkelig kompetanse til å hente ut og verifisere konkrete verninnstillinger. Dette er i tråd med selskapet sin filosofi på området.

Ref. punkt B.40) Aktiv og reaktiv lastfordeling:

Generatorene opereres vanligvis i isokron modus for aktiv lastfordeling. Ved flere generatorene i drift deles den aktive lasten likt mellom disse ved hjelp av direkte kommunikasjon mellom de elektroniske turtallsregulatorene («load sharing lines»). Dette fremgår av PMS skjermbildet, og ble demonstrert ved kjøring av to maskiner i parallell.

Til forskjell fra aktiv last benyttes «droop» prinsippet for deling av reaktiv last. Dersom spenningsregulatorene (AVR'ene) har samme karakteristikk vil den reaktive lasten deles likt mellom generatorene. Det ble imidlertid observert relativt stor forskjell i den reaktive lastfordelingen ved 2 stk. maskiner i drift på lav last. At lastfordelingen mellom generatorene fungerer etter hensikten er en forutsetning for stabil forsyning av hovedkraft, og kan forhindre at man havner unødvendig i nødmodus.

Det er viktig at den direkte kommunikasjonen mellom turtallsregulatorer på tvers av samleskinnebryteren opphører dersom denne bryteren åpnes. Det ble bekreftet at dette var blitt testet i commissioning-fasen.

Advanced Generator Supervisor (AGS) systemet er en integrert del av PMS. Dette systemet overvåker produksjonen av aktiv og reaktiv effekt, og fordelingen av denne mellom generatorene i drift. AGS-systemet gir alarm eller tripp av generator, avhengig av type feil og avvik fra forventet reaksjonsmønster. AGS-systemet åpner samleskinnebryteren på 6,6 kV hovedtavle under gitte forutsetninger.

Ref. punkt B.41) Lastavkasting:

Et tradisjonelt lastavkastingssystem, med utkobling av noen få store forbrukere ved underskudd på tilgjengelig effekt, vil ikke være hensiktsmessig på det aktuelle anlegget ettersom hoveddelen av det elektriske forbruket utgjøres av borelaster forsynt fra VSD'er. Basert på et inngangssignal fra PMS for tilgjengelig effekt er VSD'ene for boring i stand til raskt å redusere pådrag og effektforbruk. Dette signalet overføres via Profibus-kommunikasjon, med den tidsforsinkelsen som dette innebærer. Det er utført utstrakt testing av systemet i commissioning-fasen for å verifisere at man unngår overbelastning av generatorene ved raske endringer i borelast eller bortfall av generator(er).

Lastavkasting ved ESD 2.A/2.B (det vil si nedstenging av generatorene på A henholdsvis B siden av 6,6 kV hovedtavle) ivaretas av ESD-systemet. Dette innebærer åpning av samleskinnebrytere og nedstenging av alle ikke-essensielle laster innenfor den redundansgruppen som opererer videre.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	20 of 53

Ref. punkt B.46-B.47) UPS system:

Det er 2 stk. redundante hoved-UPS'er om bord, plassert i adskilte rom med tilhørende batterirom. Systemene opererer normalt uavhengig av hverandre, men kan sammenkobles manuelt. En UPS enhet er i stand til å håndtere hele lasten dersom den andre av en eller annen grunn skulle feile.

UPS-systemet har kun lokal betjening og HMI. Det er altså ikke mulig å overvåke/styre UPS-systemet fra PMS/SAS, med unntak av fellesalarmer som fordrer lokal utsjekk.

Hver UPS enhet forsyner en rekke underfordelinger. I et ESD scenario kobles disse ut etter gitte tidsintervaller. Kun underfordelingen for nødbelysning (det vil si flomlys og lys i kritiske rom) samt forsyning til ESD systemet opprettholdes i 60 minutter i følge ESD filosofien.

Det synes å herske en viss usikkerhet omkring faktisk tilgjengelighet på batteri-kapasitet til de ulike forbrukerne ved bortfall av kraftgenerering. Den overordnede systemfilosofien beskriver at man har nesten 2 timer til rådighet før hoved-UPS kobler ut på lav batterispenning (ca. 320 V). Denne batterispenningen skal ivareta behovet for 20 % restkapasitet på batteribanken for bruk ved dødstart av anlegget. Men i følge driftspersonell offshore er det ikke mulig og re-starte UPS'en ved denne lave spenningen. Dette spørsmålet bør klareres med leverandøren, og utkoblingsspenning bør eventuelt justeres slik at man har ønsket restkapasitet intakt.

Generatorpakkene har ikke dedikerte UPS-enheter for kontrollspenning i et dødstart-scenario. Dette betyr at kontrollspenningen ved dødstart må hentes fra restkapasitet på hoved-UPS'en.

Det utføres ikke en årlig funksjonstest av UPS-systemet for å sikre at betingelsene som ligger til grunn for evakueringsfilosofien er oppfylt.

Ref. punkt B.53-B.55) PMS/kontrollsystemer:

PMS er en integrert del av overordnet SAS. PMS overvåker/styrer kraftgenerering og distribusjon fra 6,6 kV og ned til 230 V hovedtavler, mens styringen av kraftforbrukere ligger i SAS.

PMS sørger for at det er optimalt antall generatorer i drift til enhver tid med hensyn til energieffektiv drift. PMS starter og stopper generatorene etter gitte kjøreregler.

PMS splitter nettet, det vil si åpner samleskinnebryteren på 6,6 kV tavlen under gitte forutsetninger, eksempelvis tripp signal fra AGS-systemet og under-/over-frekvens på anlegget.

PMS kjører en automatisk «Blackout recovery» sekvens etter tap av en eller begge redundanssonene, og re-etablerer systemet slik det var før feilen inntraff. Lukking av samleskinnebryteren på 6,6 kV tavlen er dog en manuell operasjon.

Boring har sitt eget kontrollsystem. Signalutvekslingen med innretningens SAS system er meget begrenset. Som allerede nevnt går signalet fra PMS for tilgjengelig effekt direkte til VSD'ene for boring, og ikke via boring sitt kontrollsystem.

De 4 PMS-nodene har redundant spenningsforsyning, fra A og B UPS. Systemet er basert på redundante nettverk og redundante kontrollere, mens I/O kortene er enkle.

Hvorvidt feil på et I/O kort kan ta ut et helt maskinrom ble ikke undersøkt. Dette vurderes uansett til å være akseptabelt fra et nødkraftperspektiv, ettersom den andre redundanssonen vil være upåvirket.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	21 of 53

6.5.4 Redundans/uavhengighet i hjelpesystemer

Ref. punkt C.1-C.8) Mekaniske hjelpesystemer:

De mekaniske hjelpesystemene for de to redundanssonene er i all hovedsak lokalisert i hvert sitt hjelpemaskinrom, og fungerer helt uavhengige av hverandre. Det er dog mulig å koble systemene sammen på tvers av redundanssonene ved behov. Dette gjelder for diesel, sjøvann, ferskvann og startluft.

Det er installert diesel dagtanker for 18 timers drift av 1 stk. generator på full last. Dagtankene er plassert i hvert av maskinrommene.

For å ivareta redundans innad i hver av de to redundanssonene med hensyn på vedlikehold under drift er det planlagt ombygginger på sjøvann- og på ferskvannsystemene.

Ombyggingene består i installasjon av nye pumper, kjølere, ventiler og tilhørende rørverk. Det presiseres at dette kun gjøres av hensyn til oppetid på anlegget, det vil si at man kan drive videre uten operasjonelle begrensninger, også under planlagt vedlikehold på de nevnte systemene.

Sjøvann til kjøleformål hentes fra en egen ringledning, som forsynes av 6 stk. neddykkede sjøvannsløftepumper. 2 stk. pumper er lokalisert i bunnen av hvert bein på innretningen. Løftepumpene er forsynt fra A- henholdsvis B-siden av 690 V hovedtavlen. De samme 6 pumpene forsyner også sjøvann til ringledningen for brannvannsystemet.

Hver av de 4 generatorene har en «pre-lube oil» pumpe, som kjører når maskinen står i stand-by. En eventuell mangel på denne pumpen blokkerer ikke for nødstart av generatoren. «Pre-lube oil» pumpene er forsynt fra hoved-UPS A henholdsvis B, avhengig av redundanssone.

Hver redundanssone har en egen elektrisk drevet startluft-kompressor. I tillegg er det installert en egen dieseldrevet død-/kald-start kompressor i hjelpemaskinrom 2, med mulighet for forsyning til hjelpemaskinrom 1. Kompressorene forsyner 2 stk. startluftflasker i hvert maskinrom, hvorav den ene flasken er avsett til manuell start/dødstart formål. Systemet forsyner også et eget spjeld på forbrenningsluftinntaket for kaldstart av generatorene.

Ref. punkt C.9-C.10) HVAC systemer:

HVAC systemene for de to redundanssonene fungerer uavhengige av hverandre, og har separate luftinntak. Dette gjelder også for de elektriske rommene.

Ved en ESD 3 stenges ventilasjonen til maskinrom og hjelpemaskinrom. I følge operatøren kan man operere videre i 18 timer uten at de nevnte rommene oppnår en skadelig innetemperatur.

Hvert av UPS-rommene har, i tillegg til ventilasjonen fra det sentraliserte HVAC systemet, egne dedikerte romkjølere. Disse styres lokalt, basert på temperaturen i rommet. Romkjølerne er forsynt fra hovedkraft, og vil dermed ikke ha noen effekt ved en total blackout-situasjon. Hvorvidt romtemperaturen fortsatt er innenfor akseptable grenser med hensyn på tripp eller funksjonssvikt dersom ett av UPS systemene opererer alene med relativt høy belastning på vekselretteren over en 2 timers periode uten ventilasjon i rommet er ikke blitt vurdert.

Ref. punkt C.12) Brannslukkesystemer:

Det er installert sentralisert vanntåkeanlegg for maskin- og hjelpemaskinrommene, med elektriske høytrykkspumper og flaskebanker som back-up. For brannslukking i de elektriske rommene er det installert et sentralisert Argon-anlegg.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	22 of 53

6.5.5 Funksjonalitet

Ref. punkt D.1) Re-start etter black-out:

Som tidligere beskrevet kjører PMS en automatisk «blackout recovery» sekvens etter tap av en eller begge redundanssonene, og re-etablerer alle hjelpesystemer slik det var før feilen inntraff.

PMS vil starte opp alle dieselgeneratorer som var i drift da feilen inntraff, samt alle som står i stand-by modus. Funksjonsbeskrivelsen for PMS er imidlertid noe uklar når det gjelder mulig innkobling av generator mot feilbefengt tavle etter en blackout.

Funksjonsbeskrivelsen for PMS beskriver «blackout recovery» for det elektriske anlegget. Pre-magnetisering av 6,6 kV transformatorene styres lokalt, og initieres av lukkesignal til den aktuelle avgangsbryteren. Det antas at dette også skjer ved «blackout recovery», men en mislykket pre-magnetisering vil i følge kontrollromsoperatøren ikke stoppe PMS-sekvensen. "Heavy consumer control" hensyntas heller ikke i «blackout recovery» sekvensen, det vil si at oppstart av VSD transformatorer ikke avhenger av minst 2 generatorer i drift. Innkobling av transformatorer uten pre-magnetisering har blitt testet i forbindelse med idriftsettelse av anlegget.

Videre starter PMS (via SAS) opp alle 690 V forbrukere som er essensielle for nøddrift av anlegget. Resterende forbrukere må startes opp manuelt.

Dersom det skulle oppstå problemer i «blackout recovery» sekvensen i PMS har man fortsatt mulighet til å operere de ulike systemene lokalt i felt. Enkelte kritiske alarmer/systemfeil (eksempelvis noen av vernfunksjonene på 6,6 kV tavlen) krever uansett lokal reset i felt.

Ref. punkt D.2) Test av systemet:

Definerte prosedyrer for trening på «blackout recovery» scenariet er under utarbeidelse. Disse prosedyrene baseres på informasjon og kunnskap tilegnet i commissioning-fasen, og vil bli samkjørt mellom de ulike anleggene av samme type. Dette ansees for å være et viktig tiltak for å sikre at relevant personell har den nødvendige kunnskap dersom en slik situasjon skulle oppstå.

Ref. punkt D.3) Dødstart:

Som nevnt så er en dødstart av generatorene avhengig av restkapasitet på hoved-UPS, for spenningsforsyning til generator kontrollpanel og styrespenning til 6,6 kV tavlebrytere. Det er ikke lagt til rette for forsyning av styrespenning til 6,6 kV innkommer-bryter direkte fra generatoren.

Som allerede nevnt er det installert en egen dieseldrevet luftkompressor i hjelpemaskinrom 2, for startluft i en dødstart situasjon.

Ref. punkt D.4) Brannvann:

Innretningen har 3 stk. elektriske brannvannspumper, forsynt fra 690 V hovedtavle. Hver av pumpene har 100 % kapasitet. Pumpene er plassert på tre ulike lokasjoner på innretningen.

Det ble muntlig bekreftet at 1 stk. generator klarer å starte en brannvannspumpe innenfor gjeldende krav til spenning- og frekvensavvik.

Men kun elektriske brannvannspumper forsynt fra hovedgeneratorene vil det ikke være tilgang på brannvann f.eks. i et ESD 1 scenario. Muligheten for å redusere eksplosjonslasten

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	23 of 53

ved bruk av brannvann ved en større gasslekkasje er altså ikke tilstede. Dette er standard løsning på flyttbare innretninger.

Systemet møter kravene i DNV-OS-D301 (Fire Protection, July 2014) kapittel 2 seksjon 3 som spesifiserer automatisk start av brannvannspumpe ved trykkfall i ringledningen og 2 uavhengige startsystemer på drivmaskinen.

Hvorvidt systemet møter intensjonene i IEC 61508 (Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems, edition 2, 2010) og kravene i OLF Guideline no. 070 (Norsk olje og gass guidelines for the application of IEC 61508 and IEC 61511 in the Norwegian petroleum industry, revision no. 02, 29 October 2004) til pålitelighet/SIL nivå for oppstart av brannvannspumper er ikke vurdert i denne sammenheng.

Kravet i DNV-OS-D301 kapittel 2 seksjon 7 punkt 4.1.9 om færrest mulig automatiske utkoblingsfunksjoner på drivmaskin og generator gjelder for «Oil & Gas Production & Storage units», og er altså ikke relevant for denne type innretning.

Ref. punkt D.5) Evakuering:

Avgjørelsen om å starte evakuering av innretningen ved en eventuell total blackout vil bli tatt basert på en forløpende vurdering av situasjonen, og hva som til enhver tid er sikrest for personellet om bord.

Dersom PMS «blackstart recovery» sekvensen feiler for alle 4 generatorene vil man forsøke å starte systemet manuelt, fra PMS og/eller lokalt i felt. Dersom dette heller ikke lykkes og man må starte med feilsøking på systemene så kan dette straks ta en del mer tid. Gitt graden av kompleksitet i anlegget vil man da måtte vurdere nøye hvilke parallelle tiltak som skal igangsettes, eksempelvis tilkalling av beredskapsfartøy, klarering av bruk av helidekk for evakuering uten at det permanente skum-systemet er tilgjengelig (dette systemet er avhengig av brannvann), etc.

Som tidligere nevnt synes det å herske en viss usikkerhet omkring faktisk tilgjengelighet på batteri-kapasitet på hoved-UPS ved bortfall av kraftgenerering. Den overordnede systemfilosofien beskriver at man har nesten 2 timer til rådighet før hoved-UPS kobler ut. Batterikapasiteten på de lokale rømningslysene er uansett spesifisert til 1 time.

I et eventuelt ESD 2 scenario vil det være tett dialog med boring i forhold til å sikre brønnen på en kontrollert måte før generatorene stenges ned.

Ved aktivering av ESD 1 starter et 60 minutters tidsrele i sikkerhetssystemet. De ulike underfordelingene på UPS systemet kobles ut etter gitte tidsintervaller. Kun underfordelingen for nødbelysning (det vil si flomlys og lys i kritiske rom) samt forsyning til ESD systemet opprettholdes i 60 minutter. Det er mulig å forlenge 60 minutters perioden dersom man har startet denne.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	24 of 53

6.5.6 Organisatoriske og operasjonelle forhold

Ref. punkt D.6) Trening og opplæring av driftspersonell:

Det har vært gjennomført et relativt omfattende opplæringsprogram på de ulike delene av det elektriske anlegget, inkludert PMS systemet. Driftspersonellet har deltatt på utstyrsspesifikke kurs hos de aktuelle leverandørene.

I tillegg er såkalt «On the job-training» obligatorisk. Denne treningen ble trukket frem av operasjonelt personell som spesielt viktig for å få en omfattende og grundig innføring i det aktuelle systemet, inkludert filosofien som er lagt til grunn for utformingen av dette.

Som nevnt under punkt D.2 er prosedyrer for trening på «blackout recovery» scenariet under utarbeidelse. En jevnlig trening på dette ansees for å være et viktig tiltak for å sikre at relevant personell har den nødvendige kunnskap dersom en slik situasjon skulle oppstå.

Erfaringene med driften av det elektriske anlegget på innretningen synes å være overveiende positive. Eierskap og kjennskap til systemets virkemåte synes generelt å være bra, dog avhengig av den enkelte persons fartstid og historikk i prosjektet. Det er også positivt at selskapet synes å ha ressurser og kompetanse til å implementere ytterligere forbedringer på anlegget etter hvert som man høster erfaringer med begrensninger i drift og vedlikehold.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	25 of 53

6.5.7 Vurdering av styrker og svakheter

Styrker og svakheter med det elektriske anlegget på den oppjekkbare boreinnretningen kan oppsummeres som følger:

6.5.7.1 Operasjon med åpen samleskinnebryter, sammenlignet med et tradisjonelt anlegg

Styrker (Enklere, mer robust)	Svakheter (Mer komplekst, større sårbarhet)
Redundansen i anlegget gjør at hovedkraftsystemet er mere robust mot en nedstenging enn et tradisjonelt anlegg.	Manglende inhibitering av vernfunksjoner på drivmaskin og generator ved overgang til nødmodus gjør anlegget mere sårbart for utkobling på grunn av ikke-kritiske feil.
Løsningen med redundante hovedkraftgeneratorene er bra tilpasset behov for reserve/nødkraft til boring. Store boreforbrukere (f.eks. sementpumpe) vil ellers enten drive opp størrelse og kompleksitet på egen dedikert nødgenerator, eller innebære kompleksitet i form av lastbegrensning for drift og mulige utfordringer med spenningsforvrengning.	Mindre fleksibilitet med hensyn til plassering av generatoranlegget, med tilhørende luftinntak. En enkeltstående nødgenerator er enklere å plassere med hensyn til avstand fra eventuelle gasskilder.
4 stk. likeverdige generatorer som alle kan operere som nødgenerator gir økt tilgjengelighet. At generatorene er i jevnlig drift og tilstanden dermed er kjent bidrar ytterligere til dette.	Et relativt komplekst PMS/AGS system overvåker og styrer anlegget ved overgang til nødmodus og ved «blackout recovery». PMS/AGS og elektriske vern innehar til sammen en betydelig kompleksitet. Dette er kompetansekrevene, og kan være krevende dersom re-start etter blackout ikke fungerer automatisk.
	Mangel på dedikerte UPS'er for generatorene, og uklarheter vedr. nedre grenseverdi for batterispenning/utkobling av hoved UPS i en «blackout» situasjon. Potensielle utfordringer med hensyn til dødstart av anlegget i etterkant.
	Redundanskonseptet innebærer store fordelingstransformatorer, med tilhørende behov for pre-magnetisering under restart etter blackout, samt høye kortslutningsytelser på lavspenningsanlegget generelt.
	Mangel på ventilasjon/kjøling i UPS og batterirom ved tap av kraftgenerering kan potensielt medføre uheldige temperaturer.

6.5.7.2 Operasjon med lukket kontra åpen samleskinnebryter

Styrker (Enklere, mer robust)	Svakheter (Mer komplekst, større sårbarhet)
Lavere drivstofforbruk og mindre utslipp på grunn av større fleksibilitet, færre driftstimer og mer effektiv generator drift.	Ved operasjon med lukket samleskinnebryter stiller regelverket krav til selektiv utkobling, slik at en feil i en redundanssone ikke gir uakseptable konsekvenser for funksjonen i de andre redundanssonene. Dette forutsetter at den relativt komplekse koordineringen mellom elektrisk vernsystem, kontrollsystemer (PMS/AGS) og generatorenes spenningsregulator fungerer.
Mulighet for deling av aktiv og reaktiv last mellom flere generatorer. «Stivere» nett, mindre ømfintlig for frekvens- og spenningsvariasjoner samt for harmonisk spenningsforvrengning.	Krav til selektiv utkobling av 6,6 kV samleskinnebryter ved kortslutning må ivaretas for alle driftsmoduser. I praksis må innstillinger på enkelte elektriske vern endres avhengig av antall generatorer i drift.
Større fleksibilitet med hensyn til planlagt vedlikehold på deler av anlegget.	Mer krevende å teste nødkraftsystemets funksjon i henhold til IEC 61892-2 kapittel 4.3.10, sammenlignet med et konvensjonelt anlegg
Reduserte konsekvenser ved feil på deler av anlegget, forutsatt at det er selektiv utkobling mellom redundanssonene	Økt AGS kompleksitet ved operasjon med lukket samleskinnebryter.
	Ytterligere PMS kompleksitet ved operasjon med lukket samleskinnebryter.
	Avhengigheten av leverandørassistanse for feilsøking og implementering av korrektive tiltak på enkelte kritiske delsystemer gjør at man er mere sårbar dersom det oppstår problemer.

6.6 Spesifikke vurderinger – Flyttbar innretning m. dynamisk posisjonering

6.6.1 Anleggets utforming

Det elektriske anlegget på innretningen består av 3 redundansgrupper og 6 kraftsystemgrupper. Hver redundansgruppe består av 2 stk. dieselgeneratorer som forsyner hver sin seksjon av 11 kV tavlen innenfor den aktuelle redundansgruppen. En av generatorene i hver redundansgruppe er spesifisert som nødgenerator med hensyn til krenningsvinkel og oppstartsbetingelser.

Avhengig av operasjonsmodus for innretningen kan de to seksjonene i 11 kV tavlen sammenkobles innenfor redundansgruppen, og eventuelt kobles sammen med 11 kV tavlen(e) i de andre redundansgruppene. Alle 11 kV tavlene kan kobles sammen slik at man får et ringnett. Anlegget kan også opereres med alle 11 kV samleskinnebryterne i åpen tilstand (6-splitt), eventuelt oppdelt i redundansgrupper (3-splitt eller 2-splitt).

Hver seksjon i 11 kV tavlen forsyner hver sin 690 V tavle via en 11/0,690 kV transformator, samt 1 stk. thruster-system. Dessuten blir VSD systemene for boring forsynt fra tavle for generator nr. 1 og nr. 6.

Den enkelte 690 V tavle forsyner direkte til dedikerte 690V underfordelinger, samt til 440 V og 230 V systemene via sine respektive transformatorer.

690 V, 440 V og 230 V tavlene opereres normalt med åpen samleskinnebryter, men samleskinnebryteren kan lukkes innenfor den enkelte redundansgruppen under gitte forutsetninger. Likestrømskinnen i VSD'er for boring opereres normalt med åpen samleskinnebryter.

En del av det elektriske utstyret innenfor hver redundansgruppe er samlokalisert. Dette betyr at kraftsystemgruppene ikke er redundante med hensyn på brann og oversvømmelse. For alle andre feil enn brann og oversvømmelse er det redundans også mellom kraftsystemgruppene.

Hoved UPS består av 2 stk. redundante systemer, med minimum 60 minutters batteritid ved normal belastning som er maks. 50 %. De to hoved UPS'ene opereres adskilt, men kan sammenkobles manuelt ved behov. Forbrukere som forsynes fra hoved UPS er overordnet kontroll-, sikkerhet- og kommunikasjons-system, rømningslys, UPS forbrukere i boring osv.

Hver av de 6 kraftsystemgruppene har sitt eget UPS system, med minimum 30 minutters batteritid ved normal belastning som er maks. 50 %. Disse UPS systemene har mulighet for sammenkobling innenfor redundansgruppen. UPS systemene forsyner forbrukere relatert til den respektive kraftsystemgruppen, det vil si generatorkontroll samt overvåking/styring av elektriske tavler, thruster-kontroll og relevante kontrollsystemnoder.

11 kV og 690 V systemene er resistansjordet via generatorens nullpunkt henholdsvis via nullpunkt i sekundærviklingen på 11/0,690 kV transformatorene. 440 V, 230 V og UPS systemene opererer med isolert nullpunkt.

De spesifikke vurderingene i nedenstående kapitler refererer til punkter i redundansmatrisen.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	28 of 53

6.6.2 Fysisk redundans/adskillelse

Ref. punkt A.1-A.35:

Regelverket spesifiserer tosidig A60 brannskille, evt. A60 brannskille + kofferdam, mellom redundanssonene ved utelatelse av dedikert nødkraftsystem. På den aktuelle innretningen er det enkle A60 brannskiller på enkelte punkter mellom nabosonene (f.eks. skyvedører mellom maskinrom og for enkelte kabelføringer). Det er uansett dobbel A60 brannskille mellom de to redundanssonene som ligger lengst fra hverandre, slik at betingelsene til uavhengighet mellom minst 2 redundanssoner er oppfylt.

Luftinntakene på samtlige dieselgeneratorer er plassert på samme side av innretningen. Det er separate inntak for forbrenningsluft og ventilasjonsluft for hver dieselgenerator. Dersom innretningen opererer på dynamisk posisjonering har man mulighet til å plassere luftinntakene mest mulig gunstig i forhold til vær og vindretning.

Det er anvendt brannsikker kabel på overordnede sikkerhet- og nedstengningssystemer. For tilførselskabler til nødkraftforbrukere og på UPS-systemene er det delvis brukt flammehemmende kabel. Ved bruk av flammehemmende kabel er denne anvendt i tråd med ett eller flere av kriteriene i DNV-OS-D201 kapittel 2 seksjon 2 punkt 10.1.2.

Alt essensielt utstyr i kraftanlegget er plassert utenfor kollisjonssonen, og utstyret som skal operere i et nødscenario er designet for operasjon ved største krengningsvinkel i henhold til regelverket.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	29 of 53

6.6.3 Elektrisk redundans/uavhengighet

Ref. punkt B.1-B.39) Elektrisk beskyttelse etc.:

Innstillingsverdier for de ulike typer elektriske vern er dokumentert i relestudien. Dette dokumentet er utarbeidet av leverandøren av det elektriske anlegget.

Det presiseres i relestudien at den elektriske vern-beskyttelsen er utformet og innstilt med hensyn på å ivareta sikker operasjon av anlegget med samtlige 11 kV samleskinnebrytere i lukket posisjon (ringnett). Innretningen er, med mindre den er oppankret, avhengig av tilgang på elektrisk kraft til thrusterne for å holde sin posisjon. Sikker operasjon innebærer derfor at driften av det elektriske anlegget opprettholdes, og at kun feilbefengte deler isoleres ved eventuelle feil.

Beskyttelse og utkobling av feilbefengte anleggsdeler ivaretas totalt sett av Power Management System (PMS), Advanced Generator Supervisor (AGS), generatorenes spenningsregulatorer (AVR) og relevante elektriske vern. Hvilken funksjon som ivaretar primær og back-up beskyttelse varierer med type feil. Eksempelvis vil en jordfeil eller kortslutning i en transformatorvikling kobles ut ved elektriske vern som primærsystem, mens feil som f.eks. tap av felt i en generator, eller feil som resulterer i for stor aktiv eller reaktiv effektutveksling over 11 kV samleskinnebryter eller fra/til den enkelte generator i større grad tas hånd om av PMS/AGS og AVR.

Det elektriske vernsystemet anvender logisk diskriminering ved bruk av IEC61850 GOOSE kommunikasjon for enkelte funksjoner. Slike løsninger er skreddersydd for det enkelte anlegget. Anvendelse av dette prinsippet fordrer at det stilles strenge krav til dokumentasjon og endringskontroll.

Leverandørens eget system brukes for å håndtere fjerntilgang til de ulike dataapplikasjonene i det elektriske anlegget.

Relestudien viser innstillingene for over- og underspenningsvern, inkludert en rekke betingelser knyttet til aktivering av disse. Det er bekreftet at det ikke er andre elektriske vern som ivaretar disse funksjonene, og at intensjonen er at AGS systemet skal sørge for selektiv utkobling av den aktuelle generatoren.

Tilsvarende viser relestudien innstillingene for over- og frekvensvern, inkludert en rekke betingelser knyttet til aktivering av disse. Det er bekreftet at det ikke er andre elektriske vern som ivaretar disse funksjonene, og at intensjonen er at AGS systemet også her skal sørge for selektiv utkobling av den aktuelle generatoren.

Generelt er det nødvendig å se elektriske vern, AGS innstillinger og AVR innstillinger i sammenheng. Koordineringen mellom disse systemene er tilsynelatende ikke nærmere forklart i mottatte dokumenter.

Dynamisk analyse rapport inkluderer prinsipielt simuleringer av:

- Kortslutning med påfølgende utfall av forbruker
- Kortslutning med påfølgende utfall av generator
- Kortslutning koblet ut ved bryterfeilvern og isolering av 11 kV tavleseksjon

Ut over dette synes det relevant at analysen inkluderte scenarier som (eksemplifisering):

- Tap av feltpådrag i generator
- Utilsiktet maks feltpådrag i generator
- Tap av drivmotorpådrag i generator

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	30 of 53

- Utsikt maks. drivmotorpådrag i generator
- Utfall av generator med påfølgende lastavkastning/lastbegrensning
- Utfall av 2 generatorer i ett maskinrom med påfølgende lastavkastning/ lastbegrensning

Såfremt man inkluderer relevante resultater som spenning, frekvens, aktiv effekt, reaktiv effekt og feltstrøm så ville dette i større grad gi mulighet for å evaluere innstillinger og betingelser for spenning- og frekvensvern i elektriske vern, AGS og AVR.

Anleggets evne til å overleve en feil («ride through» kapabilitet) er dokumentert, i form av tester ved å koble inn mot en etablert kortslutning og ved å koble inn mot en etablert jordfeil. Testen viser at anlegget er i stand til å overleve en 3-fase kortslutning og en direkte jordfeil på den ene fasen på primærsiden av en høyspenningstransformator. For begge disse testene var tiden til feilen ble isolert mindre enn 300 ms.

For å forhindre at 690V avganger til essensielt utstyr faller ut ved spenningsdipper som beskrevet over så er kontrollspenningen til kontaktorene i disse hentet fra UPS. PMS systemet sørger for tripp av kontaktoeren ved permanent tap av spenning på tavlen.

For å ivareta re-start ved retur av spenning sendes det et «reset» signal til alle startere når spenningen kommer tilbake på tavlen. PMS vil da automatisk re-starte alt essensielt utstyr dersom deres tidligere status var «running».

Anleggets «ride through» kapabilitet ved eventuelle tilsvarende feil på sekundærsiden av transformatorer, med lavere feilstrømmer og lengre utkoblingstid, er ikke blitt testet. Det er grunn til å tro at tiden for å isolere en slik feil vil være adskillig lengre, noe som potensielt vil true thruster-VSD'ene sin evne til å overleve. I denne sammenheng bør det nevnes at høyspenningstransformatorene ikke er utstyrt med differensialvern, hvilket ville ha fanget opp en feil på sekundærsiden på et tidligere tidspunkt.

Funksjonsbeskrivelsen for det elektriske anlegget beskriver manglende automatisk utkobling og behov for operatøraksjon ved jordfeil på generator eller høyspenningstavle som er isolert fra de andre tavlene dersom kun 1 stk. generator er i drift og tilkoblet aktuell tavle. I et slikt tilfelle skal PMS starte den andre generatoren automatisk, og det elektriske vernsystemet vil da sørge for selektiv utkobling av feilbefengt del av anlegget. Alternativt kan operatøren starte generator nr. 2 manuelt, samt verifisere at feilen kobles bort automatisk. NER i generator nullpunkt er dimensjonert for kontinuerlig drift ved full jordfeilstrøm.

Ovenstående løsning betinger at generator nr. 2 kan synkroniseres inn mot anlegg med iboende jordfeil, samt at man aksepterer aktuell varighet og størrelse av jordfeilstrøm ved manuell håndtering av feilen. Utforming av anleggets isolasjon må også være slik at den ikke betinger automatisk utkobling ved jordfeil.

Funksjonsbeskrivelsen for det elektriske anlegget beskriver «main-tie-main» funksjonaliteten for 690 V og 230 V tavlene innenfor hver redundanssone. Disse tavlene opereres normalt med åpen samleskinnebryter, men samleskinnebryteren kan lukkes fra PMS før innkommende forsyning på en av sidene legges ut. Det er et sett med betingelser knyttet til denne «make-before-break» operasjonen ettersom den aktuelle tavlen i omkoblingsøyeblikket opererer utenfor sin definerte kortslutningsytelse.

Det er ikke installert noen for form overvåkning av over-harmoniske i anlegget, eksempelvis i form av et spenningskvalitetsrele, på tross av anbefalinger i funksjonsbeskrivelsen for det elektriske anlegget vedr. dette.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	31 of 53

Isolasjonsovervåkning på lavspenning- og UPS-systemene er standardisert på fabrikat Bender. En utvidelse av systemet pågår.

Ref. punkt B.40) Aktiv og reaktiv lastfordeling:

Advanced Generator Supervision (AGS) systemet er en integrert del av PMS. AGS overvåker produksjonen av aktiv og reaktiv effekt, og fordelingen av denne mellom generatorene i drift. AGS-systemet starter stand-by generatorer ved behov, og initierer alarm eller tripp av generator avhengig av type feil og avvik fra forventet reaksjonsmønster. AGS-systemet åpner 11 kV samleskinnebrytere under gitte forutsetninger.

Generatorene opereres vanligvis i isokron modus for aktiv lastfordeling. Ved flere generatorer i drift deles den aktive lasten likt mellom disse ved hjelp av direkte kommunikasjon mellom de elektroniske turtallsregulatorene («load sharing lines»), og frekvensen holdes på konstant nivå.

Alternativt til isokron lastfordeling kan alle generatorene opereres i «droop mode», hvilket betyr at generatorene tar sin del av den aktive lasten i henhold til statikken for turtallsregulatoren. I praksis betyr dette at pådraget må etterjusteres for å holde frekvensen på konstant nivå ved samme last. Etterjustering av pådrag kan besørges av PMS, avhengig av ønsket form for «droop mode». Systemet skifter automatisk til «droop mode» dersom den isokrone lastfordelingen feiler.

Fordeling av reaktiv last mellom generatorer i paralleldrift er basert på «droop mode» prinsippet. I «droop mode» vil spenningen endres i henhold til statikken for den aktuelle spenningsregulatoren, med mindre feltstrømmen etterjusteres av PMS eller manuelt.

Det er meget viktig at den direkte kommunikasjonen mellom turtallsregulatorene håndterer endringer i nettkonfigurasjonen på korrekt måte.

Ref. punkt B.41) Lastavkasting:

Lastavkastingssystemet er en integrert del av PMS. Systemet sørger for umiddelbar utkobling av varmekabel og HVAC pre-heaters når generator(er) eller 11/0,690 kV transformatorer nærmer seg sin normerte ytelse.

Dersom dette ikke er tilstrekkelig vil bore- og thruster-systemene redusere sitt effektbehov i tråd med signal fra PMS for tilgjengelig effekt. Signal for tilgjengelig effekt går fra PMS direkte til VSD'ene for de nevnte systemene, i form av et Profibus-signal med høy «refresh» rate. Thruster-systemet har prioritet over boring i denne sammenheng. Signal for tilgjengelig effekt fra PMS direkte til thruster VSD har prioritet over DP kontroll systemet.

Det er utført testing av systemet i commissioning-fasen for å verifisere at man unngår overbelastning av generatorer ved raske endringer i bore- og/eller thruster-last, eller bortfall av generator(er).

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	32 of 53

Ref. punkt B.42) Synkronisering:

En kombinert synkroniserings- og lastkontrollmodul er lokalisert i hvert av generator innkommer-feltene i 11 kV tavlen, for automatisk synkronisering. Disse modulene kommuniserer direkte med hverandre, og med generatorens spenningsregulator.

I tillegg til nevnte modul har hvert bryterfelt en manuell synkroniseringsenhet, samt «synch-check» funksjonalitet integrert i det elektriske brytervernet. Minimum 2 av disse funksjonene er seriekoblet for å forhindre såkalt «kræsjsynkronisering».

Ved automatisk synkronisering fra PMS eller lokalt på 11 kV tavlefront vil synkroniserings- og lastkontrollmodulen sørge for justering av generator turtall, samt signal-interface til AVR for justering av spenning. Når avvik i turtall og spenning er innenfor gitte grenseverdier gis det klarsignal til lukking av aktuelle tavlebryter.

Ved manuell synkronisering lokalt på 11 kV tavlefront forbikobles den automatiske synkroniserings- og lastkontrollmodulen, og generatorens turtall justeres ved hjelp av en egen øke-/minke-bryter. Justering av spenningen ivaretas av AVR, også ved manuell synkronisering.

11 kV samleskinnebrytere har tilsvarende mulighet for automatisk og manuell synkronisering. Synkronisering mellom redundanssonene kan imidlertid kun foretas på «master» samleskinnebryter.

Ref. punkt B.46-B.47) UPS system:

Det er 2 stk. redundante hoved-UPS'er om bord, plassert i adskilte rom med tilhørende batterirom. Systemene opererer normalt uavhengig av hverandre, men kan sammenkobles manuelt. En UPS enhet er i stand til å håndtere hele lasten dersom den andre av en eller annen grunn skulle feile. Minimum batteritid ved full belastning er 30 minutter. Forbrukere forsynt fra hoved UPS er overordnet kontroll-, sikkerhet- og kommunikasjons-system, rømningslys, forbrukere for boring osv.

Hver av de 6 kraftsystemgruppene har i tillegg sitt eget dedikerte UPS system. Disse UPS systemene har mulighet for sammenkobling innenfor redundansgruppen. Minimum batteritid ved full belastning er 15 minutter. UPS systemene forsyner forbrukere relatert til den respektive kraftsystemgruppen, det vil si generatorkontroll samt overvåking/styring av elektriske tavler, thruster-kontroll og relevante kontrollsystemnoder.

UPS-systemene har kun lokal betjening. Viktige alarmer og bryterstatuser på UPS-systemene kan overvåkes fra PMS.

Sjøfartsdirektoratet sitt krav til selvforsynte og fullstendig uavhengige nødkraftkilder omfatter startsystemet for nødgeneratorene, inkludert for et dødstart scenario. Ettersom de dedikerte UPS systemene innenfor den enkelte kraftsystemgruppen også forsyner andre forbrukere enn generatoren sitt kontrollsystem er det en risiko for at disse UPS'ene kan dreneres i en «black-out» situasjon. Det er gitt et avvik fra nevnte regelverk, forutsatt at det utarbeides rutiner for manuell utkobling av nevnte UPS i en «black-out» situasjon samt at restkapasitet på batteribanken gjøres tilgjengelig på operatørstasjon.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	33 of 53

Ref. punkt B.53-B.55) PMS/AGS:

PMS er en integrert del av innretningens SAS.

Det er allokert 2 stk. dedikerte feltstasjoner/noder for hver kraftsystemgruppe. Den ene noden overvåker/styrer generator og høyspenningsutstyr (tavle og transformatorer) mens den andre noden overvåker/styrer lavspenningsdelen av anlegget. Nodene kommuniserer med hverandre, samt med DP systemet, over redundante nettverk.

Som allerede beskrevet ivaretas beskyttelse og utkobling av feilbefengte anleggsdeler totalt sett av Power Management System (PMS), Advanced Generator Supervisor (AGS), generatorenes spenningsregulatorer (AVR) og relevante elektriske vern. Den overordnede filosofien fokuserer på deteksjon og selektiv utkobling av feilbefengt komponent/utstyr. Sekundært vil systemet åpne 11 kV samleskinnebrytere og isolere tavleskinnen med feil. Dette vil medføre tap av 1 stk. thruster-system.

PMS/AGS sørger for at det er optimalt antall generatorer i drift til enhver tid med hensyn til energieffektiv drift. PMS/AGS starter og stopper generatorene etter gitte kjøreregler, og sørger for lastavkastning og signal for tilgjengelig effekt til bore- og thruster-systemer ved knapphet på kraft.

PMS overvåker/styrer det elektriske distribusjonsnettet ned til avganger fra 690 V hovedtavler. Styring av kraftforbrukere ligger generelt i SAS, men PMS sørger for re-start av alle essensielle forbrukere i en «black-out recovery» situasjon.

PMS kjører en automatisk «blackout recovery» sekvens etter tap av en eller flere redundanssoner, og re-etablerer systemet slik det var før feilen inntraff. Lukking av samleskinnebrytere på 11 kV tavlen er en manuell operasjon.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	34 of 53

6.6.4 Redundans/uavhengighet i hjelpesystemer

Ref. punkt C.1-C.8) Mekaniske hjelpesystemer:

De mekaniske hjelpesystemene for hver redundanssone er lokalisert i sitt respektive maskinrom. Hjelpesystemene for hver av de to kraftsystemgruppene innenfor redundanssonen fungerer generelt uavhengig av hverandre, men med mulighet for å overbroe mellom systemene ved behov.

I tillegg til elektrisk drevne pumper har hver maskin en luftdrevet dieselpumpe, forsynt fra startluftsystemet. PMS starter den luftdrevne pumpen og kjører denne i 5 minutter ved tap av elektrisk kraft.

Det er installert dagtanker for 18 timers drift av 1 stk. generator på full last. Dagtankene er plassert i hvert av maskinrommene.

Sjøvann til kjøleformål hentes fra individuelle sjøvannspumper for hver maskin. Sjøvannet kjøler ferskvannet i en maskinspesifikk varmeveksler. Hver maskin har et høytrykkssystem og et lavtrykkssystem for ferskvannskjøling, med mekanisk drevne pumper.

Hvert maskinrom har en luftdrevet «pre-lube oil» Pumpe, forsynt fra startluftsystemet. Pumpen er felles for de to dieselgeneratorene i redundanssonen. Pumpen kjøres manuelt ved oppstart, dersom maskinen har vært ute av drift i mer enn 30 minutter. I tillegg har hver dieselgenerator sin mekanisk drevne smøreljerpumpe.

Hver redundanssone/maskinrom har 2 stk. store startluftflasker, samt en mindre startluftflaske avsett til bruk ved manuell start/dødstart/operasjon av «pre-lube oil» Pumpe. Systemet forsynes fra innretningens startluftkompressorer. Der er altså ingen egen luftkompressor for dødstartformål.

Hver maskin har eget inntak for forbrenningsluft, lokalisert utenfor maskinrommet.

Ref. punkt C.9-C.10) HVAC systemer:

HVAC systemene for redundanssonene fungerer generelt uavhengige av hverandre, med separate viftesystemer og luftinntak.

Et eventuelt tap av ventilasjon til et maskinrom forårsaker ikke nedstenging. Det er utført tester med 1 stk. maskin på 70 % belastning i 60 minutter, uten at det oppstår en skadelig innetemperatur.

I henhold til funksjonsbeskrivelsen for ESD systemet vil HVAC systemene for elektriske rom i innredningen stenges ned på generell basis ved ESD 1. Det er ikke kjent om det er utført tilsvarende tester av temperaturutviklingen i disse rommene ved fortsatt operasjon. DNV-GL etterlyser slike tester for alle rom som er relatert til operasjon av det dynamiske posisjoneringssystemet i sin evaluering av FMEA rapporten for DP systemet.

Det er ikke installert noen form for kjøling av UPS-rom og batteri-rom, dersom man mister kraftgenerering og går over på UPS drift.

Ref. punkt C.12) Brannslukkesystemer:

Det er installert sentralisert vanntåkeanlegg for maskinrommene, med elektriske høytrykkspumper og flaskebanker som back-up. For brannslukking i de elektriske rommene er det installert et sentralisert Argon-anlegg.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	35 of 53

6.6.5 Funksjonalitet

Ref. punkt D.1) Re-start etter black-out:

Som tidligere beskrevet kjører PMS en automatisk re-start sekvens etter tap av en eller flere redundanssoner, og re-etablerer alle hjelpesystemer slik det var før feilen inntraff. PMS vil starte opp alle dieselgeneratorer som var i drift da feilen inntraff, samt de som er tilgjengelige i stand-by modus.

Ved deteksjon av en full «blackout» åpnes alle 11 kV samleskinnebrytere og generatorbrytere. Transformatoravgangene beholdes imidlertid lukket i 30 sekunder. Den enkelte generator startes opp, og generatorbryteren lukker ved 85 % turtall. Transformatorene magnetiseres opp ved bruk av generatorens AVR. Når full spenning er re-etablert vil PMS re-starte alle essensielle forbrukere i anlegget. Ovenstående forløp har en tidsramme på 30 sekunder.

Resterende forbrukere startes opp av SAS, eventuelt manuelt.

Dersom det skulle oppstå problemer i «blackout recovery» sekvensen i PMS har man fortsatt mulighet til å operere de ulike systemene manuelt fra skjerm eller lokalt i felt. Enkelte kritiske feil (eksempelvis noen elektriske vernfunksjoner) krever uansett lokal reset i felt.

Ref. punkt D.2) Test av systemet:

Prosedyre for automatisk «blackout recovery» fra PMS er utarbeidet. Det kjøres fullskala test i henhold til denne prosedyren på årlig basis. I tillegg testes delvis blackout på lavspennings- og på høyspenningssystemet hvert annet år som del av DP FMEA test programmet.

Utover dette trenes det med jevne mellomrom på en rekke tekniske scenarier i henhold til faste prosedyrer. Dette kan typisk være:

- Oversvømmelse (flooding) i thruster rom, pumperom m.m.
- Eksplosjon i trafo, tavle, UPS rom,
- Maskinromsbrann, tap av ett eller flere maskinrom
- Tap av en eller flere thrustere
- Blackout recovery

Ref. punkt D.3) Dødstart:

En egen prosedyre er utarbeidet for «dead ship recovery».

Utgangspunktet for denne prosedyren er at PMS ikke har lykket med den automatiske «blackout recovery» sekvensen, og at nødgeneratorene må startes opp manuelt. Prosedyren forutsetter at det er spenning igjen på batteribankene både på hoved-UPS og på de dedikerte UPS systemene innenfor hver av kraftsystemgruppene, samt at startluft er tilgjengelig i systemet.

Det kjøres fullskala test i henhold til denne prosedyren på årlig basis.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	36 of 53

Ref. punkt D.4) Brannvann:

Innretningen har 4 stk. elektriske brannvannspumper, forsynt fra ulike 690 V hovedtavler. Hver av pumpene har 100 % kapasitet. Pumpene er plassert på to ulike lokasjoner på innretningen.

Det er utført tester som bekrefter at 1 stk. generator klarer å starte en brannvannspumpe innenfor gjeldende krav til spenning- og frekvensavvik.

Med kun elektriske brannvannspumper vil det ikke være tilgang på brannvann f.eks. i et ESD 2 scenario. Muligheten for å redusere eksplosjonslasten ved bruk av brannvann ved en større gasslekkasje er altså ikke tilstede. Dette er standard løsning på flyttbare innretninger.

Systemet møter kravene i DNV-OS-D301 kapittel 2 seksjon 3 som spesifiserer automatisk start av brannvannspumpe ved trykkfall i ringledningen og 2 uavhengige startsystemer på drivmaskinen.

Hvorvidt systemet møter intensjonene i IEC 61508 og kravene i OLF Guideline no. 070 til pålitelighet/SIL nivå for oppstart av brannvannspumper er ikke vurdert i denne sammenheng.

Ref. punkt D.5) Evakuering:

Avgjørelsen om å starte evakuering av innretningen ved en eventuell total blackout vil bli tatt basert på en forløpende vurdering av situasjonen, og hva som til enhver tid er sikrest for personellet om bord.

Dersom PMS «blackstart recovery» sekvensen feiler for alle generatorene vil man forsøke å starte systemet manuelt i henhold til «dead ship recovery» prosedyren. Dersom dette heller ikke lykkes og man må starte med feilsøking på systemene så kan dette straks ta en del mer tid. Gitt graden av kompleksitet i anlegget vil man da måtte vurdere nøye hvilke parallelle tiltak som skal igangsettes, eksempelvis tilkalling av beredskapsfartøy, klarering av bruk av helidekk for evakuering uten at det permanente skum-systemet er tilgjengelig (dette systemet er avhengig av brannvann), etc.

Tilgjengelighet på batteri-kapasitet på hoved-UPS ved bortfall av kraftgenerering er minimum 60 minutter, mens batteri-kapasiteten på de dedikerte UPS systemene innenfor hver av kraftsystemgruppene er 30 minutter. Batterikapasiteten på de lokale rømningslysene er spesifisert til 60 minutter.

I et eventuelt ESD 2 scenario vil det være tett dialog med boring i forhold til å sikre brønnen på en kontrollert måte før generatorene stenges ned.

Ved aktivering av ESD 3 starter et 60 minutters tidsrele i sikkerhetssystemet. Det er mulig å avbryte 60 minutters perioden dersom man har startet denne.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	37 of 53

6.6.6 Organisatoriske og operasjonelle forhold

Ref. punkt D.6) Trening og opplæring av driftspersonell:

Det gjennomføres opplæring på de ulike delene av det elektriske anlegget, inkludert PMS/AGS og systemer for boring. Driftspersonellet har deltatt på utstyrsspesifikke kurs hos aktuelle leverandører i henhold til en definert opplæringsmatrise for den enkelte stillingen. Det er også gitt opplæring om bord i forbindelse med leveranse og commissioning av anlegget.

Kontinuitet av prosjektpersonell fra bygge-/commissioning-fasen inn i driftsorganisasjonen vurderes som viktig. Det ble benyttet eget personell under oppfølging av byggeprosessen. Dette personellet er fordelt på de ulike innretningene av samme type for å sikre videreføring av tilegnet kompetanse.

De ulike operasjonsprosedyrene vil være gjenstand for kontinuerlig utvikling og forbedring gjennom driftsfasen.

Som nevnt under punkt D.2 trenes det ukentlig på en rekke tekniske scenarier i henhold til faste prosedyrer.

Elektriske vern på lavspenningssystemet vedlikeholdes av operativt personell om bord.

Elektriske vern på høyspenningssystemet vil bli testet av 3.dje part med faste intervaller i henhold til klassekrav. Det operative personellet om bord har ikke kunnskap om innstilling og testing av elektriske vern på høyspenningssystemet.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	38 of 53

6.6.7 Vurdering av styrker og svakheter

Styrker og svakheter med det elektriske anlegget på den flyttbare innretningen med dynamisk posisjonering kan oppsummeres som følger:

6.6.7.1 Operasjon med åpen samleskinnebryter, sammenlignet med et tradisjonelt anlegg

Styrker (Enklere, mer robust)	Svakheter (Mer komplekst, større sårbarhet)		
Redundansen i anlegget gjør at hovedkraftsystemet er mer robust mot en nedstenging enn et tradisjonelt anlegg.	Kompleksitet og grad av samhandling/koordinering mellom PMS/AGS, generatorens spenningsregulator (AVR), drivmaskinens kontrollsystem og elektriske vern i anlegget er omfattende.		
Løsningen med redundante hovedkraftgeneratorene er bra tilpasset behov for reserve/nødkraft til boring. Store boreforbrukere (f.eks. sementpumpe) vil ellers enten drive opp størrelse og kompleksitet på egen dedikert nødgenerator, eller innebære kompleksitet i form av lastbegrensning for drift og mulige utfordringer med spenningskvalitet.	Den dynamiske analysen mangler en rekke simuleringer som i større grad ville gitt mulighet for å evaluere innstillinger av elektriske vern, AGS og AVR parametere.		
Totalt 6 stk. generatorer, hvorav 3 stk. er spesifisert som nødgenerator, gir økt tilgjengelighet. At generatorene er i jevnlig drift og tilstanden dermed er kjent bidrar ytterligere til dette.	Høyspenningstransformatorene er ikke utstyrt med differensialvern, hvilket ville ha fanget opp en feil på sekundærsiden på et tidligere tidspunkt. Anleggets «ride through» kapabilitet ved en eventuell feil på sekundærsiden av en transformator er ikke blitt testet. Tiden for å isolere en slik feil kan true thruster-VSD'ene sin evne til å overleve.		
En reduksjon i antall forbrenningsmotorer om bord er i seg selv en forenkling. Dette gir besparelser med hensyn til drift og vedlikehold, forbedret arbeidsmiljø, mindre utslipp til luft og redusert brannrisiko.			
	Manglende inhibitering av vernfunksjoner på drivmaskin og generator ved overgang til nødmodus gjør anlegget mere sårbart for utkobling på grunn av ikke-kritiske feil.		
	Redundanskonseptet innebærer store fordelingstransformatorer, med tilhørende ønske om pre-magnetisering under restart etter blackout, samt høye kortslutningsytelser på		
Project No. 2016015	Document No. UPS-2016015-R01	Rev. 02	Page 39 of 53

	lavspenningsanlegget generelt.
	Mindre fleksibilitet med hensyn til plassering av generatoranlegget, med tilhørende luftinntak. En enkeltstående nødgenerator er enklere å plassere med hensyn til avstand fra eventuelle gasskilder.
	Det mangler dobbelt A60-brannskille på enkelte punkter mellom de redundanssonene som ligger inntil hverandre.
	Det er ikke dedikerte UPS'er for generatorene. Back-up kapasiteten kan være begrenset dersom automatisk restart etter en «black-out» ikke fungerer. Forholdet krever kompenserende tiltak i form av prosedyre for manuell utkobling, trening og overvåkning.

6.6.7.2 Operasjon med lukket kontra åpen samleskinnebryter

Styrker (Enklere, mer robust)	Svakheter (Mer komplekst, større sårbarhet)
<p>Lavere drivstofforbruk og mindre utslipp på grunn av større fleksibilitet, færre driftstimer og mer effektiv generator drift.</p>	<p>Ved operasjon med lukket samleskinnebryter stiller regelverket krav til selektiv utkobling, slik at en feil i en redundanssone ikke gir uakseptable konsekvenser for funksjonen i de andre redundanssonene.</p> <p>Kompleksitet og grad av samhandling mellom PMS/AGS, generatorens spenningsregulator, drivmaskinens kontrollsystem og elektriske vern i anlegget for å oppnå dette eskalerer ved operasjon med lukkede samleskinnebrytere på 11 kV.</p> <p>Situasjonen blir krevende dersom utkobling av feilbefengt komponent/isolasjon av tavleskinne/ «blackout recovery» fra PMS ikke lykkes.</p>
<p>Mulighet for deling av aktiv og reaktiv last mellom flere generatorer. «Stivere» nett, mindre ømfintlig for frekvens- og spenningsvariasjoner samt for harmonisk spenningsforvrengning.</p>	<p>Test av hele systemet i henhold til intensjonene i regelverket er en relativt omfattende operasjon.</p>
<p>Større fleksibilitet med hensyn til planlagt vedlikehold på deler av anlegget.</p>	<p>Avhengighet av ekstern leverandørassistanse for feilsøking og implementering av korrektive tiltak på enkelte kritiske delsystemer gjør at man er mere sårbar dersom det oppstår problemer.</p>
<p>Reduserte konsekvenser ved feil på deler av anlegget, forutsatt at det er selektiv utkobling mellom redundanssonene.</p>	

7. Felles vurderinger og anbefalinger

7.1 Generelle vurderinger

For alle de studerte anleggstypene kan utelatelsen av dedikert nødgenerator sies å være en synergieffekt av den innebygde redundansen mellom to eller flere hovedkraftsystemer. Begrunnelsen for redundansen mellom hovedkraftsystemene vil variere, avhengig av type innretning. Hovedmotivasjonen er dog et generelt ønske om eller behov for økt robusthet i tilgang på elektrisk kraft.

For en flyttbar innretning med dynamisk posisjonering er sikker tilgang på elektrisk kraft spesielt kritisk. For innretninger som skal klasseres i henhold til DYNPOS-ER notasjonen refereres til Offshore Technical Guideline nr. DNVGL-OTG-10 (April 2015) for bedre forståelse av redundansprinsippet som ligger bak denne.

For en boreinnretning kan det vurderes å være essensielt med et robust system for kraftforsyning ved krevende/kritiske brønnoperasjoner.

Robustheten i et elektrisk anlegg hvor minst to redundanssoner opereres uavhengig av hverandre vurderes til å være god. Forutsatt full uavhengighet mellom redundanssonene vil en samtidig «blackout» på begge/alle hovedkraftsystemene være svært lite sannsynlig.

Hovedforutsetningen for denne robustheten er imidlertid basert på uavhengigheten mellom redundanssonene. Denne uavhengigheten utfordres når de ulike redundanssonene kobles sammen elektrisk, slik tilfellet er på alle de studerte innretningene.

7.1.1 Felles styrker og svakheter

En del styrker og svakheter fremkommer likt for de studerte innretningene.

Felles styrker:

- + Større robusthet mot nedstenging av hovedkraftsystemet
- + Konseptet er godt tilpasset behovet for forsyning til store nødkraftforbrukere

Felles svakheter:

- Stor kompleksitet i vern og kontrollanlegg, med ditto krav til operativ kompetanse
- Mindre fleksibilitet med hensyn til plassering av generatoranlegg og luftinntak
- Behov for større fordelingstransformatorer, hvilket betyr økt kortslutningsnivå i anlegget og mulig behov for pre-magnetiseringsutrustning ved oppstart.

7.1.2 Styrker og svakheter ved operasjon med lukket samleskinnebryter

Sammenkoblingen av redundanssonene er i hovedsak motivert av ønsket om en mer rasjonell drift av anlegget totalt sett.

Felles styrker ved denne driftsformen:

- + Lavere drivstofforbruk og mindre utslipp på grunn av større fleksibilitet, færre driftstimer og mer effektiv generator drift.
- + Mulighet for deling av aktiv og reaktiv last mellom flere generatorer. «Stivere» nett, mindre ømfintlig for frekvens- og spenningsvariasjoner samt for harmonisk spenningsforvrengning.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	42 of 53

- + Større fleksibilitet med hensyn til planlagt vedlikehold på deler av anlegget.
- + Reduserte konsekvenser ved feil på deler av anlegget, forutsatt at det er selektiv utkobling mellom redundanssonene.

Felles svakheter:

- Større konsekvenser ved **fellesfeil** på anlegget
- Risiko for manglende selektivitet. Komplekse vernløsninger, og krav til samhandling mellom vern og kontrollsystem
- Krevende å teste hele nødkraftsystemets funksjon i henhold til intensjonen i regelverket
- Mangel på egen kompetanse på vern og styresystem, avhengighet av ekstern assistanse (spesielt for nyere innretninger)

7.2 **Betenkninger omkring operasjon med lukket samleskinnebryter**

Kravet til grad av uavhengighet ved en sammenkobling av de ulike redundanssonene må nødvendigvis modereres. Grunnprinsippet må likevel være at en hendelse/feil i en redundanssone ikke skal ha uakseptable konsekvenser for tilstøtende redundanssone(r).

Med «uakseptable konsekvenser» forstås at tilstøtende redundanssone(r) også stenges ned. Avhengig av anleggstype kan det likevel være akseptabelt at tilstøtende redundanssone stenges ned, forutsatt at denne starter opp igjen automatisk og forsyner nødkraftforbrukerne innenfor en tidsramme på 45 sekunder (tilsvarende krav som for en dedikert nødgenerator). På anlegg av nyere dato vil PMS automatisk starte en «blackout recovery» sekvens dersom selektiv utkobling av feilbefengt komponent ikke lykkes.

Utfordringen relatert til ivaretagelse av redundans og selektiv utkobling blir større dess mer komplisert anlegget er. Kompleksitet og grad av samhandling mellom ulike kontrollsystemer og elektriske vern i anlegget synes å eskalere i takt med teknologiutviklingen. Dersom «blackout recovery» sekvensen i PMS også mislykkes blir situasjonen ytterligere krevende, og manuelle prosedyrer må iverksettes for å få anlegget i drift igjen.

Økende grad av kompleksitet og krav til samhandling ledsages av en økende avhengighet av assistanse fra spesialkompetanse hos en eller flere ulike systemleverandører dersom det skulle oppstå problemer. Det synes å være en gjennomgående filosofi blant aktørene at slik spesialkompetanse skal hentes eksternt. Dette stiller imidlertid strenge krav til at slik kompetanse er tilgjengelig på kort varsel når behovet oppstår, og at systemer for interaksjon mellom land og offshore fungerer.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	43 of 53

7.3 Ulikt valg av tekniske løsninger

Det er valgt ulike tekniske løsninger mellom de studerte innretningene på flere viktige områder:

- Filosofi for håndtering av elektrisk feil i forbindelse med operasjon med lukket samleskinnebryter. Løsninger variere mellom umiddelbar åpning av samleskinnebryter for å fjerne en redundanssone med feil før denne trekker ned øvrige soner - eller å fjerne kun feilbefengt del av anlegget – herunder generator med feil.
- Ulik tilnærming til inhibitering av vernfunksjoner for generator i nødmodus (valgt på den faste produksjonsinnretningen, men ikke de andre)
- Ulik tilnærming til installasjon av dedikert UPS for generatorpakke
- Ulikt design med hensyn til underspenning (forbigående, og ved tap av spenning), herunder holdespenning til kontaktor-startere på lavspenning
- Ulik tilnærming til hvilken beskyttelse som håndteres av elektriske vern og av kontrollsystem som AGS/PMS
- Ulik tilnærming til håndtering av første jordfeil/prinsipp for systemjording. Gjelder både høyspenning- og lavspenningsystemet.

Noen av disse ulikhetene kan begrunnes i innretningens overordnede funksjon, samt føringer i regelverket for den aktuelle type innretning. Noen av ulikhetene, hvor det ikke er noen logisk grunn til at løsningen skal være forskjellig, kan likevel tilskrives mangel på føringer i regelverk og normer.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	44 of 53

7.4 Håndtering av «nødmodus»

Det er i hovedsak 2 årsaker til at det elektriske anlegget havner i såkalt «nødmodus»:

1. «Blackout» på hovedkraftanlegget
2. Plattform «shutdown», med delvis eller full nedstenging fra innretningens ESD system

7.4.1 «Blackout» på hovedkraftanlegget

En «blackout» på det elektriske anlegget skjer ofte uten forvarsel, og eventuelt på minst beleilige tidspunkt.

Som tidligere nevnt er sannsynligheten for en full «blackout» liten dersom minst to redundanssoner opererer uavhengig av hverandre. Dersom de ulike redundanssonene kobles sammen elektrisk vurderes sannsynligheten for en full «blackout» til å øke, avhengig av anleggets evne til selektiv utkobling av feilbefengt komponent.

Ved en eventuell full «blackout» vurderes sannsynligheten for at PMS vil lykkes med en automatisk «blackout recovery» sekvens for minst en av redundanssonene til å være større enn at et tradisjonelt nødgeneratorsystem starter opp fra kald/«stand-by» tilstand. Denne antagelsen er basert på en erkjennelse av at det er mer sannsynlig at et anlegg som er i daglig/regulær drift starter opp igjen.

Dersom «blackout recovery» sekvensen i PMS skulle mislykkes endres bildet. Manuelle prosedyrer må iverksettes for å få anlegget i drift. I et slikt scenario vil et tradisjonelt nødgeneratorsystem være enklere å forholde seg til, med færre avhengigheter og mindre omfangsrrike systemer.

7.4.2 Plattform «shutdown»

En plattform «shutdown» er i utgangspunktet en kontrollert operasjon, hvor det elektriske anlegget stenges ned, helt eller delvis, av ESD systemet ved manuell inngripen fra autorisert personell. Dessuten vil enkelte alarmer fra F&G systemet initiere automatisk nedstengning av spesifikke kraftforbrukere.

En «shutdown» kan også skje utilsiktet. Dette kan ha flere årsaker: feiloperasjon (menneskelig svikt), feil på ESD systemet osv.

Hyppighet av og ditto behov for nødkraft relatert til plattform «shutdown» scenarier vurderes ikke til å avta på grunn av innebygd redundans i hovedkraftsystemet.

En overgang til «nødmodus» vil i all hovedsak innebære en utkobling av alle ikke-essensielle forbrukere, med tilsvarende reduksjon av antall generatorer i operasjon. For et tradisjonelt anlegg vil dette i praksis skje i form av nedstenging av hovedkraftsystemet, med påfølgende automatisk oppstart av nødgeneratoren og forsyning til nødkraftforbrukerne direkte fra et dedikert distribusjonssystem på lavspenningsnivå.

For et anlegg er basert på redundans i hovedkraftsystemet blir løsningen ganske annerledes. Nødkraftforsyningen skal her ivaretas av minst en av hovedgeneratorene. Dette betyr i praksis at flere elektriske utstyrsrom må være spenningsatt i «nødmodus» sammenlignet med et tradisjonelt nødkraftsystem, inkludert deler av høyspenningsanlegget. Dette aspektet må vurderes med hensyn til tennkildekontroll ved en eventuell gasslekkasje om bord på innretningen. Plassering av hovedgeneratorene med sine respektive luftinntak må inngå i denne vurderingen. Videre, ettersom en hovedgenerator generelt vil være en større og mer

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	45 of 53

komplisert maskin enn en dedikert nødgenerator så vil det, avhengig av anleggstype, være behov for operasjon av flere hjelpesystemer for å holde denne i drift.

Til forskjell fra et tradisjonelt anlegg må systemet ivareta utkobling av alle ikke-essensielle forbrukere på en forskriftsmessig måte ved overgang til «nødmodus».

7.4.3 Dødstart

Med hensyn på dødstart er det en fordel at anlegget er så enkelt som mulig. Basert på denne tilnærmingen vil et tradisjonelt nødkraftsystem med en dedikert nødgenerator være enklere å starte opp i et dødstart-scenario.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	46 of 53

7.5 *Betenkninger omkring dagens regelverk*

Som nevnt i kapittel 0 ansees følgende Ptil-forskrifter som relevante for det aktuelle tema:

- Styringsforskriftens § 4 om risikoreduksjon og § 5 om barrierer
- Innretningsforskriftens § 8 om sikkerhetsfunksjoner, § 38 om nødkraft og nødbelysning og § 47 om elektriske anlegg
- Rammeforskriftens § 3 om anvendelse av maritimt regelverk for flyttbare innretninger

Innretningsforskriftens § 38 og §47 refererer videre til følgende normer og standarder som beskriver anlegg uten dedikert nødgenerator:

- IEC 61892-serien (generelt for utforming av elektriske anlegg)
- 2009 MODU CODE kapittel 5 (spesifikt for nødkraftsystemer)
- DNV-OS-D201 (for elektriske anlegg på flyttbare innretninger)

Det tilfaller i henhold til disse normene myndighetene i de enkelte land å vurdere om denne spesifikke løsningen skal være tilgjengelig eller ikke for aktørene. Ptil har ikke omtalt dette i sine forskrifter.

For flyttbare innretninger som er registrert i et nasjonalt skipsregister og følger et maritimt driftskonsept åpner rammeforskriftens § 3 for å anvende maritimt regelverk, i form av Sjøfartsdirektoratets regelverk for flyttbare innretninger med utfyllende klasseregler, i stedet for innretningsforskriften. Sjøfartsdirektoratets forskrift nr. 856 av 4. september 1987 om bygging av flyttbare innretninger (FOR-1987-09-04-856) § 11 omhandler Nødkraftforsyning. Denne paragrafen åpner for utelatelse av dedikert nødgenerator ved redundante hovedkraftkilder, tilsvarende som for de ovenfor refererte normer/standarder. Den nevnte paragrafen inneholder dog ikke et krav til særskilt myndighetsgodkjenning dersom denne løsningen velges.

Rammeforskriftens § 3 presiserer at ved anvendelse av maritimt regelverk så skal dette legges til grunn i sin helhet. For elektriske anlegg generelt refererer Sjøfartsdirektoratet i byggeforskriftens § 6a til «Forskrift om maritime elektriske anlegg» (FOR-2001-12-04-1450). For oppfyllelse av sikkerhetskravene i forskriften om maritime elektriske anlegg henvises både til IEC 61892-serien og til 2009 MODU CODE (ref. veiledningen til § 5 i denne forskriften).

Kravene i DNV-OS-D201 relatert til anlegg uten dedikert nødgenerator er eksempel på utfyllende klasseregler som kan legges til grunn.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	47 of 53

7.5.1 Generelle krav i regelverk og normer

Ptil åpner altså for anlegg uten dedikert nødgenerator via formuleringer i refererte normer og standarder.

Forutsetningen for å utelate den dedikerte nødgeneratoren er at det er installert minst to redundante hovedkraftsystemer, som fungerer uavhengig av hverandre.

Den generelle ordlyden i nevnte normer er ganske likelydende:

For units where the main source of electrical power is located in two or more spaces which have their own systems, including power distribution and control systems, completely independent of the systems in the other spaces and such that a fire or other casualty in any one of the spaces will not affect the power distribution from the others, or to the services required by xxxx, the requirements of yyyy may be considered satisfied without an additional emergency source of electrical power, subject to approval of the appropriate authority.

Ovenstående kan oppfattes dithen at minst en hovedgenerator i hver redundanssone må møte samtlige krav til en dedikert nødgenerator. Men dette er ikke entydig definert, og er noe ulikt beskrevet i de forskjellige normene.

Normene stiller likevel, direkte eller indirekte, en del generelle/felles krav ved utelatelse av dedikert nødgenerator:

- Dobbel A-60 brannskille mellom de redundante systemene
- Uavhengig forsyning av drivstoff/diesel for hver redundanssone
- Minst en generator i hver redundanssone kan operere ved maks krenningsvinkel
- Denne generatoren har kapasitet til å forsyne alle nødkraftforbrukere
- Generatorer skal starte automatisk ved tap av normalforsyning/«black-out», koble seg til tavlen og forsyne alle nødkraftforbrukere innenfor en tidsramme på 45 sek.
- Automatisk utkobling av ikke-essensielle forbrukere i en nødsituasjon
- Generatorer skal kunne starte ved minimum omgivelsestemperatur
- Det skal være 2 separate startsystemer, med 3 startforsøk på hvert system

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	48 of 53

7.5.2 Særskilte krav i normverket

Enkelte aspekter er omtalt ulikt, eller kun omtalt i en av de refererte normene. Her følger noen eksempler på dette.

7.5.2.1 Maskin- og generatorbeskyttelse i en nødsituasjon

DNV-OS-D201 kapittel 2, seksjon 2, punkt 3.1.6 “Guidance note 2” tillater utelatelse av redusert maskin- og generatorbeskyttelse i en nødsituasjon, med følgende begrunnelse: *An offshore unit built in accordance with this paragraph will not have any dedicated emergency power system, since the two (or more) independent main power systems are considered to ensure power supply to emergency consumers at all times. Compliance with [3.3.2] is not required.*

IEC 61892-2 punkt 4.3.4 omtaler maskinbeskyttelse, men sier ingenting spesifikt om hvorvidt dette punktet gjelder kun for en dedikert nødgenerator. IMO MODU CODE omtaler ikke dette temaet.

7.5.2.2 Testing av systemet

IEC 61892-2 punkt 4.3.10 omtaler krav til periodisk testing av det komplette nødkraftsystemet, men sier ingenting spesifikt om hvorvidt dette punktet fortsatt gjelder dersom man ikke har en dedikert nødgenerator. DNV-OS-D201 kapittel 2, seksjon 2, punkt 3.1.12 omtaler krav til periodisk testing av det komplette nødkraftsystemet, og punkt 3.1.6 «Interpretation» refererer til innretningens test program for detaljert beskrivelse av testmetodikk dersom man anvender redundansprinsippet. IMO MODU CODE punkt 5.4.16 beskriver tilsvarende krav til periodisk testing, men dette punktet er utelatt i betingelsene for aksept av løsningen med redundante kraftkilder.

7.5.2.3 Elektrisk forbindelse mellom de ulike redundanssonene

Dette betyr i praksis operasjon med lukket samleskinnebryter. Betingelsene i den generelle forutsetningen er at de redundante systemene skal være «*completely independent of the systems in the other spaces*» og at «*a fire or other casualty in any one of the spaces will not affect the power distribution from the others*”. I utgangspunktet synes disse betingelsene å utelukke en elektrisk sammenkobling av systemene.

DNV-OS-D201 går likevel langt i å antyde at en sammenkobling på tvers av redundanssonene kan aksepteres under gitte forutsetninger. Kapittel 2, seksjon 2, punkt 3.1.6 beskriver betingelsene for aksept av løsningen med redundante kraftkilder som erstatning for dedikert nødgenerator.

Her nevnes følgende:

- *Bus tie breakers between the spaces have short circuit protection providing discrimination.*
- *The arrangements of these generating sets comply with the requirements given in 3.1.8, i.e. bus-tie breakers shall open automatically upon blackout,...*

Punkt 3.1.8 beskriver forbindelsen fra normal til nødtavlen for et tradisjonelt anlegg: *In normal operation, the Emergency Switchboard shall be supplied from the Main Switchboard by an interconnecting feeder. This feeder shall be protected against overload and short circuit at the Main Switchboard, and shall be disconnected automatically at the Emergency Switchboard upon failure of the supply from the main source of electrical power.*

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	49 of 53

Tilnærmingen i DNV-regelverket synes å være at man prinsipielt betrakter forbindelsen mellom de redundante hovedkraftsystemene på samme måten som forbindelsen fra normaltavlen til nødtavlen i et tradisjonelt anlegg. Kravene til elektrisk beskyttelse av forbindelsen mellom de redundante hovedkraftsystemene er dog langt fra fyllestgjørende for dagens avanserte styringssystemer.

IEC 61892-2 punkt 4.3.2 og IMO MODU CODE punkt 5.4.13 har tilsvarende krav som DNV-OS-D201 kapittel 2, seksjon 2, punkt 3.1.8 vedr. forbindelsen fra normaltavlen til nødtavlen, men beskrivelsene av løsning basert på redundante kraftkilder nevner ikke sammenkobling av disse.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	50 of 53

7.6 Anbefalinger til forbedringer av dagens regelverk

Innretningsforskriften § 38 spesifiserer et «pålitelig, robust og enkelt» nødkraftsystem «med færrest mulig automatiske utkoblingsfunksjoner». Det kan synes noe uklart i hvilken utstrekning disse kravene fortsatt har relevans dersom man anvender et system basert på redundans i hovedkraftforsyningen. I særdeleshet gjelder dette ved operasjon med lukket samleskinnebryter, hvor funksjonaliteten i systemet i vesentlig grad er basert på relativt kompliserte avhengigheter og automatiske inn/utkoblinger styrt av flere ulike systemer.

Det bør vurderes hvorvidt det er hensiktsmessig å klargjøre kravene til et anlegg basert på redundansprinsippet på en bedre måte i HMS regelverket. Dette ville antageligvis forenkle saksbehandlingsprosessen for denne type anlegg.

En slik klargjøring bør som et minimum inneholde følgende:

- Eventuelle begrensinger med hensyn til hvilken type innretninger hvor det er akseptabelt å utelate dedikert nødgenerator
- Presisering av krav til redundante hovedgeneratorer ved utelatelse av dedikert nødgenerator
- Presisering av relevante beregninger og simuleringer for å sikre koordinering mellom vernsystem, spenningsregulator og kontrollsystemer (PMS og avansert generator overvåkningssystem)
- Presisering av systemstudier (i henhold til IEC 61892-2) for definisjon av vernsystem
- Krav til periodisk testing av systemfunksjonalitet
- Krav til maskin- og generatorbeskyttelse i en nødsituasjon
- Krav til dedikert UPS system for generatorpakkene
- Krav til sentralisert UPS anlegg for innretningen med hensyn til batterikapasitet/back-up tid

Ordlyden i den generelle forutsetningen for et anlegg uten dedikert nødgenerator i IEC 61892-2, IMO MODU CODE og DNV-OS-D201 burde justeres dersom man aksepterer operasjon med lukkede samleskinnebrytere mellom redundanssonene.

Et konkret forslag til revidert ordlyd i nevnte normer kan være:

*For units where the main source of electrical power is located in two or more spaces which have their own systems, including power distribution and control systems, **with an independency towards the systems in the other spaces such that a fire or other casualty in any one of the spaces will not have an unacceptable impact on the power generation and distribution from the others, or to the services required by xxxx, the requirements of yyyy may be considered satisfied without an additional emergency source of electrical power, subject to approval of the appropriate authority.***

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	51 of 53

7.7 **Anbefalinger til videre arbeid**

Følgende tema vurderes som relevante for videre arbeid:

1. Etablere en teknisk beskrivelse av nødkraftsystemet sin rolle som sikkerhetsfunksjon, herunder:
 - 1a) Nødgenerator med tilhørende hjelpesystem og fordelingssystem
 - 1b) UPS (avbruddsfri strømforsyning)Disse systemene sin rolle som sikkerhetsfunksjon/barriere mot fare- og ulykkessituasjoner vurderes og beskrives.
2. Vurdere ytelseskrav til 1a).
3. Følgende alternativer for 1a) bør inngå i vurderingen:
 - 3a) Dedikert(e) nødgenerator(er) med tilhørende hjelpesystem og fordelingssystem
 - 3b) Bruk av redundante hovedkraftgeneratorer med tilhørende hjelpe og fordelingssystem, med og uten normalt lukkede samleskinnebrytere
 - 3c) Nødkraftforsyning via sjøkabel fra eksternt innretning eller fra land.
4. Vurdere om krav til 1b) (UPS) skal være identiske for alternativ 3a), 3b) og 3c).
5. For 3b) har dybdestudien identifisert et grunnlag for en nærmere definisjon av vernsystem, samt en analyse av koordinering mellom vernsystem, kontrollsystem (Power Management System og eventuell bruk av avanserte generator overvåkningssystem) og generatorenes spenningsregulator. Denne analysen kan utføres på et eller flere eksemplarsystem, med etablering av relevante simuleringer.
6. For 3c); Utarbeide en konseptbeskrivelse, inkludert vurdering av svakheter og styrker med løsningen sammenlignet med 3a).
7. Utarbeide anbefalinger til kompetansekrav og opplæring for driftspersonell relatert til anlegg uten dedikert nødgenerator.

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	52 of 53

Vedlegg 1: Redundansmatriser

A.1 Redundansmatrise for fast produksjonsinnretning

A.2 Redundansmatrise for oppjekkbar boreinnretning

A.3 Redundansmatrise for flyttbar innretning med dynamisk posisjonering

Vedlegg 2: Anleggsspesifikke notater

A.4 Teknisk Notat for fast produksjonsinnretning

A.5 Teknisk Notat for oppjekkbar boreinnretning

A.6 Teknisk Notat for flyttbar innretning med dynamisk posisjonering

Project No.	Document No.	Rev.	Page
2016015	UPS-2016015-R01	02	53 of 53