



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

Sammenligningsstudie av brann- og sjøvannspumper på offshore installasjoner

Comparison study of fire and seawater pumps on
offshore installations

Eirin Brakstad
Maskin, prosess og energiteknikk

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet for Eureka pumps. Problemstillingen har vært utfordrende, lærerik og spennende. Jeg vil gjerne takke Kristian og Ola Omberg for støtte under oppgaven. Jeg vil og takke Juan Benito, min kontaktperson hos Eureka, for god hjelp. Til slutt vil jeg vil rette en takk til min veileder førsteamanuensis Odd-Ivar Lekang for kritiske spørsmål og god oppfølging.

Eirin Brakstad

14. desember 2017

Sammendrag

Olje- og gassproduksjon håndterer store mengder hydrokarboner og har stor risiko knyttet til brannulykker. Brannvernsutstyr er kritisk med tanke på sikkerhet for ansatte på installasjonen og materielle verdier. Hensikten med denne oppgaven er å vurdere og sammenlikne elektriske og hydrauliske neddykkede brann- og sjøvannspumper montert på offshore installasjoner i henhold til sikkerhet, miljø og helse. Sammenligningen baserer seg på litteraturstudium og data er hentet fra Petroleumstilsynet, OREDA- Offshore and onshore reliability data og Miljødirektoratet.

Sikkerhet for brannvannspumper defineres som påliteligheten til pumpene i driftssituasjon. Antall startfeil for brannvannspumper publiseres av Petroleumstilsynet i en årlig rapport som omhandler risikonivå på norsk sokkel. I 2016 lå 89 % av installasjonene i undersøkelsen under bransjekravet på 0,005 % feil. Feilratene hentet fra OREDA for brann- og sjøvannspumper baserer seg på datagrunnlag rapportert fra operatører i petroleumsbransjen. Fra resultatene for brannvannspumper vil hydraulisk løsning ha en feilrate på 0,0075 feil per time, mens elektrisk løsning vil ha en feilrate på 0,0015 per time. Dette gir en indikasjon på at elektriske brannvannspumper er sikrere i en driftssituasjon. Datagrunnlaget anses som utilstrekkelig for å trekke en definitiv konklusjon for hele livsløpet til pumpeløsningen.

Elektriske glykolfylte brann- og sjøvannspumper er fylt med kjemikalier i grønn miljøkategori, mens hydrauliske og elektriske oljefylte brann- og sjøvannspumper er fylt med kjemikalier i svart eller rød miljøkategori. Elektriske glykolfylte brann- og sjøvannspumper er det beste alternativet med tanke på kjemikalieutslipp.

Hydraulikkoljer og smøremidler er ikke merkepliktig med fullstendig oversikt over hvilke kjemikalier produktet inneholder. Manglende oversikt gir usikkerhet rundt helsemessige konsekvenser av eksponering for produktet.

Resultatet fra sammenlikningen i denne oppgaven gir en indikasjon på at elektriske brann- og sjøvannspumper er det sikreste alternativet med tanke på antall feil i driftstilstand. For miljø og helse anses elektriske glykolfylte brann- og sjøvannspumper som det alternativet med lavest risiko knyttet til eksponering av kjemikalier og utslipp av kjemikalier til sjø.

Abstract

Oil and gas installations handles large volumes of hydrocarbons which has a high risk of fire related accidents. Fire protection equipment is critical in terms of safety for the employees on the installation and material values. The purpose for this master's thesis is to evaluate and compare submersible fire and seawater pumps mounted on offshore installations according to health, safety and environment. The comparison is based on a literature study and data obtained from Petroleum Safety Authority Norway, OREDA-Offshore and onshore reliability data and the Norwegian Environmental Agency.

Safety of fire water pumps is defined as the reliability of the pumps in operating conditions. The number of starting failures for firewater pumps is published by the Petroleum Safety Authority Norway in an annual report on risk levels on the Norwegian continental shelf. 89% of the installations in the survey from 2016 were under the industry requirement of 0.005% starting failures. The failure rates obtained from OREDA for fire and sea water pumps are based on data reported by operators in the petroleum industry. Based on the data for fire water pumps, the hydraulic solution will have a failure rate of 0.0075 failure per hour, while the electrical solution will have a failure rate of 0.0015 failure per hour. This indicates that electric fire water pumps are more reliable in an operational situation. The data is considered insufficient to draw a definitive conclusion for the entire life cycle of the pump solution.

Electric glycol filled fire and sea water pumps are filled with chemicals in green environmental category, while hydraulic and electric oil-filled fire and seawater pumps are filled with chemicals in black or red environmental category. Hydraulic oils and lubricants are not obligated to present a complete overview of the chemicals the product contains. Missing foundation gives an uncertainty about the health consequences of exposure to the product.

The result of the comparison study in this thesis indicates that electrical fire and sea water pumps are the safest alternative given the number of operating failures. Electric glycol filled fire and seawater pumps are considered to be the lowest risk option regarding exposure of chemicals and emission of chemicals to the sea.

Innholdsfortegnelse

Figurliste	ix
Tabelliste	ix
Forkortelser	x
1. Innledning	1
2. Teori	3
2.1 <i>Brannvannspumper</i>	3
2.1.1 Hydraulisk drevet brannvannspumpe	3
2.1.2 Elektrisk brannvannspumpe	7
2.1.3 Sjøvannspumper	9
2.2 <i>HMS</i>	9
2.2.1 Sikkerhet	9
2.2.2 Miljø	10
2.2.3 Helse	13
2.3 <i>Tidligere studier</i>	15
2.3.1 Brannvannspumper	15
2.3.2 Cargopumper	15
2.3.2 Hydraulisk vs. elektrisk drivkraft for drillingutstyr	16
2.4.3 Miljøvurdering av hydraulikkoljen Shell turbo 32	16
3. Sammenlikning av hydraulisk og elektrisk løsning	17
3.1 <i>Datainnsamling</i>	17
3.2 <i>Resultat</i>	18
3.2.3 Utslipp fra brann- og sjøvannspumper	24
3.2.3 Tiltak for reduksjon utslipp av stoff i svart miljøkategori	25
3.3 <i>Diskusjon</i>	27
3.3.1 Sikkerhet	27
3.3.2 Miljø	29
3.3.3 Helse	32
3.3.4 Evaluering pumpeløsning	33
4. Videre arbeid	34
5. Konklusjon	35
Kilder	36
Vedlegg A	I
A.1 <i>Oreda estimeringsprosess</i>	I
A.2 <i>OREDA 2015</i>	III
A.3 <i>OREDA 2009</i>	VII
A.4 <i>OREDA 2002</i>	IX
Vedlegg B	XII
B.1 <i>Brev fra Miljødirektoratet</i>	XII

Figurliste

Figur: 1 Oversikt over brannhendelser på norsk sokkel fra 2000 til 2016 (Petroleumstilsynet 2016)	1
Figur 2: Illustrerer oppsettet til brannvannspumpe med hydraulisk kraftforsyning(FRAMO)	4
Figur 3: Hydraulisk motor med impeller (FRAMO)	5
Figur 4: Pumpekurver for hydraulisk brannvannspumpe, på x-aksen vises flow i m ³ /time og på y-aksen vises løftehøyden i meter vannsøyle (FRAMO)	6
Figur 5: Viser neddykket motor og pumpehus med impeller med to trinn(EUREKA 2017).....	7
Figur 6: Viser toppstykket for elektrisk pumpeløsning med neddykket motor fylt med vann-glykol (EUREKA)..	8
Figur 7: Pumpekurver for neddykket elektrisk motor, på x-aksen vises flow i m ³ /time og på y-aksen vises løftehøyden i meter vannsøyle. (EUREKA)	8
Figur 8 Viser oversikt over antatt feil under starttest. På x-aksen er installasjoner, søylene viser feilprosent for 2016, punktene viser gjennomsnittet for 2002-2016.....	18
Figur 9 Grafen viser antall feil forventet i de ulike fasene av komponenters levetid	19
Figur 10: Feilratestrimat for hydraulisk løsning, x aksen viser antall per 10 ⁶ time.....	20
Figur 11: Feilratestrimat for elektrisk løsning, x aksen viser antall per 10 ⁶ time.....	21
Figur 12: Feilrate estimat for dieselmotor som driver for brannvannspumper y-aksen vises gjennomsnittlig	22
Figur 13: Oversikt over antall feil for sjøvannspumper fra OREDA 2002-2015 på	23

Tabelliste

Tabell 1 Definisjoner for miljøkategorier (Miljødirektoratet 2016e)	11
Tabell 2: Ordforklaringer fra OREDA.....	19
Tabell 3: Antall komponenter datagrunnlaget feilrateestimatene for hydraulisk brannvannspumpe baserer seg på	20
Tabell 4: Antall komponenter datagrunnlaget feilrateestimatene for elektrisk brannvannspumpe baserer seg på	21
Tabell 5: Antall installasjoner og komponenter feilrateestimatene fra 2002, 2009 og 2015 for dieselmotor baserer seg på.	22
Tabell 6 Antall installasjoner og pumper feilrate for 2002-2015 baserer seg på.....	23
Tabell 7 Utslippsestimat Martin Linge (Total E&P Norge AS 2017)	24
Tabell 8 Utslipp i de ulike miljøkategoriene og totalutslippet av natriumhypokloritt fra Valhall, utslippene er oppgitt i kg per år (BP Norge AS 2016).....	25

Forkortelser

HMS – Helse, miljø og sikkerhet

HPU – Hydraulic power unit, hydraulikkaggregat

MEG – Monoetylene glykol

NPSH – Netto positiv sugehøyde

OREDA – Offshore reliability data

RNNP – Risiko nivå i petroleumssektoren norsk sokkel

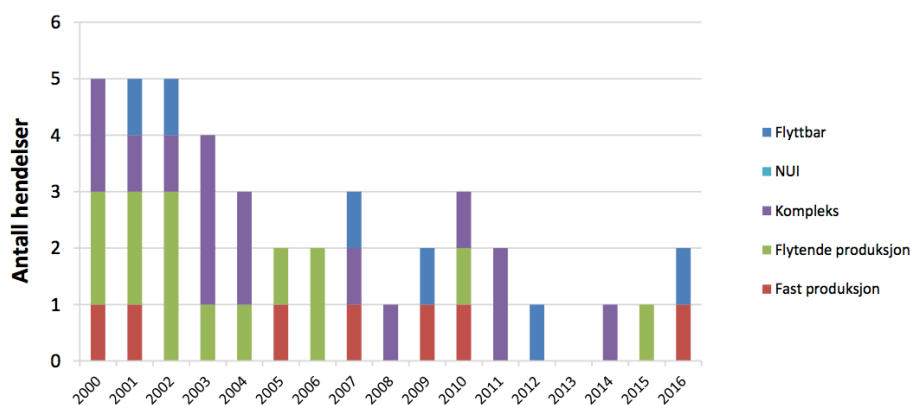
1. Innledning

I over 40 år har olje- og gassproduksjon vært en stor del av norsk økonomi og dannet grunnlag for utvikling av velferdsstaten. Fremdeles ligger over 60 prosent av resursene under havbunnen og olje og gass vil også i fremtiden være en del av det norske samfunnet (Olje og energidepartementet & Oljedirektoratet 2017).

Til tross for petroleumsvirksomhetens positive bidrag til norsk økonomi og velferd er miljøpåvirkning fra næringen er en problemstilling som er kommet mer i søkelyset sammen med global oppvarming og oljetilgrisede sjøfugl. Miljødirektoratet jobber for nullutslipp til sjø fra petroleumsvirksomheten til havs. Sammen med elektrifisering av norsk sokkel er dette arbeid for en mer miljøvennlig oljeproduksjon. Utslipp av uønskede kjemikalier skal kun skje med tillatelse og tungtveiende sikkerhetsmessige eller tekniske grunner.

Olje- og gassproduksjon håndterer store mengder hydrokarboner og har stor risiko knyttet til brannulykker og brannvern utstyr er kritisk med tanke på sikkerhet for ansatte på installasjonen og materielle verdier. Hvert år oppstår ulykker på norsk sokkel med potensiale for skade på liv og utstyr (figur 1). Det har ikke vært en storskala brannulykke i Nordsjøen siden 1988 hvor Piper Alpha, en gassproduserende installasjon på den britiske delen av sokkelen, totalhavarete og 167 mennesker omkom (Norsk olje & gass 2012).

Brannvannspumpene er en del av installasjonenes brannvernssystem. Sjøvann pumpes opp til plattformens dekk og hvor vannet distribueres videre gjennom rør til et sprinklersystem. Brannvannspumpene kan utformes med ulike tekniske løsninger.



Figur: 1 Oversikt over brannhendelser på norsk sokkel fra 2000 til 2016 (Petroleumstilsynet 2016)

Problemstillingen til denne oppgaven er utarbeidet i samarbeid med Eureka pumps AS. Eureka har opplevd utfordringer når høyspenningskabler tilknyttet pumper med neddykkede elektromotorer er håndtert på offshore installasjoner under bygging på verftet og senere drift (under montering og demontering). Eureka ønsker en vurdering av helse, miljø og sikkerhet (HMS) for elektriske neddykkede brann- og sjøvannspumper og tiltak til forbedring. Elektrisk løsning sammenliknes med den hydrauliske løsningen. Uttalelser fra leverandører av hydrauliske brann- og sjøvannspumper viser til at hydrauliske pumper er sikrere, og Eureka ønsker en nærmere undersøkelse av denne argumentasjonen.

Hensikten med denne oppgaven er å sammenlikne elektriske og hydrauliske neddykkede brann- og sjøvannspumper montert på offshore installasjoner i henhold til sikkerhet, miljø og helse.

Studie omfatter ikke økonomisk sammenligning. Direkte dieseldrevne pumper vil ikke bli vurdert.

2. Teori

2.1 Brannvannspumper

Brannvannspumpers funksjon er å levere vann i et branntilfelle. Brannvannspumpene henter sjøvann opp til dekk og selve røret til sjø kan være opp mot 60 meter langt. Hver av pumpene er designet med kraftforsyning som er uavhengig av plattformens sentrale kraftanlegg.

Pumpene blir testet ukentlig og årlig blir det gjort en fullskala test for hele brannvannssystemet til installasjonen .

2.1.1 Hydraulisk drevet brannvannspumpe

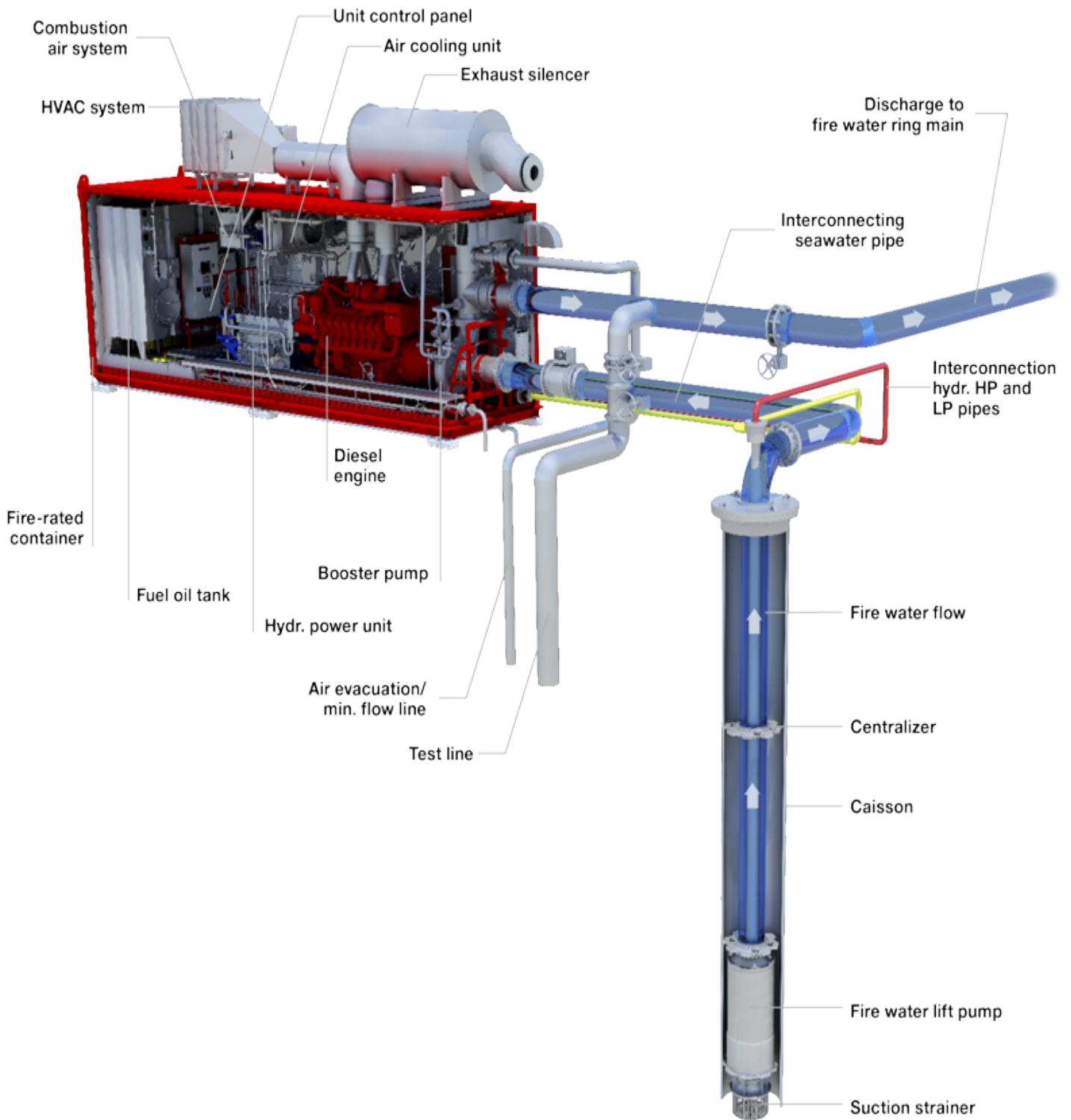
Hovedkomponentene i hydraulisk pumpeløsning er dieselmotor, hydraulikkaggregat (HPU), neddykket hydraulisk motor koblet til impeller og en trykkforsterkningspumpe.

Komponentene som er tørroppstilte er plassert inne i en container for beskyttelse mot brann (figur 2). Dieselmotoren driver hydraulikkaggregatet og trykkforsterkningspumpa direkte, motorens størrelse vil variere med effektbehovet. Hydraulikkaggregatet består av stempelpumper som skaper trykk i hydraulikkolja som driver den neddykkede hydrauliske motoren. Hydraulisk kraftoverføring er ikke sensitiv til skjevheter som kan oppstå i kraftoverføringssystemet.

Hydraulikkmotoren er plassert 10-15 meter under vannoverflaten inne i en «caisson».

Caissonen er et omsluttende rør som går 3-4 meter lengre ned enn motoren. Inne i caissonen er det plassert stabiliseringsplater som sentraliserer pumpas stigerør. Fordelen med neddykket motor er at koblingen mellom motor og impeller er kort og at netto positiv sugehøyde reduseres og dermed reduseres faren for kavitasjon. Kavitasjon oppstår når vannet fordampes og dampbobler imploderer, dette gir stor slitasje på impeller (Finnemore & Franzini 2002).

Hydraulisk motor drives av variasjon i trykket levert fra hydraulikkaggregatet, som igjen roterer impelleren. For å hindre at objekter eller partikler blir sugd inn i pumpe er det en sil plassert ved pumpas innløp.



Figur 2: Illustrerer oppsettet til brannvannspumpe med hydraulisk kraftforsyning (FRAMO).

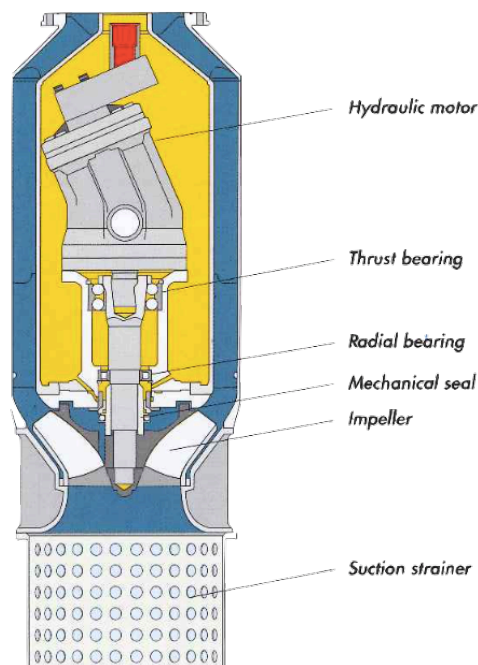
Hydraulikkolje er sensitiv for forurensing, motoren er utstyrt med mekanisk tetning, og normal praksis er å ha overtrykk inne i motoren for å unngå innlekking av sjøvann.

Konsekvensene av forurensing i hydraulikkolja er momentan stopp pumpe.

Når puma ikke er i drift sirkulerer hydraulikkolja ved hjelp av en elektrisk pumpe.

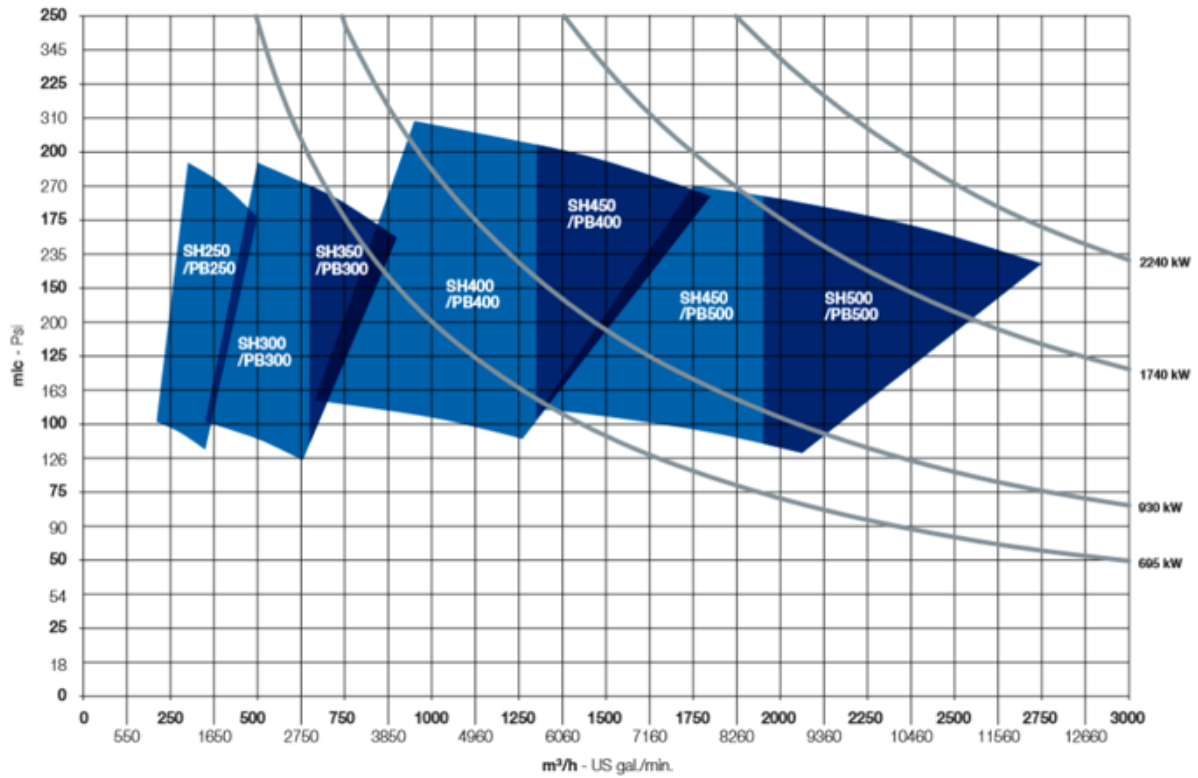
Sirkuleringen av olje sørger for smøring og overvåking av pumpe og impelleren roterer med 40-50 rotasjoner per minutt, roteringen sørger for reduksjon i marin begroing.

Hydrauliske neddykkede pumper leveres med en impeller. For å øke trykket står den neddykkede pumpe i serie med en trykkforsterkningspumpe som er en tørroppstilt sentrifugalpumpe. Typisk er lastforholdet mellom den neddykkede pumpe og trykkforsterkningspumpe 30/70, dette gjør at dieselmotorens startlast er 30% av full last som tillater en raskere start enn ved full last (FRAMO). Lastforholdet utnytter også at trykkforsterkningspumpe har bedre virkningsgrad i og med at den er koblet direkte i dieselmotoren og man ikke vil få samme tap man vil få med hydraulisk kraftoverføring.



Figur 3: Hydraulisk motor med impeller (FRAMO)

Pumpekurvene viser et eksempel på hvilke kapasiteter hydrauliske brannvannspumper kan leveres med. Hydrauliske brannvannspumper kan leveres med en kapasitet på oppmot 2750 m³/time og 212 meter vannsøyle.



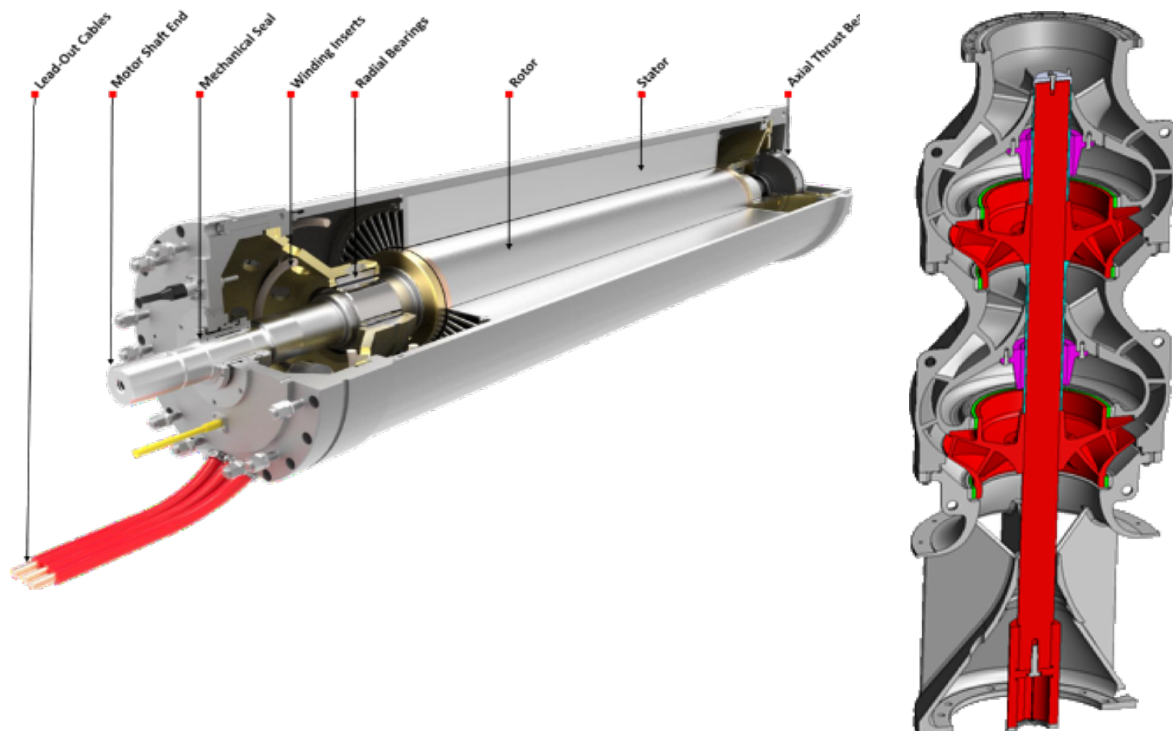
Figur 4: Pumpekurver for hydraulisk brannvannspumpe, på x-aksen vises flow i m³/time og på y-aksen vises løftehøyden i meter vannsøyle (FRAMO)

2.1.2 Elektrisk brannvannspumpe

Hovedkomponenter i elektrisk brannvannsumpeløsning er dieselmotor, generator og neddykket elektrisk motor koblet til impeller. Dieselmotoren er tilsvarende som for hydraulisk løsning, men driver en generator i stedet for trykkforsterkningspumpe og HUP. Generatoren omformer mekanisk energi fra dieselmotoren til elektrisk energi og leverer strøm gjennom høyspenningskabler til den neddykkede motoren (EUREKA).

Den elektriske neddykkede motoren består av en stator, rotor og isolerte vindinger (figur 5). Motoren er fylt med væske for å unngå innlekking av sjøvann. Væsken sørger for overtrykk inne i motoren i tillegg til smøring og kjøling av motoren og kan være oljebasert eller en blanding av destillert vann og glykol.

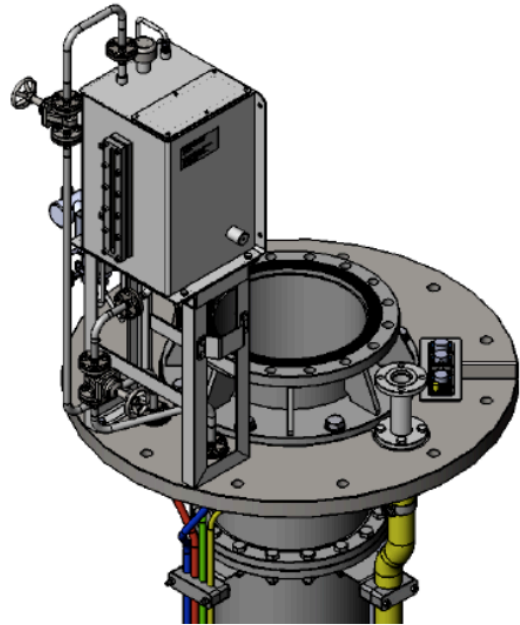
El-motorer som er fylt med vann-glykol har den mulighet for å kjøre en tid med lekkasje, det vil ikke være momentant stopp om en lekkasje skulle oppstå. Det konstante overtrykket fører til en lekkasjerate av vann-glykol ut fra motoren når den er i drift. Motoren er via en stiv aksling koblet til impeller. Elektriske pumper kan leveres med flere impellere (figur 5).



Figur 5: Viser neddykket motor og pumpehus med impeller med to trinn (EUREKA 2017)

For å unngå begroing i systemet brukes hypokloritt som biocid og doseres ved pumpas innløp gjennom en distribusjonsring.

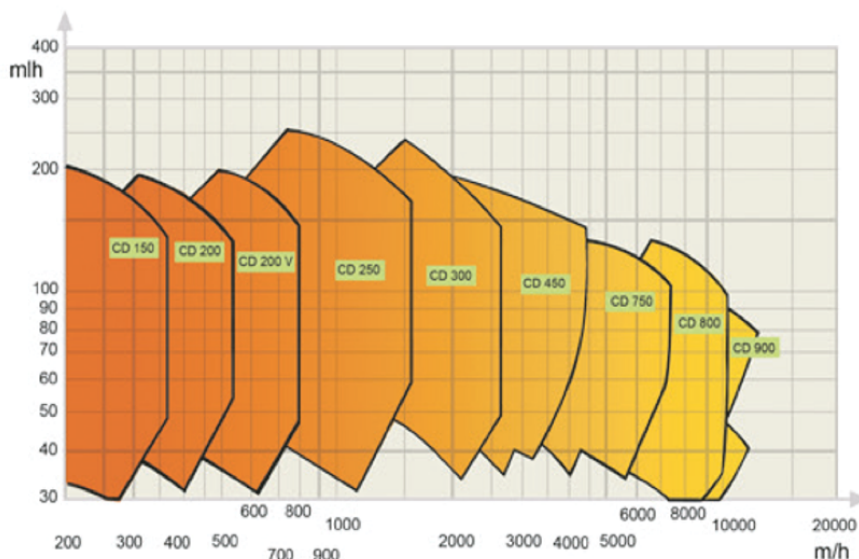
Toppstykket til pumpa består av «topp-tank» med instrument og høyspennings koblingsboks og vann-glykoltank (figur 6). Om vann-glykoltanken skulle miste sin funksjon i et branntilfelle vil dette ikke være kritisk om det er glykol i røret ned til motoren.



Figur 6: Viser toppstykket for elektrisk pumpeløsning med neddykket motor fylt med vann-glykol (EUREKA)

Pumpeløsningen er fleksibel med tanke plassering av containeren kraftoverføringen via høyspenningskabler og fravær av trykforsterkningspumpe gjør at dieselmotoren og generatoren ikke trenger å stå i nærheten av pumpa .(EUREKA).

For å tåle påkjeningen av en rask start er pumpeløsningen utstyrt med en tilbakeslagsventil som hindrer «vannhammer». Vannhammer er en trykkbølge som oppstår når man har en rask endring i væskestrøm. Konsekvensene kan være store ødeleggelser på utstyr (Finnemore & Franzini 2002). Pumpeløsningen kan leveres med en kapasitet mellom 200 og 10 000 m³/time og løftehøyde opp mot 250 meter vannsøyle (figur 7). (EUREKA 2016)



Figur 7: Pumpekurver for neddykket elektrisk motor, på x-aksen vises flow i m³/time og på y-aksen vises løftehøyden i meter vannsøyle. (EUREKA)

2.1.3 Sjøvannspumper

Sjøvannspumper brukes på offshore installasjoner til blant annet pumping av kjølevann og drikkevann. Sjøvannspumper har tilsvarende design som brannvannspumper med neddykket motor, men forsynes med kraft fra plattformens sentrale kraftsystem, ikke et eget aggregat. Sjøvannspumper vil være i kontinuerlig drift og man unngår start-stop belastningen.

2.2 HMS

HMS er en forkortelse for helse, miljø og sikkerhet. HMS er et bredt tema som omfatter blant annet sikkerhet på arbeidsplassen, arbeidsmiljø, brannsikkerhet, påvirkning på ytre miljø (Store norske leksikon). Rammeforskriften §11 ”prinsipper for risikoreduksjon” omhandler valg av teknisk løsning. Det presiseres at dersom man mangler tilstrekkelig kunnskap om hvilke virkninger bruk av de tekniske løsningene kan ha for helse, miljø eller sikkerhet, skal det velges løsninger som reduserer usikkerheten om virkningen av løsningene (Petroleumstilsynet et al. 2016).

2.2.1 Sikkerhet

Sikkerhet for brannvannspumper defineres som pålitelighet, tilgjengelighet og brannsikkerhet. Det vil si om pumpene starter, om pumpene er tilgjengelige og ikke ute for vedlikehold og om pumpesystemet er motstandsdyktig for brann. NORSOK Standard S-001 fra 2008 omhandler teknisk sikkerhet og stiller krav til aktiv brannbeskyttelse. Standarden påpeker at det skal installeres fastmonterte anlegg for brannbekjempelse i områder med stor risiko, og spesielt i områder som håndterer hydrokarboner. Det må derfor installeres på alle offshore innretninger. Systemet skal ved ferdigstilling gjennomgå en realistisk fullskala effektivitet og kapasitettest. Brannvannsystemet skal til enhver tid fungere og sikre tilstrekkelig tilførsel av vann til brannbekjempelse (NORSOK Standard S-001 2008).

Brannvannsystemet skal tilfredsstillе prinsippet om at utstyr skal feile til sikker tilstand, såkalt ”fail-safe”. Der vil si at dersom det oppstår feil eller svikt i systemet skal reaksjonen ikke føre til skade på annet utstyr eller personell (NORSOK Standard S-001 2008). Offshore enheter skal være utstyrt med to uavhengige drevenheter og brannvannspumpesystemer, der hver dekker 100% av brannvannbehovet. Dette må inkludere en sikkerhetsmargin som tar høyde for at det kan oppstå hydraulisk ubalanse, overlapping av dekningsområder, kjøling av pumper og annet nødutstyr .

Brannpumpenes responstid skal velges slik at brannvann er tilgjengelig i tid nok til at systemet utfører sin tiltenkte funksjon (NORSOK Standard S-001 2008). NORDSOK fra 2000 hadde et krav om responstid på 30 sekunder (NORSOK Standard S-001 2000). I tillegg til gitte standarder kan selskaper, ha egne standarder når det gjelder designkrav til tekniske system til bruk på deres offshore installasjoner.

Aktuelle problemstillinger knyttet til sikkerhet for brannvannsystemet som blir beskrevet av Norsk olje og gass er korrosjon, marin begroing og fremmedlegemer. Korrosjon kan føre til at små deler fra caissonen løsner og suges inn i pumpa og forårsaker innsnevring og fortetninger. Marin begroing, som blåskjell og sjøgress, kan føre til innsnevring av innløpet. Ved installasjon og modifisering er det et erfaringsmessig problem at isolasjonssvamper, sveiseelektroder, transportplugg og blindspader etc blir gjemt igjen og blokkerer vannstrømmen i brannvannsystemet (Norsk olje & gass 2015)

2.2.2 Miljø

Registrering av ilanddrevne fugler på Jærstrendene i Rogaland har vist enkeltår med store andeler oljetilgriset sjøfugl, men registreringene viser stor variasjon i andel oljeskadet sjøfugl mellom ulike år. Småutslipp av olje kan være en viktig påvirkningsfaktor for sjøfugl (Klima og forurensningsdirektoratet 2012). I Miljørapporten for 2017 blir det sagt at utslipp til sjø består hovedsakelig av produsert vann, produsert vann som kommer opp sammen med oljen (Norsk olje & gass 2017).

Miljø defineres som påvirkning på ytre miljø. Miljødirektoratet regulerer enkeltaktivitetene på norsk sokkel og all petroleumsvirksomhet som vil eller kan medføre forurensning må ha tillatelse (Miljødirektoratet 2016b). Rammeforskriften § 11 spesifiser at skade eller fare for skade på det ytre miljøet skal forhindres eller begrenses i tråd med lovgivingen, og at risikoen deretter skal reduseres ytterligere så langt det er teknisk og økonomisk mulig (Petroleumstilsynet et al. 2016). Kjemikalier brukt i petroleumsindustrien er klassifisert i fargekategorier etter giftighet, potensiale oppkonsentrasjon i næringskjeden og nedbrytingstid, definisjonene er vist i tabell 1.

Tabell 1 Definisjoner for miljøkategorier (Miljødirektoratet 2016e)

	Definisjon
Svart	Inneholder lite nedbrytbare stoffer og skal i utgangspunktet ikke tillates for utslipp
Rød	Kjemikalier som er potensielt miljøskadelig og som bør skiftes ut
Gul	Kjemikalier som er i bruk, men som ikke er dekket av noen av de andre kategoriene
Grønn	Kjemikalier som står på Ospar Plonor-liste, og som er vurdert til å ha ingen eller svært liten negativ miljøeffekt

Svart kategori inneholder stoffer som er lite nedbrytbare og samtidig viser stort potensiale for bioakkumulering eller er svært akutt giftige. Tillatelse til bruk og utslipp gis dersom det er nødvendig av sikkerhetsmessige og tekniske grunner. I 2015 ble det sluppet ut 6,5 tonn i svart kategori, dette er 0,004 prosent av det totale kjemikalieutslippet fra olje- og gassvirksomheten (Miljødirektoratet 2016d).

Stoff i rød kategori brytes sakte ned i det marine miljøet og viser potensialet og/ eller er akutt giftige. I 2015 ble det sluppet ut 67 tonn i rød kategori, dette er en økning fra året før. Økningen skyldes i stor grad at natrium hypokloritt, et antibegroingsmiddel, er omklassifisert fra gul til rød. Kravet om rapportering gjelder fra 2016, men noen operatører har valgt å gjøre dette allerede fra 2015. Flere operatører framstiller natriumhypokloritt i egne anlegg på plattformen ved elektrolyse av sjøvann. Forbruk og utslipp av egenprodusert natriumhypokloritt er ikke omfattet av kjemikalierreporteringen (Miljødirektoratet 2016a)

Ved bruk og utslipp av beredskapskjemikalier skal mengde og bruksområde oppgis og kommenteres. All forbruk og utslipp av kjemikalier skal rapporteres, også forbruk av kjemikalier i lukkede system som ikke går til utslipp til sjø og med forbruk over 3000 kg per innretning per år. Kjemikalier i lukkede system skal rapporteres som hjelpekjemikalier. Forbruk og utslipp i forhold til tillatelsen må kommenteres (Miljødirektoratet 2016e)

Hydraulikkvæsken Mereta 32 var i 2015, med et utslipp på 750 kg på listen over stoff som bidrar mest til svart utslipp (Miljødirektoratet 2016a). Dette er en olje som brukes i flere hydrauliske og elektriske oljefylte brannvannspumper. De fleste hydraulikkoljer som brukes i brann- og sjøvannsystemer i dag er i svart eller rød kategori. Hydraulikkoljer i lukkede system har egne retningslinjer for rapportering som sier at hydraulikkoljer i lukkede systemer

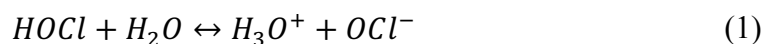
med forbruk på mindre enn 3000 kg per år rapporteres som hjelpekjemikalier (Miljødirektoratet 2016e). Elektriske motorer er enten fylt med olje, som er i svart eller rød kategori, eller glykol som er i grønn kategori. Miljødirektoratet fastsetter ikke utslippsgrenser for stoff i grønn kategori, men fortsetter at operatørene jobber for å minimere utslippet.

Miljødirektoratet gav i 2016 ut en statusrapport om ”arbeid mot nullutslipp til sjø fra petroleumsvirksomhet offshore”. I denne kommer det frem at ”Miljødirektoratet de senere årene har avdekket informasjon om flere potensielle kilder til utslipp, som av ulike grunner ikke har vært ansett som oppfattet av vår regulering. [...] Dette gjelder blant annet utslipp av stoff i svart kategori som følge av bruk av smøremidler i neddykkede pumper.”

Konsekvensene av dette er at det ikke er blitt søkt om tillatelse eller rapportert bruk og/eller utslipp.

Natriumhypokloritt

Natriumhypokloritt brukes i sjøvannsystem som biocid for å forhindre marin begroing og er klassifisert som meget giftig for vannlevende organismer. Natriumhypokloritt er i høy grad kjemisk ustabil og vil desintegre til ioner i løpet av kort tid. Det er frie klorioner som er giftig for vannlevende organismer. For at biocidet skal ha full effekt bestemmes doseringen basert på frie klorioner i utløpet, frie klorioner bekrefter at biocidet ikke er «brukt opp» halvveis i systemet.



Flere leverandører framstiller natriumhypokloritt i egne anlegg ved elektrolyse av sjøvann. Forbruk og utslipp av egenprodusert natriumhypokloritt er ikke omfattet av kjemikalierapporteringen (Miljødirektoratet 2016a).

Diesel

Brannvannspumper testes ukentlig i mellom 30 og 60 minutter. Testkjøring av pumpene vil føre til utslipp til luft fra dieselmotoren. Dieselmotorene vil ha et utslippsforhold mellom brenn diesel og CO₂ etter likningen

$$1 \text{ kg diesel} \rightarrow 3,16 \text{ kg CO}_2 \quad (2)$$

Eksempel på levert dieselmotor er til GjØa fra leverandØren MTU, som er et Rolls-Royce datterselskap. Til GjØa ble det levert 4 motor av typen P83 20V 4000 sammen generator med en ytelse pÅ 2800 kW. Dette forsyner den kraftigste typen brannvannspumper (MTU 2011). Motorens dieselforbruk er oppgitt til 215 g/kWh, som tilsvarer 726 liter per time.(MTU 2017). Med en slik motor vil testing av fire brannvannspumper i 30 min per uke vil føre til 198 tonn CO₂-utslipp. I 2016 slapp GjØa samlet ut 278 tonn CO₂ fra kjøring av motorer (Engie 2017b).

2.2.3 Helse

Eksponering for kjemiske forbindelser gjennom luft eller hudkontakt kan ha akutt eller langtidsvirkende negativ helseeffekt for arbeidere ombord pÅ offshore installasjoner. Safe etterlyste i 2015 behov for reell registrering av kreftforekomst hos offshorearbeidere og setter spØrsmål med hva konsekvensene av manglende oversikt medfører (Erikstein 2015).

Petroleumstilsynets risikorapport fra 2015 viser til en negativ utvikling i kjemikalieaspektets fareprofil og bare en av tre produksjonsinnretninger har etablert forpliktende planer for reduksjon av kjemikalieeksponering (Petroleumstilsynet 2015).

Hydraulikkoljer/vÆsker og turbinoljer er en svÆrt sammensatt kjemisk gruppe med et bredt spekter av tilsetningsstoffer. Yrkesmessig eksponering for syntetiske og mineralske baseoljer kan i seg selv utgjØre en helserisiko ved direkte kontakt eller innånding av aerosoler som kan resultere i sykdommer som dermatitt, bronkitt og astma. I tillegg kan tilsetningsstoffer som organofosfater gi toksikologiske effekter (Solbu et al. 2011)

Organofosfater utgjør en stor gruppe med komponenter blir brukt som tilsetningsstoff for å forbedre bruksegenskaper, spesielt smørende egenskaper under høyt trykk. Statens arbeidsmiljø institutt, STAMI, sin rapport ”Vurdering av helseeffekter ved eksponering for hydraulikkoljer/-væsker og turbinoljer” sier i sin konklusjon er godt kjent at eksponering for spesielt triortokresylfosfat kan føre til nerveskader. Det nevnes også en studie som støtter hypotesen om at fosfatestere som tilsetningsstoffer i hydraulikkoljer kan fremkalle MS-liknende sykdomsbilder. (Øvrebø et al. 2003).

SINTEFs rapport ”Organofosfater – en trussel mot arbeidstakerens helse?” viser til at det ikke er krav om at merkeetikett eller HMS-datablad for hydraulikkoljer/væsker skal ha fullstendig opplysning om sammensetning. Dette skaper kunnskapshull om produktgruppen og mangelfullt historisk grunnlag. Det foreligger og svært begrensede kunnskaper om sammenheng mellom eksponering for organofosfater i hydraulikk- og turbinoljer og helseeffekter (Bjørseth & Paulsen 2003).

De mest undersøkte eksponeringstilfellene av organofosfat er når kjemikalet er benyttet i plantevernmidler eller krigsgass. Symptomer på organofosfatforgiftning kan være hodepine, kvalme, svimmelhet, skjelving, bevissthetsforstyrrelser, spytt- og tåresekresjon, krampe, koma og død. Symptomer på forsinket nevropati er en sviktende evne til å samordne muskelbevegelser og lammelse. Symptomene viser seg først 7-28 dager etter eksponering.

Det er ikke funnet dokumentasjon om eksponering for organofosfater i olje og gass industrien fra hydraulikk og turbinoljer. I olje og gassindustrien er organofosfater først og fremst benyttet i smøre oljer i turbiner, da dreier det seg om isopropylert fenylfosfat (IPPP), TCP og TPP. Organofosfater er mindre vanlig i de hydraulikkoljene som typisk blir brukt på offshore installasjoner (Solbu et al. 2011).

Glykol

Monoetylen glykol (MEG) er kjemikaliet som brukes i vann-glykolfylte el-motorer. Undersøkelser av eksponering for glykol er presentert i «Etylene glykol, menneskelige helseaspekter». Ulike eksponeringsforsøk er utført på rotter og mus. Forsøkene viser til skjelettvariasjoner som ekstra ribbein og hodedeformasjoner. Eksponeringen foregår 6 timer til dagen over en 6-15 dagers periode, etylenglykol inntas ved sondring, eksponering og inhalering.

Konsentrasjonene varierer fra 100 til 3000 mg etylenglykol per kg kroppsvekt per dag (World Health Organization 2002). Forsøkene vil ikke gjenspeile en normal arbeidssituasjon, MEG damper ikke ved romtemperatur og hudeksponering er moderat og unngås ved hansker.

2.3 Tidligere studier

Tidligere studier presenterer casestudier som tidligere er blitt utført. Kunnskap kan overføres fra andre pumpetyper med lignende bruksområder og design og fra systemer med mulighet for elektrisk eller hydraulisk drivenhet.

2.3.1 Brannvannspumper

Hydraulisk design eliminerer risikoen for at brann avskjærer strømforsyningen til neddykket elektrisk motor. Man eliminerer også den elektriske motoren som kan være vanskelig å vedlikeholde og kan lide av isolasjonsproblemer og slitasje på opplager over tid. Fordelen med hydraulisk kraftoverføring er muligheten til å ha systemet kontinuerlig i drift ved lav hastighet, dette reduserer marin begroing og opprettholder temperaturen i systemet.

Det blir påpekt at elektriske og direkte dieseldrevne brannvannspumper er mer pålitelige i en brann. Men vil ha lengre utilgjengelige perioder knyttet til tid- og kostnadskrevende vedlikehold. Artikkelen er skrevet av ansatte i Sulzer Pumps en leverandør av hydrauliske brannvannspumper (Menin & Iguama 2006).

2.3.2 Cargopumper

Cargopumper brukes blant annet til å forflytte flytende cargo på lasteskip. Deltamarin utførte i 2007 en casestudie med sammenlikning av deepwell cargopumper. Studien sammenligner hydraulisk cargopumpe med neddykket motor og elektriske pumper med tørroppstilt motor. Sammenlikningen tar utgangspunkt i tre ulike fartøy. Studien konkluderer med at elektriske cargopumper er mer energieffektive, drivstoff-forbruket er 11-17 % lavere. Hydrauliske system er kjent for en høyfrekvent lyd og krever mer plass utenfor cargoområdet. Elektriske cargopumper er mer miljøvennlig og har ingen risiko for utslipp av hydraulikkolje (Deltamarin 2007).

2.3.2 Hydraulisk vs. elektrisk drivkraft for drillingutstyr

I en sammenligningsstudie av hydraulisk og elektrisk driv for drillingutstyr konkluderer med at elektrisk drivkraft er mer miljøvennlig, bruker mindre energi og har et lavere støynivå. Hydrauliske system har risiko for lekkasje. (Witold et al. 2016)

2.4.3 Miljøvurdering av hydraulikkoljen Shell turbo 32

I 2013 utførte Aquateam – norsk vannteknologisk senter en miljørisikovurdering av Shell Turbo T32 etter større utslipp fra Draugen plattformen. Konklusjonen er at hovedkomponentene har en bionedbrytbarhet på >20%, ikke giftig, men oljen har potensiale for bioakkumulering. Stoffets lave vannløselighet medfører at baseoljen er lite tilgjengelig for organismer som lever i åpent hav. Oljen vil derimot kunne feste seg til partikler og ende opp i sedimentene hvor bioakkumulering via sedimentpisere er mulig. Miljørisikoen ved bruk av Turbo 32 anses som neglisjerbar (Aquateam 2013).

3. Sammenlikning av hydraulisk og elektrisk løsning

Tekniske evalueringen baserer seg på datainnsamling. Datainnsamlingen utgjør sammen med litteraturstudiet grunnlaget for evalueringen av de to pumpeløsningene.

3.1 Datainnsamling

Data er hentet fra Petroleumstilsynet, OREDA og Miljødirektoratet. Petroleumstilsynet er et selvstendig statlig tilsynsorgan med myndighetsansvar for sikkerhet, beredskap og arbeidsmiljø i petroleumsvirksomheten på hele den norske kontinentalsokkelen.

Petroleumstilsynet gir hvert år ut «Risikonivå i petroleumsvirksomheten norsk sokkel (RNNP)». RNNP ble igangsatt i 1999/2000 for å utvikle og anvende et måleverktøy som viser utviklingen i risikonivået på norsk sokkel. Bransjekravet for feil ved start for brannvannspumper er 0,005 % og RNNP presenterer en oversikt over feilprosent ved starttest (Petroleumstilsynet 2016).

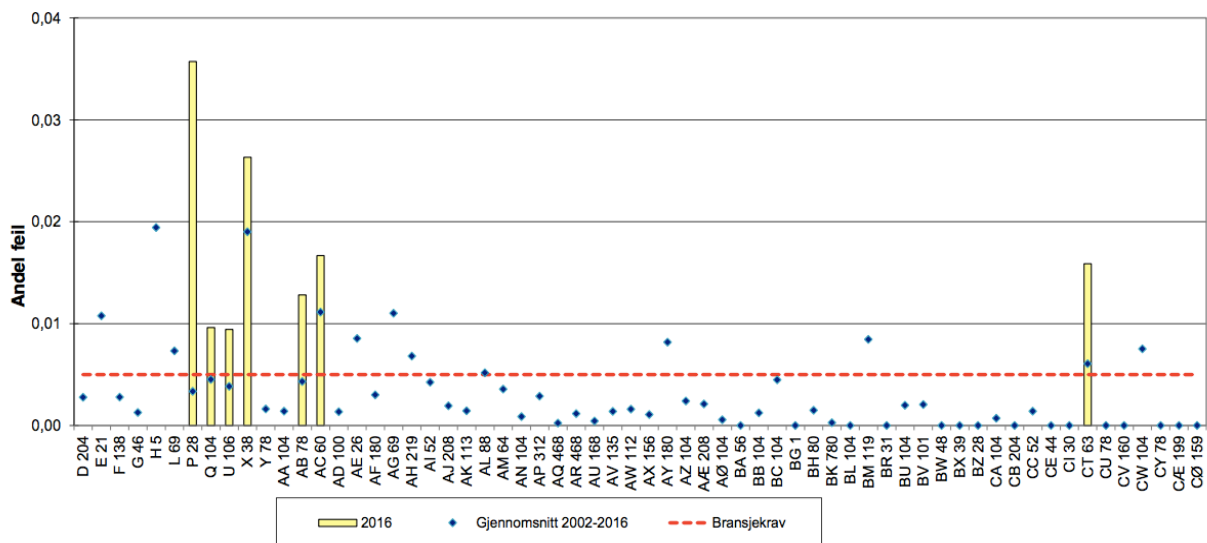
Offshore reliability data, OREDA er et samarbeid mellom flere aktører fra olje- og gass industrien og DNV GL. Selve håndboken er utarbeidet av SINTEF og NTNU (2015). OREDA prosjektet startet i 1981 og første utgave av OREDA-håndboken kom i 1984. Prosjektets mål er å bidra med informasjon som forbedrer sikkerheten og kostnadseffektive for designløsninger basert på analyse av innsamlede data. Datainnsamlingen foregår i et vindu på typisk 2-4 år. Kun generiske data er publisert i den offentlige håndboken, all informasjon er anonymisert (SINTEF & NTNU 2015)

Miljødirektoratet regulerer enkeltaktivitetene på norsk sokkel og all petroleumsvirksomhet som vil eller kan medføre forurensing må ha tillatelse. Søknadene utformes av operatørene og vedtak fattes av Miljødirektoratet. Søknadene skal inneholde informasjon som lekkasjerater fra brannvannspumper, utslipp av natriumhypokloritt og planer om substituering av kjemikalier. Etter avdekkingen i 2016 om manglende oversikt fra neddykkede sjøvannspumper ble det 20.02.17 sendt ut et brev til operatører på norsk sokkel med oppfordring om å rapportere lekkasjerater fra neddykkede pumper og rapportere inn antall driftstimer og hvilke pumpetyper de ulike operatørene benytter.

3.2 Resultat

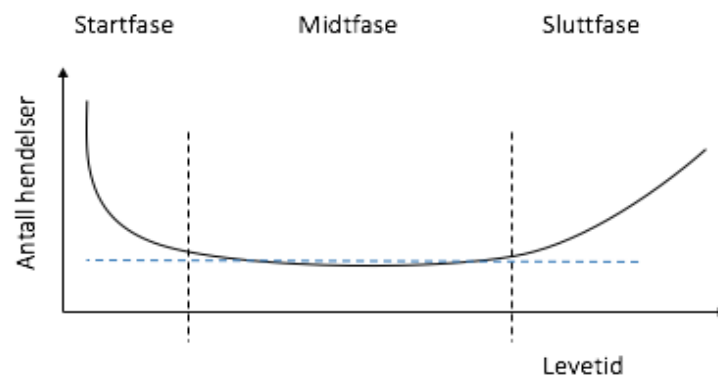
Figur 8 viser andel feil for starttester med resultater fra 2016 og gjennomsnitt for perioden 2002-2016. I 2016 ble det gjennomført rundt 7500 starttester på 62 innretninger av disse lå 89 % under bransjekravet på 0,005% feil. Installasjoner som har vært i drift i mer enn 6-10 år har en signifikant lavere andel feil for starttest av brannpumper i perioden 2011-2016 (Petroleumstilsynet 2016). I 2015 var det ingen signifikant forskjell mellom installasjoner som tilhører ulike aldersgrupper.

I 2016 lå 7 innretninger over bransjekravet på 0,005 % feil og 13 innretninger med gjennomsnittsverdi over bransjekravet for perioden 2002- 2016. For 2015 lå 11 innretninger over bransjekravet og 12 innretninger for perioden 2002- 2015, dette er en igjen en økning sammenliknet med 2014 og 2013 (Petroleumstilsynet 2015).



Figur 8 Viser oversikt over antatt feil under starttest. På x-aksen er installasjoner, søylene viser feilprosent for 2016, punktene viser gjennomsnittet for 2002-2016.

Feilratene fra OREDA er hentet fra midtfasen i komponentenes levetid hvor antall hendelser er tilnærmet konstant med hensyn på tid. Feil fra startfasen, eller innkjøringsfasen, og fra slutfasen, er ikke inkludert (figur 9). Antall feil er oppgitt i per 10^6 timer for komponentene i driftstilstand. Estimeringsprosessen for feilratene er vist i vedlegg A. I tabell 2 er definisjoner på ord som er brukt vist.



Figur 9 Grafen viser antall feil forventet i de ulike fasene av komponenters levetid

Tabell 2: Ordforklaringer fra OREDA

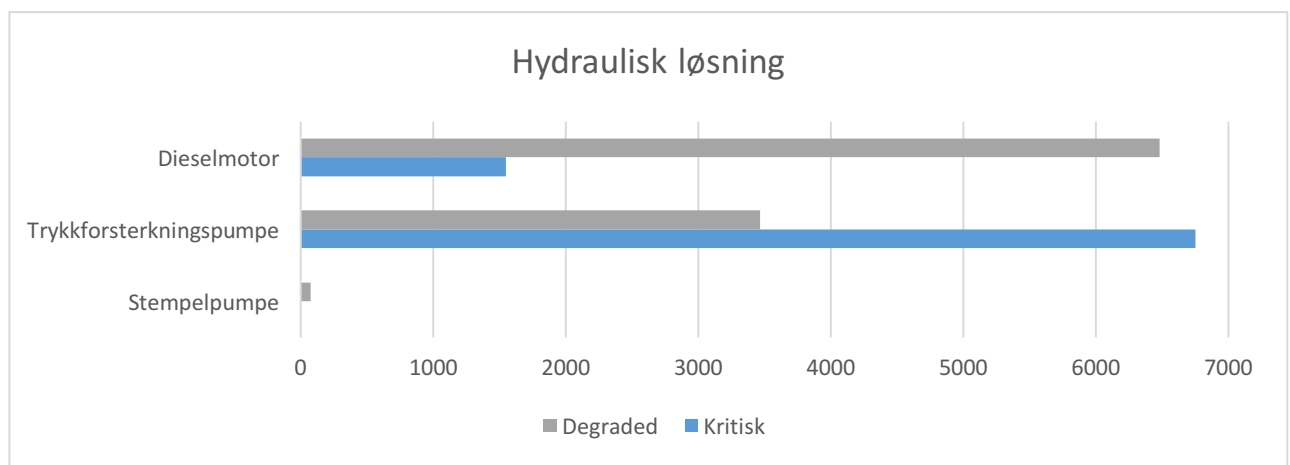
	Definisjon
Kritisk feil	Momentan feil som forårsaker fullstendig tap av komponentens funksjon
Degradert feil	En feil som hindrer komponenten i å levere tilstrekkelig i henhold til spesifikasjonskravene

Hydraulisk brannvannspumpe

Feilratene for komponenter tilhørende hydraulisk brannvanns løsning er vist på figur 10, tabell 3 viser antall komponenter estimeringen av feilratene baserer seg på. Dataene er basert på utgaven fra 2015, feilrate for hydraulisk neddykket motor er ikke publisert i håndboken. Stempelpumpe er en del av hydraulikkaggregatet.

Tabell 3: Antall komponenter datagrunnlaget feilrateestimatene for hydraulisk brannvannspumpe baserer seg på

2015	Installasjoner	Antall
Dieselmotor	10	36
Trykkforsterkningspumpe	12	41
Stempelpumpe	6	1



Figur 10: Feilratestrimat for hydraulisk løsning, x-aksen viser antall per 10^6 time

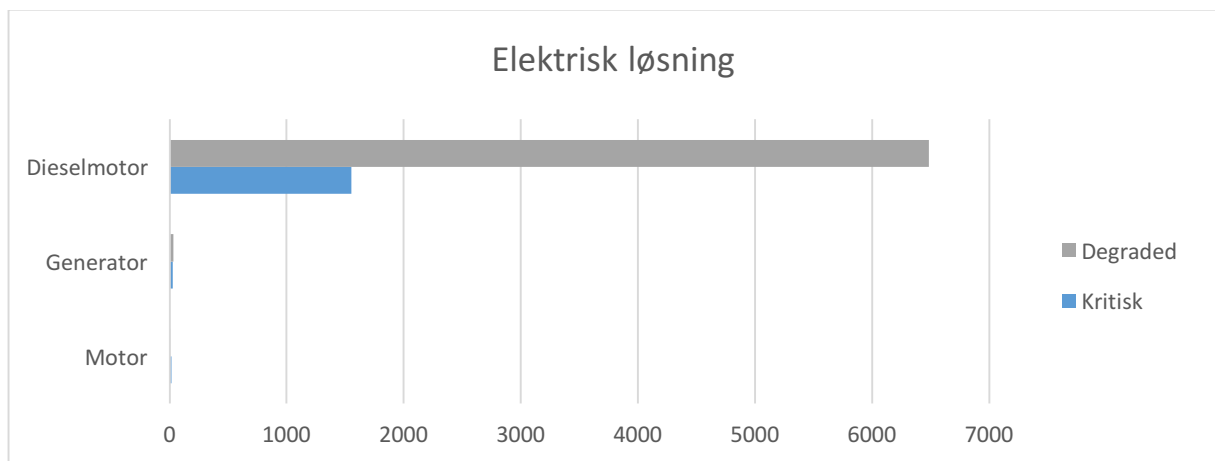
Trykkforsterkningspumpa, er hovedårsaken til kritiske feil for det hydrauliske systemet og har 0,006 kritiske feil per time. Dieselmotoren har en feilrate på 0,0015. Samlet vil det hydrauliske systemet ha en feilrate på 0,0075 feil per time. Hovedårsaker til kritiske feil for trykkforsterkningspumpa er lekkasje, startfeil og uregelmessig leveranse, for stempelpumpa er hovedårsakene til kritiske feil lekkasje og parameteravvik. For dieselmotoren er hovedårsakene startfeil, stoppfeil og overoppheting.

Elektrisk brannvannspumpe

Feilratene for komponenter tilhørende elektrisk brannvanns løsning er vist på figur 11, tabell 4 viser antall komponenter estimeringen av feilratene baserer seg på. Dataene er basert på utgaven fra 2015.

Tabell 4: Antall komponenter datagrunnlaget feilrateestimatene for elektrisk brannvannspumpe baserer seg på

2015	Installasjoner	Antall
Dieselmotor	10	36
Generator	3	9
Elektrisk motor med pumpe	3	11



Figur 11: Feilrateestimat for elektrisk løsning, x aksen viser antall per 10^6 time.

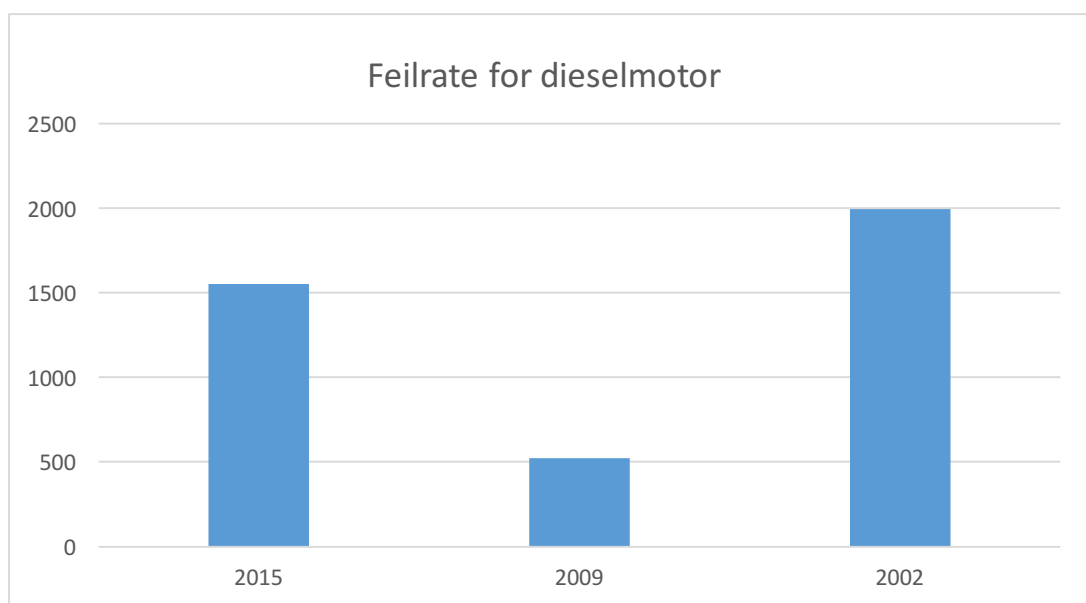
Dieselmotoren er hovedkilden til kritiske feil for elektrisk brannvannsystem og utgjør 0,0015 kritiske feil per time, generatoren har 0,00003 kritiske feil per time og anses som tilnærmet null. Feilraten for elektrisk system per time vil da være lik som for dieselmotoren med 0,0015 feil per time.

Dieselmotor

Figur 12 viser feilrate for dieselmotor med funksjon til å drive brannvannspumper fra de siste 3 utgavene av OREDA-håndboken. Tabell 5 viser antall installasjoner og dieselmotorer estimatene er basert på.

Tabell 5: Antall installasjoner og komponenter feilrateestimatene fra 2002, 2009 og 2015 for dieselmotor baserer seg på.

Dieselmotor	Installasjoner	Antall
2002	4	8
2009	9	27
2015	10	36



Figur 12: Feilrate estimat for dieselmotor som driver for brannvannspumper y-aksen vises gjennomsnittlig feilrate for kritiske feil per 10^6 time i drift

3.2.3 Feilrater for sjøvannspumper

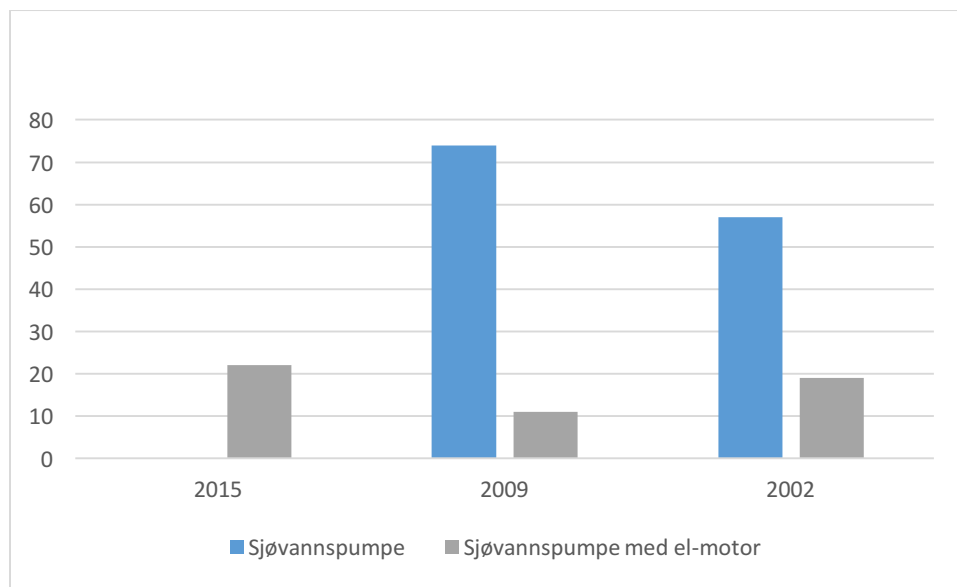
Sjøvannspumper er delt opp i to kategorier «sjøvannspumpe» som ikke inkluderer driver og «elektrisk motor som driver sjøvannspumpe». Tabell 4 viser antall installasjoner og antall komponenter datagrunnlaget for feilratene baserer seg på. Figur 12 presenterer en sammenlikning mellom gjennomsnittlig feilrate for sjøvannspumper, hvor drivenhet ikke er inkludert, og sjøvannspumper drevet av el-motor.

Tabell 6 Antall installasjoner og pumper feilrate for 2002-2015 baserer seg på

2002	Installasjoner	Antall
Sjøvannspumpe	7	33
Sjøvannspumpe med elektrisk motor	4	18

2009	Installasjoner	Antall
Sjøvannspumpe	4	16
Sjøvannspumpe med elektrisk motor	4	16

2015	Installasjoner	Antall
Sjøvannspumpe	1	1
Sjøvannspumpe med elektrisk motor	1	3



Figur 13: Oversikt over antall feil for sjøvannspumper fra OREDA 2002-2015 på y-aksen vises gjennomsnittlig feilrate for kritiske feil per 10^6 time i drift

3.2.3 Utslipp fra brann- og sjøvannspumper

Resultatet fra Miljødirektoratets oppfordring til operatører om å rapportere utslipp av smøreolje fra neddykkede brann- og sjøvannspumper ble svar fra 11 operatører og 255 rapporterte brann- og sjøvannspumper. Brevet er vist i vedlegg B.

Det er en leverandør som blir ansett som aktuelle for smøremiddelutslipp (Jødestøl 2017). Leverandøren leverer både hydrauliske og elektriske oljefylte neddykkede sjøvannspumper. Av 255 pumper var 120 fra denne leverandøren. Disse er igjen fordelt på er enn 20 typebetingelser. Informasjonen som Miljødirektoratet har mottatt varierer i innhold og detaljgrad. Av de operatørene som inkluderte hvilken smøreolje som blir benyttet ble rapportert 18 forskjellige typer smøreoljer rapportert. De aller fleste inneholder stoff i svart og rød miljøkategori. Den mest brukte smøreoljen er Statoil Mereta 32 som er i svart kategori.

Miljødirektoratets anslag basert på tilbakemeldingene fra operatørene er et utslipp på 5,9 tonn stoff i svart miljøkategori per år. Til sammen ble det rapportert utslipp av 3,6 tonn svart kjemikalie fra hele norsk sokkel i 2016. Resultatet av rapporteringen av smøremiddelutslipp fra neddykkede pumper er at utslipp av stoff i svart miljøkategori på norsk sokkel er 164 % høyere enn antatt i 2016.

Fra utslippsestimat fra brann- og sjøvannspumper hentet fra Martin Linge oppgis fordelingen av utslipp mellom de ulike pumpetypene. De 3 hydrauliske brannvannspumper vil ha høyere utslipp enn 4 elektrisk glykolfylte (Total E&P Norge AS 2017).

Tabell 7 Utslippsestimat Martin Linge (Total E&P Norge AS 2017)

	Type	Antall	Utslipp [liter/år]
Brannvannpumpe	Elektrisk vann-glykolfylt	4	120
Brannvannpumpe	Hydraulisk	3	150
Sjøvannpumpe	Hydraulisk	4*	500

*1 pumpe vil være i kontinuerlig drift, 3 pumper vil være i stand-by.

Utslipp av natriumhypokloritt må rapporteres dersom ikke installasjonen selv produserer det ved elektrolyse. Tabell 8 viser utslipp fra Valhall.

Tabell 8 Utslipp i de ulike miljøkategoriene og totalutslippet av natriumhypokloritt fra Valhall, utslippene er oppgitt i kg per år (BP Norge AS 2016)

	Total	Rød	Gul	Grønn
Natriumhypokloritt	139 998	20 791	4 158	115 049

Natriumhypokloritt er sammensatt av 14,9 % rødt kjemikalie 3,0 % gult og 82,2 % grønt kjemikalie, og rapporteres med utslipp i de forskjellige kategoriene. BP Norge har satt natriumhypokloritt på substitusjonsplanen, men presiserer at det ikke er aktuelt å erstatte produktet med et alternativ som ikke innehar tilsvarende veksthemmende egenskaper (BP Norge AS 2016). Andre operatører som ConocoPhillips leter ikke aktivt etter alternativer (ConocoPhillips 2017).

3.2.3 Tiltak for reduksjon utslipp av stoff i svart miljøkategori

På Gjøa Semi er det installert 4 brannvannspumper, 3 sjøvannsløftpumper og 2 hjelpepumper i tilfelle strømstans, alle av typen elektriske med oljefylt motor. To sjøvannsløftpumper går kontinuerlig og brann- og hjelpepumper har automatisk start/stop. For pumper i stand-by modus vil smøreoljen legge seg øverst i vannspeilet inne i caissonen, bølger og strømninger i vannet vil kunne vaske ut en del av oljen. Når pumpa er i drift vil smøreoljen suges direkte inn i pumpen sammen med sjøvannet og vil bli sluppet ut til sjø via åpent avløp etter at sjøvannet er brukt til kjøling. I perioden 2011-2015 var forbruket av smøreolje på Gjøa 9134 liter av dette ble 41 % ble sluppet til sjø. Smøreoljen er av typen Shell Mereta 32.

Leverandøren Shell Fuel & Retail Lubricants uttalelse til operatøren Enige var at oljen mest sannsynlig inneholder hovedsakelig røde kjemikalier, over 97% og resten svarte komponenter. Antagelsen baserer seg på at man på det tidspunkt antok at smøreoljen var klassifisert som rød og ikke svart. Høsten 2015 ble miljøklassifisering utarbeidet for Mereta 32. De økotoksiologiske egenskapene av smøreoljen viste at andelen svart stoff utgjorde 90,8% og andelen rødt stoff 9,2%. Gitt denne informasjonen igangsatte ENGIE E&P en dybdestudie for å evaluere tekniske løsninger for å unngå utslipp til sjø eller minimere utslipp av svarte komponenter.

Mulige tiltak:

- ”Tørre” pumper, disse er ikke anbefalt fordi Gjøra Semi er en flytende installasjon.
- Glykol-fylte motorer, denne løsningen innebærer å bytte ut alle pumpene og totalkostnaden for prosjektet er estimert til 90 MNOK.
- Redusere overtrykket inne i motoren, løsningen medfører stor sikkerhetsrisiko for at sjøvann lekker inn i motoren og forårsaker kortslutning.
- Bytte ut Mereta 32 med en mer miljøvennlig smøreolje eller lavere andel svart komponenter.
-

For å bytte ut smøreolje må pumpen stoppes og låses for å hindre oppstart. Gammel smøreolje trykkes ut ved hjelp av en oljepumpe og erstattes av den nye smøreoljen. Kostnaden for å skifte ut olje på alle de 9 pumpene på Gjøa er estimert til 1 MNOK. Beslutningen fra Gjøa er å bytte ut Shell Mereta 32 med Shell Turbo 32 hvor andelen svarte komponenter er på 0,36 % og resterende 99,6 % er rødt. Produktet er klassifisert som rødt. Dette byttet gir en reduksjon i utslipp på 568 kg svart stoff per år (Engie 2017a). Vedtaket fra Miljødirektoratet inneholdt godkjenning om bruk av Shell Turbo 32, men avslag på søknad om bruk av Mereta 32 (Miljødirektoratet 2016c).

Valhall

Valhall har 5 elektrisk drevne sjøvannspumper og bruker smøreoljen Mereta 32. Sjøvannspumpene brukes blant annet til å pumpe opp drikkevann. Alle pumpene har lekkasjerater innenfor fabrikantens spesifikasjoner. I følge leverandør må det normalt forventes 5-70 ml utslipp per time. Pumper med et høyt forbruk selv innenfor fabrikkspesifikasjonene gir utfordringer med å klassifisere vannet som drikkevann (BP Norge AS 2016). Forventet utslipp per år fra Valhall er 350 kg smøremiddel. Pumpeleverandør jobber med en bedre mekanisk tetning som skal kunne ettermonteres på pumper. I tillegg jobbes det med å bytte ut mineraloljen med en esterolje i gul miljøkategori (AkerBP 2017).

3.3 Diskusjon

3.3.1 Sikkerhet

For brannvannspumper er sikkerhet et veldig viktig element. Resultatene fra OREDA er basert på observasjoner fra ulikt antall installasjoner og komponenter, og knyttet til stor usikkerhet. For det elektriske systemet vil dieselmotoren være den største kilden til feil for systemet. Trykkforsterkningspumpa står for en stor andel av feilene i det hydrauliske systemet, men samtidig er dette datagrunnlaget basert på flere komponenten en de andre. Trykkforsterkningspumpa er en lett tilgjengelig tørroppstilt komponent. Reparasjon og vedlikehold av trykkforsterkningspumpa vil være mindre krevende sammenliknet med neddykket motor hvor man må trekke opp hele pumpa. En indikasjon som kan trekkes fra resultatene er at dieselmotoren står for en stor andel av feilene. Det er antatt at feilraten for dieselmotoren vil være lik uavhengig av hvilket system det er koblet til. Oversikten over antall feil fra motorene viser at det er stor variasjon i perioden 2002-2015.

I Petroleumstilsynets oversikt i RNNP over starttester er det ikke skilt mellom teknisk løsning for brannvannspumpene. Dette tyder på at det er liten forskjell mellom feil under start for løsningene. I RNNP fremkommer det at de aller fleste installasjoner ligger under bransjekravet på 0,005% feil for starttest. Resultatene indikerer på at antall feil for starttester har økt de siste årene. Dette kan ha sammenheng med oljeprisfall og mangel på vedlikehold, men det er for lite grunnlag til å trekke noen konklusjon.

OREDA presenterer data fra midtfasen i komponentenes levetid, hvor antall feil tilnærmet konstant. Dette gjør at datasettet mangler feilrater fra innkjøringsprosessen og feil som oppstår under installasjon.. Datagrunnlaget fra OREDA baserer seg på ulikt antall pumper som er observert. Brann- og sjøvannspumper vedlikeholdes hvert 5 år og det er ikke sikkert at noen av pumpene har vært vedlikeholdt i tidsrommet observasjonene ble gjort. Dette gir en stor svakhet i dataene som er brukt. Erfaringer fra leverandører og fra Norsk olje og gass viser til at det er under installasjon og vedlikehold feil oppstår. RNNP viser til at brannpumper som har vært i drift 6-11 år har vesentlig lavere andel startfeil enn yngre brannpumper. Om feil fra startfasen av komponentenes levetid inkluderes kan dette gi et annet bilde av de to løsningene. Data presentert for sjøvannspumper i OREDA er en kategori "sjøvannspumper" uten driver og en kategori "sjøvannspumper tilknyttet elektrisk motor". Sammenlikning av disse to gruppene viser på at det er færre feil knyttet til sjøvannspumper med elektrisk motor som

driver. Det knyttes usikkerhet til hva som er rapportert i de to kategoriene siden den ene ikke inkluderer driver kan denne og inneholde elektriske pumper. Sjøvannspumper er ikke kritisk med tanke på sikkerhet i forhold til brann eller andre ulykker.

Feilratene i OREDA-håndboken er oppgitt i per 10^6 timer, det tilsvarer 114 år. I sammenlikningen er det valgt å ta utgangspunkt i feilraten for 10^6 timer i drift siden det anses som mest sammenlignbart, spesielt med tanke på brannvannspumper som ikke er i kontinuerlig drift og at sjøvannspumper kan være satt i stand-by modus. 114 år strekker seg langt ut over komponentenes levetid.

Pålitelighet i en brann

De to pumpeløsningene vil ha forskjellig pålitelighet i et branntilfelle. Hydrauliske pumper har hydraulikkslanger ”oppe i dagen” som kan stå i fare for å bli skadet i en brann. Dette vil medføre umiddelbar stans av pumpa. Elektrisk brannvannpumpe med glykolfylt motor kan fungere uten glykol i topptanken så lenge det er glykol i slangen ned til motoren. Sulzers casestudie på brannvannspumper påpeker at elektrisk løsning er mer pålitelig i en brann.

Hydraulisk kraftoverføring er ikke sensitiv for skjevheter eller forskyvninger i systemet dette kan være en fordel i en eksplosjon. Samtidig kan containeren med dieselmotor og generatoren settes i mindre eksplosjonsfarlige områder for elektrisk pumpeløsning.

Studien fra Sulzer påpeker at elektriske pumper vil ha lengre utilgjengelige perioder grunnet tidskrevende vedlikehold. Fra krav til brannvannsbeskyttelse er det gitt at plattformen har minimum to uavhengige brannvannsystem som hver dekker 100% av behovet ved verst tenkelig tilfelle. Dette betyr at om en Pumpe ikke starter eller er ute i vedlikehold vil resterende pumper kunne dekke brannvannsbehovet, selv ved verst tenkelig tilfelle.

Installasjon og vedlikehold

For hydraulisk Pumpe vil man unngå kabelhåndtering under installasjon og vedlikehold. Hydraulikkoljeslangene vil være i senteret av stigerøret som er del opp i flere deler med en hann- og hunnkobling i hver ende. Når vedlikehold skal utføres tappes systemet for hydraulikkolje. Trykkforsterkningspumpa vil være på plattformens dekk og lett tilgjengelig

for vedlikehold. Løsningen med elektriske høyspenningskabler har ikke samme mulighet for å bli delt opp i flere mer håndterlige deler. Høyspenningskabelen er tung, stiv og utsatt for skade på isoleringen, og har en begrenset bøyeradius. For å forenkle arbeidet og risikoen for skade på høyspenningskabelen er det mulig å bruke materialhånderingsverktøy som trommel for å sikre bøyeradiusen.

Leverandører har opplevd utfordringer under installasjon og vedlikehold med kabelhåndtering. Ideelt under installasjon og vedlikehold bør materialhånderingsverktøy brukes. Denne type håndteringsverktøy er utfordrende å utvikle fordi hver installasjonsprosess vil variere med tanke på plattformens design og hvor mye plass som er tilgjengelig. Skade på isolasjonen kan komme av at kabelen har skrappt langs en skarp kant eller andre menneskelige feil. Små skader på isolasjonen kan fikses med å sette på en ”strømpe”, mens større skader fører til at kabelen må byttes ut og motoren må vikles på ny. Det finnes flere håndteringsverktøy utviklet av leverandør for å lette installasjonsprosessen. For å minimere risiko skade på kabelen bør slike håndteringsverktøy tas i bruk under og installasjonsprosesser der kabelen legges ut på dekk bør unngås, men ikke alle operatører ser nytten om de ikke har hatt problemer under installasjon selv.

3.3.2 Miljø

Utslipp av svart kjemikalie og olje har sterk negativ effekt på miljøet. Neddykkede motorer designet med overtrykk vil ha en konstant lekkasje fra pumpene. Utslipp av denne typen har fra operatørens side tidligere ikke blitt ansett som omfattet av regelverket for rapportering av utslipp. Hydraulikkoljer i lukkede system har egne retningslinjer for rapporteringer. Allikevel ble det presisert fra Miljødirektoratet til operatøren så sent som august 2017 at systemer med konstant lekkasjerate ikke blir ansett som et lukket system.

Lekkasje fra neddykket motor vil enten legge seg øverst i caissonen, hvor det kan bli vasket ut av strømmer i sjøen, eller bli sugd inn i pumpa sammen med vannet før det blir sluppet til sjø. Havet er en stor resipient og hver operatør kan ha tenkt at litt utslipp fra en pumpe ikke skader, men samlet utgjør utslippene fra neddykkede pumper flere tonn.

Miljødirektoratets kartlegging av smøremiddelutslipp baserer seg på tilbakemelding fra 11 operatører på norsk sokkel, av varierende innholdsgrad. Resultatet viser at utslippene av svart stoff fra norsk sokkel er 164 % høyere enn antatt i 2016. Økningen skyldes kun at

smøremiddel fra neddykkede brann- og sjøvannspumper levert av én leverandør er tatt med i beregningen. Leverandøren leverer både hydrauliske og oljefylt elektriske neddykkede motorer, begge disse typene er med i beregningen. Det ble rapportert 18 ulike smøremiddel, de aller fleste i svart miljø kategori. Flere av oljene som brukes hadde ikke miljømerkegodkjenning, de vil da automatisk havne i svart kategori, dette kan ha en innvirkning på estimatet gitt av Miljødirektoratet.

Mangelfull rapportering kan komme av at kravet til merking av kjemikaliene i bruk ikke kom før i 2014 for brannvannsystemet og at man har ansett hydrauliske pumper som et lukket system. Retningslinjene for rapportering er omfattende og kan av operatører ha blitt forenklet eller tolket til sin fordel. Det kan også være at de som søker etter utslipp har liten praktisk erfaring med hvordan utstyr oppfører seg i drift. Det kommer det fram i Gjøs søknad i 2016 at de nå skal begynne å loggføre etterfyllingene av smøreolje til neddykkede pumper. Dette har da altså ikke blitt gjort tidligere, dette gjelder sannsynligvis og andre operatører og kan være grunnen til mangelfull informasjon i tilbakemeldingen til Miljødirektoratets etterlysning.

At rapportering av smøremiddelutslipp først i 2017 er blitt undersøkt, gjør at man ikke har historiske data å slutte seg til og mange av årsutslippene er estimert. Bare tre installasjoner hadde i 2016 rapportert og godkjent utslipp fra brann- og sjøvannspumper, av disse hadde allerede en allerede byttet smøre middel til et mer miljøvennlig alternativ.

For å redusere utslipp av svart kjemikalie har installasjoner som Valhall og Gjøa gjort tiltak for å subsidiere smøreoljen Mereta 32 med andre alternativ. Å bytte ut pumpene med glykolfylte alternativ blir ansett som for kostnadskrevenende. Alternativet ble å bytte ut oljen med tilsvarende alternativ med lavere andel svarte komponenter. Dette gir store utslag på hvor mye svart stoff som slippes ut fra installasjonen. For å redusere utslipp i framtiden bør flere følge eksempelet med å subsidiere ut smøremidler med høy andel svart stoff.

Martin Linge plattformen som åpner i 2019 vil ha 3 hydrauliske brannvannspumper, med et utslipp på 150 liter i året, og 4 elektriske glykolfylte med et utslipp på 120 liter i året. Større utslipp fra hydrauliske pumper kan skyldes at man har høyere overtrykk inne i hydrauliske neddykkede motorer eller det at pumpa konstant går med lav hastighet, eller en kombinasjon av begge.

Hypokloritt brukes som et antibegroingsmiddel og ble fra 2016 omklassifisert til rødt kjemikalie. Hypokloritt er kjemisk ustabil og vil raskt løse seg opp i vann, ionene har ingen innvirkning på miljøet, men er veldig akutt giftig. Siden stoffet er i rød kategori skal det på substitusjonslista til offshoreoperatører som bruker stoffet. Uttalelser fra BP er at de har satt det på substitusjonsplanen, men det er ikke aktuelt å bytte ut stoffet med et annet som ikke har samme iboende egenskaper. Hypokloritt brukes nettopp fordi det er giftig og hindrer begroing i systemet. Operatører som produserer hypokloritt ved elektrolyse av sjøvann er ikke rapporteringspliktige for bruk og utslipp.

CO₂ fra dieselmotoren tilknyttet brannvannspumpene står for flere tonn utslipp i året. Datagrunnlaget for å gjøre en virkningsgradsammenlikning anses som for dårlig på grunn av mye hemmelighet fra de ulike leverandørenes side og stor variasjon mellom driftsbetingelser for de ulike pumpene, men generelt vil elektriske pumper ha bedre virkningsgrad. De største kuttene i CO₂- utslipp kan oppnås om man kan klare seg med for eksempel to brannvannspumper i stede for 3, men ut i fra NORSOK standard for brannvannsystemer kan man ikke uten videre øke kapasiteten til over det som er anbefalt bare for å kutte en dieselmotor.

3.3.3 Helse

Kjemikaliebruken offshore som helhet bærer preg av manglende oversikt og konsekvensutredninger. Kjemikalier har ikke krav til fullstendig innholdsoversikt, noe som kan gi et dårlig bilde over hva offshorearbeidere eksponeres for og hvilke konsekvenser eksponeringen har.

Organofosfater som brukes som tilsetningsstoffer i hydraulikk og turbinoljer har varierende grad av toksisitet. Rapportene fra Statens arbeidsmiljøinstitutt og SINTEF sier tydelig at eksponering for enkelte av organofosfatforbindelsene er helseskadelig. Men fordi det ikke er krav til fullstendig merking av innhold i oljene er et helhetlig bilde vanskelig å gi. Det er også nevnt at det er turbinoljer som i hovedtrekk inneholder organofosfater. Shell Turbo T32 er merket som turbinolje.

Selv om kjemikaliene som jobbes med i utgangspunktet er veldig helseskadelige er det viktig å ta i betraktning eksponeringsbildet. Selve pumpen er under vann og aggregatet er ikke et sted man oppholder seg under normal driftssituasjon. Både hydraulikkolje, smøreolje og glykol vil sirkulere i lukkede systemer og kun være til eksponeringsfare ved vedlikehold, etterfylling eller anormale hendelser som lekkasje.

Glykol er merket med grønnkategori fra miljødirektoratet. Dette vil i utgangspunktet indikere at stoffet ikke er giftig og ikke innebærer noen risiko ved eksponering. I studien fra WHO blir mus og rotter eksponert for kjemikalet i høye doser og i enkelte av forsøkene ved sontring. Dette gjenspeiler ikke en normal arbeidssituasjon, væsken damper ikke ved romtemperatur så det er liten fare for inhalering.

Sjøvannspumper benyttes blant annet til å pumpe opp drikkevann. Blir lekkasjeratene av smøremiddel fra den neddykkede motoren for store, selv innenfor fabrikantens spesifikasjoner, kan vannet risikere å bli uegnet som drikkevann.

3.3.4 Evaluering pumpeløsning

Når bedrifter velger pumpeløsning vil pris stå sentralt. Generelt sett vil hydrauliske brann- og sjøvannspumper være rimeligere på investeringspunktet. En annen grunn til at hydrauliske brannvannspumper blir ansett som sikrere. Dette kan komme av mangelfull erfaring med elektrisk pumpeløsning eller at hydrauliske pumper har flere tørroppstilte komponenter som gjør dem lettere tilgjengelig for vedlikehold.

Miljøaspektet med pumpene har tidligere ikke blitt sett på som en betydelig faktor. Dette kan komme av lite fokus på temaet fra næringen tidligere eller at utslipp og dermed kostnad ikke har vært et problem.

Hydraulikkoljer brukes i et stort antall prosesser, både offshore og onshore. De finnes i utallige ulike typer og å undersøke konsekvensene av eksponering for alle disse er for omfattende arbeid. I tillegg kan frykt for konsekvensene av en dyptgående undersøkelse være grunn nok til at det ikke blir utført.

4. Videre arbeid

For å øke tilgjengeligheten og dermed sikkerheten til elektriske neddykkede pumper bør man undersøke installasjon og vedlikeholdsprosessen nærmere. Spesielt med tanke på utfordringer knyttet til håndtering av høyspenningskabel. For å danne et grunnlag man kan jobbe videre med kartlegging av hendelser knyttet til installasjon- eller vedlikeholdsprosessen. På bakgrunn av hendelsene kan man komme med tiltak. Både i form av hvilke eksisterende verktøy som egner seg til hvilke formål og eventuell utvikling av verktøy. Dette kan videre brukes i en argumentasjonsprosess for hvorfor kjøpere av pumpeløsningene skal benytte seg av disse håndteringsverktøyene.

5. Konklusjon

Sikkerhet

Fra innsamlede data har brannvannspumper med hydraulisk løsning ha en feilrate på 0,0075 feil per time, mens elektrisk løsning vil ha en feilrate på 0,0015 per time. Dette gir en indikasjon på at elektriske pumper er sikrere i en driftssituasjon. Datagrunnlaget anses som utilstrekkelig for å trekke en definitiv konklusjon for hele livsløpet til pumpeløsningen.

Miljø

Elektriske glykolfylte brann- og sjøvannspumper er fylt med kjemikalier i grønn miljøkategori. Hydrauliske og elektriske oljefylte brann- og sjøvannspumper er fylt med kjemikalier i svart eller rød miljøkategori. Elektriske glykolfylte brann- og sjøvannspumper vil være det beste alternativet med tanke på kjemikalieutslipp.

Helse

Basert på at hydraulikkolje ikke er merkepliktig med fullstendig innhold, anses elektriske brann- og sjøvannspumper med glykolfylt motor som det alternativet med lavest risiko knyttet til eksponering av kjemikalier.

Kilder

- AkerBP. (2017). *Redgjørelse om tiltak for å redusere utslipp av Statoil Mereta 32 fra sjøvannspumpene på Valhall feltet*. Miljødirektoratet.
- Aquateam. (2013). Miljøriskovurdering - Utslipp til sjø av smøreolje fra dewateringpumpe på Draugen. 5-6 s.
- Bjørseth, O. & Paulsen, T. (2003). Organofosfater - en trussel mot arbeidstakerenes helse? SINTEF 5-10 s.
- BP Norge AS. (2016). *Søknad om oppdatering av rammetillatelse for Valhall-feltet*. Miljødirektoratet.
- ConocoPhillips. (2017). *Søknad om oppdatering av tillatelse etter forurensingsloven for boring og produksjon i Ekofiskområdet*. Miljødirektoratet 14-15 s.
- Deltamarin. (2007). Study of hydraulic and electric driven deepwell cargo pump options.
- Engie. (2017a). *Søknad om oppdatering av tillatelse etter forurensingsloven for produksjon på Gjøa*. Miljødirektoratet.
- Engie. (2017b). Årsrapport til Miljødirektortet Gjøa-feltet 2016. Norsk olje & gass.
- Erikstein, H. (2015). *De som er med i Kreftregisterets offshoreundersøkelse - og de som ikke er med. Om behov for reell registrering av kreftforekomst*. Petroleumstilsynet.
Tilgjengelig fra:
http://www.ptil.no/getfile.php/1334228/Presentasjoner/Sikkerhetsforum/referater_2015/juni/7_Erikstein.pdf.
- EUREKA. *Emergency Generator Set - System Description*. Tilgjengelig fra:
<http://www.eureka.no/emergency-generator-set/emergency-generator-set-system-description/> (lest 29.10.17).
- EUREKA. (2016). *EUREKA fire water pump system*. Tilgjengelig fra:
http://www.eureka.no/wp-content/uploads/2016/05/0130_BPUM_br_Fire-Water-Pump_endringer_07-15_org_lav.pdf (lest 20.10.17).
- EUREKA. (2017). Baronia training course, presentation.
- Finnemore, E. J. & Franzini, J. B. (2002). *Fluid Mechanics with engineering applications*. 10 utg.: Mc Graw Hill.
- FRAMO. *Framo hydraulic fire water pumps for rapid response*. Tilgjengelig fra:
<https://www.framo.com/oil-and-gas-pumping-systems/products/fire-water-pumps/>
(lest 12.12.17).

FRAMO. *Oil & Gas pumping systems* Tilgjengelig fra:

https://www.framo.com/globalassets/pdf-files/fra_010_oil_gas_pumping_systems_korr193.pdf (lest 20.10.17).

Jødestøl, K. A. (2017). (Telefonsamtale).

Klima og forurensingsdirektoratet. (2012). Helhetlig forvaltningsplan for Nordsjøen og Skagerrak, samlet miljøpåvirkning, sammendrag. Miljødirektoratet

Menin, J. A. & Iguama, E. (2006). Hydraulic drive improves fire pump availability. *World Pumps*, 2006 (480): 38-39.

Miljødirektoratet. (2016a). Arbeid mot nullutslipp til sjø fra petroleumsvirksomhet offshore 9-10,31 s.

Miljødirektoratet. (2016b). Petroleumsvirksomheten og hensynet til maritimt miljø.

Miljødirektoratet. (2016c). *Produksjon på Gjøa PL 153, Vedtak om endring av tillatelse etter forurensingsloven.*

Miljødirektoratet. (2016d). *Utslipp av kjemikalier fra olje og gass.* Miljøstatus. Tilgjengelig fra: <http://www.miljostatus.no/kjemikalier-olje-og-gass> (lest 10.10.17).

Miljødirektoratet. (2016e). Veileder for innhold i søknad om tillatelse etter forurensingsloven for petroleumsvirksomheten til havns.

MTU. (2011). *Fire extinguisher pump on Norwegian oil platform driven by MTU engines.* Tilgjengelig fra: https://mtu-online-shop.com/print/3082731_MTU_OG_CaseStudy_FireExtinguisher.pdf.

MTU. (2017). *Marine and Offshore solution guide* Tilgjengelig fra: https://mtu-online-shop.com/print/3190141_MTU_Marine_SalesProgram.pdf.

Norsk olje & gass. (2012). *Informasjon om piper alfa ulykken.* Tilgjengelig fra: <https://www.norskoljeoggass.no/no/Hydrokarbonlekkasjer/Hvorfor-er-det-viktig-a-unnga-HC-lekkasjer/Piper-Alpha/> (lest 12.12.17).

Norsk olje & gass. (2015). 075 - Norsk olje og gass Anbefalte retningslinjer for vannbaste brannbekjempelsessystemer.

Norsk olje & gass. (2017). Miljørapport, olje og gassindustriens miljøarbeid - Fakta og utviklingstrekk.

NORSOK Standard S-001. (2000). Teknisk sikkerhet. 24.

NORSOK Standard S-001 (2008). *Teknisk sikkerhet.*

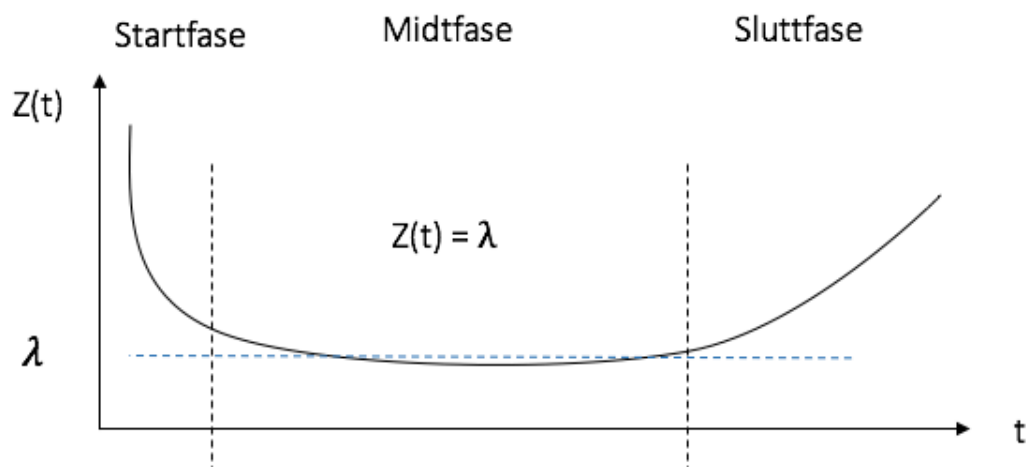
Olje og energidepartementet & Oljedirektoratet. (2017). *Norsk petroleum.* Tilgjengelig fra: <http://www.norsketroleum.no/> (lest 12.12.17).

- Petroleumstilsynet. (2015). Risikonivå i petroleumsvirksomheten norsk sokkel 2015, Hovedrapport. *RNNP*. 18 s.
- Petroleumstilsynet. (2016). Risikonivå i petroleumsvirksomheten norsk sokkel 2016, Hovedrapport. *RNNP*. 91, 105 s.
- Petroleumstilsynet, Miljødirektoratet, Helse- og beredningsdirektoratet & Mattilsynet. (2016). *Rammeforskriften, forskrift om helse, miljø og sikkerhet i petroleumsbransjen og enkelte landanlegg*.
- SINTEF. (2009). *OREDA Offshore reliability data handbook vol 1 Topside Equipment* 5utg. 165-168, 180, 205, 250, 298-299 s.
- SINTEF & NTNU. (2015). *OREDA Offshore reliability data handbook vol 1 Topside Equipment* 6. 151-152, 154, 166, 183, 226, 268, 270 s.
- SINTEF Industrial Management. (2002). *OREDA Offshore reliability data handbook* 4utg. 208-211, 255, 372 s.
- Solbu, K. F., Thorud, S. & Molander, P. (2011). Organofosfater i arbeidsatmosfæren på norske offshore installasjoner - Dagens eksponeringsbilde. Statens arbeidsmiljøinstitutt;. 1,7-8 s.
- Store norske leksikon. *HMS*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/HMS> (lest 29.10.17).
- Total E&P Norge AS. (2017). *Søknad om tillatelse til virksomhet etter forurensingsloven i forbindelse med installasjon og verdigstillelse av Martin Linge A og B før oppstart i utvinningstillatelse PL 043 (Martin Linge)*. Miljødirektoratet
- Witold, P., Martin, C. & Michael, R. H. (2016). Hydraulic vs. Electric: A Review of Actuation Systems in Offshore Drilling Equipment. *Modeling*, 37 (1): 1-17.
- World Health Organization. (2002). Ethylene glycol: Human health aspects, Concise International Chemical Assessment Document 45.
- Øvrebø, S., Kirkeleit, J., Kristensen, P., Molander, P. & Thorud, S. (2003). Vurdering av helseeffekter ved eksponering for hydraulikkoljer/ - væsker og turbinoljer. Statens arbeidsmiljøinstitutt.

Vedlegg A

A.1 Oreda estimeringsprosess

OREDA offshore and onshore reliability data. Estimering av data med "feilrate-funksjonen". Livet til et teknisk objekt kan deles inn i startfase, midtfase fase og slutfase. Feilratene baserer seg data hentet fra midtfasen i livet til komponentene.



$$Z(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} P(t < T < t + \Delta t | T > t)$$

$$Z(t) \cdot \Delta t \approx P(t < T < t + \Delta t | T > t)$$

$$Z(t) = \lambda \text{ for } t = \text{konstant}$$

Estimeringsprosess

Gjennomsnittlig feilrate

$$\theta = \int_0^{\infty} \lambda \cdot \pi(\lambda) d\lambda$$

Variansen

$$\sigma^2 = \int_0^{\infty} (\lambda\theta)^2 \cdot \pi(\lambda) d\lambda$$

Med observasjoner fra flere, "OREDA"- estimator

$\widehat{\theta}_1$ er et estimat for observasjoner som inneholder flere observasjoner

$$\widehat{\theta}_1 = \frac{\text{the total number of fails}}{\text{total time in service}} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{\sum_{i=1}^k \tau_i}$$

$$S_1 = \sum_{i=1}^k \tau_i$$

$$S_2 = \sum_{i=1}^k \tau_i^2$$

$$V = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - \widehat{\theta}_1 \tau_i)^2}{\tau_i} = \sum_{i=1}^k \frac{n_i^2}{\tau_i} - \widehat{\theta}_1^2 S_1$$

For å kalkulere σ_2

τ er tid i operasjonell tilstand

n er antall feil

$$\widehat{\sigma}_2 = \frac{V - (k-1)\widehat{\theta}_1^2}{S_1^2 - S_2} \cdot S_1 \text{ når } > 0, \text{ ellers } \widehat{\sigma}_2 = \sum_{i=1}^k \frac{\left(\frac{n_i}{\tau_i} - \widehat{\theta}_1\right)^2}{k-1}$$

$$\theta^* = \frac{1}{\sum_{i=1}^k \frac{1}{\frac{\widehat{\theta}_1}{\tau_i} + \widehat{\sigma}_2}} \cdot \sum_{i=1}^k \left(\frac{1}{\frac{\widehat{\theta}_1}{\tau_i} + \widehat{\sigma}_2} \cdot \frac{n_i}{\tau_i} \right)$$

SD = $\widehat{\sigma}$ = Standardavvik

A.2 OREDA 2015

Data er hentet fra OREDA- Offshore reliability data handbook vol 1 Topside Equipment (SINTEF & NTNU 2015)

Sjøvannspumpe

Machinery – Sjøvannspumpe	
Installasjoner	1
Antall	1
Number of demands	-

Feilmodus	Antall feil	Gjennomsnittlig feilrate (10^6 timer)
-	-	-

Trykkforsterkningspumpe

Machinery – Sentrifugalpumpe- Brannvann	
Intallasjoner	12
Antall	41

Feilmodus	Antall feil	Gjennomsnittlig feilrate (10^6 timer)	SD	N/T
Kritisk	24	6754	1317	43
Degradert	47	3467	812	83

Stempelpumpe

Machinery – Stempelpumpe- brannvann	
Installasjoner	6
Antall	1

Feilmodus	Antall feil	Gjennomsnittlig feilrate (10 ⁶ timer)	SD	N/T
Kritisk				
Degradert	8	76	27	76

Forbrenningsmotor Diesel

Machinery – Forbrenningsmotor Dieselmotor– Brannvann	
Installasjoner	10
Antall	32

Feilmodus	Antall feil	Gjennomsnittlig feilrate (10 ⁶ timer)	SD	N/T
Kritisk	12	1550	527	37
Degradert	52	6482	1455	161

Elektrisk utstyr
Generator

Elektrisk utstyr – Generator – Elektrisk generator – Motordrevet - Brannvann	
Installasjoner	3
Antall	9

Feilmodus	No of failure	Gjennomsnittlig feilrate (10 ⁶ timer)	SD	N/T
Kritisk	7	27	10	27
Degradert	8	30	11	30

Elektrisk motor

Elektrisk utstyr - Elektrisk motor – Pumpe – Sea water lift	
Installations	1
Population	3
Number of demands	-

Feilmodus	No of failure	Gjennomsnittlig feilrate (10 ⁶ timer)	SD	N/T
Kritisk	5	22	10	22
Degradert	2	9	6	9

Elektrisk brannvannspumpe

Elektrisk utstyr - Elektrisk motor – Pumpe – Brannvann	
Installasjoner	3
Antall	11

Feilmodus	Antall feil	Gjennomsnittlig feilrate (10^6 timer)	SD	N/T
Kritisk	7	15	19	16
Degradert	3	7	6	7

A.3 OREDA 2009

Data er hentet fra OREDA- Offshore reliability data handbook vol 1 Topside Equipment (SINTEF 2009)

Sjøvannspumpe

Machinery – Centrifugal – Sea water lift	
Installasjoner	4
Antall	16

Feilmodus	Antall	Gjennomsnittlig feilrate (10^6 timer)	SD	N/T
Critical	18	74	18	75
Degraded	7	68	21	29

Trykkforsterkningspumpe

Machinery – Sentrifugal – Brannvann	
Installasjoner	9
Antall	34

Feilmodus	Antall	Gjennomsnittlig feilrate (10^6 timer)	SD	N/T
Kritisk	7	1161	351	25
Degradert	21	4340	983	74

Forbrenningsmotor
Diesel

Machinery – Forbrenningsmotor Dieselmotor– Brannvann	
Installasjoner	9
Antall	27

Feilmodus	No of failure	Gjennomsnittlig feilrate (10 ⁶ timer)	SD	N/T
Kritisk	8	524	322	50
Degradert	29	3253	1016	180

Elektrisk motor

Sjøvannspumpe

Elektrisk utstyr - Elektrisk motor – Pumpe – Sjøvannspumpe	
Installations	4
Population	16
Number of demands	528

Feilmodus	Antall feil	Gjennomsnittlig feilrate (10 ⁶ timer)	SD	N/T
Kritisk	3	11	11	12
Degradert	2	9	8	8

A.4 OREDA 2002

Data er hentet fra OREDA- Offshore reliability data handbook (SINTEF Industrial Management 2002)

Sjøvannspumpe

Machinery – Sjøvannspumpe	
Installasjoner	7
Antall	33

Feilmodus	Antall feil	Gjennomsnittlig feilrate (10^6 timer)	SD	N/T
Kritisk	39	56	30	46
Degradert	45	69	59	53

Trykkforsterkningspumpe

Machinery – Sentrifugal – Brannvann	
Installasjoner	37
Antall	108

Feilmodus	Antall feil	Gjennomsnittlig feilrate (10^6 timer)	SD	N/T
Kritisk	11	96	193	60
Degradert	35	833	1400	190

Forbrenningsmotor
Diesel

Maskin – Forbrenningsmotor Diesel motor – Brannvann	
Installasjoner	4
Antall	8

Feilmodus	Antall feil	Gjennomsnittlig feilrate (10^6 timer)	SD	N/T
Critical	4	1994	1968	740
Degraded	63	25588	28227	11657
Incipient	126	50699	60223	23313

Elektrisk motor

Elektrisk utstyr - Elektrisk motor – Pumpe – Sjøvannsløft	
Installasjoner	4
Antall	18

Feilmodus	Antall feil	Gjennomsnittlig feilrate (10 ⁶ timer)	SD	N/T
Kritisk	7	19	12	19
Degradert	8	22	8	22

Vedlegg B

B.1 Brev fra Miljødirektoratet



Adresseliste

Oslo, 28.08.2017

Deres ref.:
[Deres ref.]

Vår ref. (bes oppgitt ved svar):
2013/10414

Saksbehandler:
Kjell A. Jødestøl

Tilbakemelding vedrørende rapportering av bruk og utslipp av smøreoljer fra neddykkede sjøvannspumper

Miljødirektoratet sendte 20. februar 2017 brev til operatørene med felt i drift hvor vi ba om informasjon om bruk og utslipp av smøreoljer fra neddykkede sjøvannspumper. Vi har mottatt svar fra 11 operatører.

Informasjonen vi har mottatt varierer i innhold og detaljeringsgrad. Dette medfører at vi kun kan gi et overslag over hvor mange pumper og hvilke typer pumper som har utslipp av smøreoljer, og et anslag over mengde smøreolje og stoff i svart og rød miljøkategori som går til utslipp til sjø.

Pumpetyper

Operatørene har rapportert at de til sammen har 255 pumper som benyttes for å pumpe sjøvann, hvorav 120 av disse er Framo-pumper levert av Frank Mohn Flatøy AS. Disse er fordelt på mer enn 20 typebetegnelser, men ikke alle operatørene har oppgitt hvilke type Framo-pumper de har. Tre Framo-pumper er oppgitt å være tørroppstilte og vil ikke ha lekkasje til sjø.

Hovedbruksområdene for pumpene er sjøvannspumper (for kjølevann, injeksjonsvann og drikkevann) og brannvannspumper. Statoil opplyser at sjøvannspumpene brukes store deler av året, med driftstimer opp mot 6000 per år, mens brannvannspumpene brukes ukentlig, ca. 100 timer per år.

Statoil har lagt til grunn at pumpene har en lekkasjerate på 20 ml/time basert på informasjon fra leverandøren. Dette gir et utslipp på opptil ca. 120 liter per år per sjøvannspumpe og 2 liter per år per brannvannspumpe. Andre operatører har rapportert lekkasjerater mellom 5 og 40 ml/time, minst i stand-by modus (5-10 ml/time).

Smøreoljer som lekker ut når pumpene er i drift vil som regel gå til utslipp sammen med vannet som er pumpet opp når dette sendes tilbake til sjø (kjølevann). For pumper som står i stand-by modus vil smøreolje kunne legge seg øverst i vannspeilet inne i caisson, og kan bli vasket ut ved bølger og strømninger i vannet.

Smøreoljetyper

Operatørene har rapportert om bruk av 18 forskjellige smøreoljetyper, men ikke alle har beskrevet hvilke smøreoljetype som er brukt. De mest brukte smøreoljene er Statoil Mereta 32/46, Statoil Hydraway HVXA 46HP, Esso Terrestic T32/T46 og Mobil DTE 25/46.

De aller fleste smøreoljene inneholder stoff i svart og rød miljøkategori. Andel stoff i svart kategori varierer fra <1% til 100%. Den mest brukte smøreoljen er Statoil Mereta 32 som inneholder over 90 % stoff i svart kategori, og denne smøreoljen er brukt i totalt 49 pumper iht rapportene. Statoil Mereta 46 er benyttet på i alt 16 pumper, men for dette produktet foreligger ikke HOCNF, og innholdet av stoff i svart kategori er ikke kjent.

Systemvolum og årlig forbruk

Operatørene har kun i noen få tilfeller oppgitt systemenes totale volum. De har i all hovedsak heller ikke rapportert om årlig forbruk. De fleste anslagene av utslipp er beregnet ut fra antatt lekkasjerate.

Anslag over mengde forbruk og utslipp av smøreoljer

Mengde utslipp per år av smøreolje som kan leses direkte fra rapportene er 4,6 m³, eller 5,3 m³ dersom Martin Linge inkluderes (som vil være i drift fra 2019). Dersom man legger til grunn 6000 driftstimer for sjøvannspumper og 100 driftstimer for brannvannspumper, og en lekkasjerate på 40 ml/time, vil ca. 10 m³ smøreolje slippes ut pr år.

Mengde stoff i svart miljøkategori som er sluppet ut til sjø er ca. 2 m³ i henhold til rapportene. Vi er av den oppfatning at dette er et underestimat siden det ikke er angitt andel stoff i svart kategori for alle smøreoljene, det er stor usikkerhet om faktisk utslippsrate, og rapportering fra mange pumper mangler. Vårt anslag er at utslippet er på ca. 7 m³ stoff i svart miljøkategori (ca. 5,9 tonn).

Til sammenligning ble det rapportert om utslipp av totalt 3,6 tonn stoff i svart miljøkategori fra alle kilder fra norsk sokkel i 2016 (EEH). For tre installasjoner er smøreoljer dekket av tillatelsen, og utslipp er rapportert (Eldfisk 2/7 E, Gjøa og Valhall). Utslippet var tilsammen 1,1 tonn produkt og 0,3 tonn stoff i svart kategori.

Presisering av gjeldende regelverk

Ved bruk av smøreoljer i neddykkede sjøvannspumper som medfører utslipp til sjø, og som dermed jevnlig fører til forurensning, følger det av forurensningsloven § 4 første ledd andre punktum at det er plikt til å innhente tillatelse. Krav om tillatelse følger også av aktivitetsforskriften § 66 om bruk og utslipp av kjemikalier. Det er her gitt unntak for smøremidler som ikke går til utslipp og for kjemikalier i lukkede systemer som ikke går til utslipp, og med forbruk under 3000 kg per innretning per år. Ingen av disse to unntakene kommer til anvendelse i forbindelse med smøreoljer i neddykkede pumper hvor det er jevnlig lekkasje.

Det følger også av aktivitetsforskriften § 62 at alle kjemikaliene som brukes eller slippes ut skal testes med hensyn til iboende økotoxikologiske egenskaper og de skal ha HOCNF. Det foreligger HOCNF for de fleste av smøreoljene, men ikke for alle.

Bruk og utslipp av kjemikalier skal rapporteres årlig til Miljødirektoratet i henhold til "*Retningslinjer for rapportering fra petroleumsvirksomheten til havs*" (M-107).

Kjemikalier med innhold av stoff i svart og rød miljøkategori, og i gul underkategori 3, skal kun velges dersom de er nødvendige av tekniske og/eller sikkerhetsmessige grunner og operatørene skal ha særskilte planer for substitusjon, jf aktivitetsforskriften § 65. Kravet om substitusjonsplikt følger også av produktkontrollen § 3a. Flere operatører og leverandører har gjennomført prosjekter som har resultert i substitusjon av smøreolje i svart og rød miljøkategori til mer miljøvennlige alternativer.

Videre arbeid og oppfølging

Operatørene må søke om tillatelse til bruk og utslipp av smøreoljer der dette er relevant. HOCNF må fremskaffes der dette er nødvendig, og bruk og utslipp skal rapporteres årlig. Vi forventer også at operatørene iverksetter tiltak for å unngå eller redusere utslipp av smøreoljer til sjø.

Miljødirektoratet vil følge opp saken fremover blant annet i forbindelse med årsrapportering og ved tilsyn.

Hilsen
Miljødirektoratet

Dette dokumentet er elektronisk godkjent

Ingvild Marthinsen
seksjonsleder

Kjell A. Jødestøl
senioringeniør

Tenk miljø - velg digital postkasse fra e-Boks eller Digipost på www.norge.no.



Norges miljø- og biovitenskapelig universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway