

Martin Dahlen Trana
Simon Folkman Hedland
Robin Rolfsen
Joachim Olsen

Innføring av prediktivt vedlikehold

En mulighetsstudie

Bacheloroppgave i drift- og vedlikeholdsteknikk

Veileder: Viggo Gabriel Borg Pedersen

Mai 2019



Foto: Mentz Indergaard/NTNU Info

Martin Dahlen Trana
Simon Folkman Hedland
Robin Rolfsen
Joachim Olsen

Innføring av prediktivt vedlikehold

En mulighetsstudie

Bacheloroppgave i drift- og vedlikeholdsteknikk
Veileder: Viggo Gabriel Borg Pedersen
Mai 2019

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for maskinteknikk og produksjon



RAPPORT BACHELOROPPGAVEN

FAKULTET FOR INGENIØRVITENSKAP
**Institutt for maskinteknikk og
produksjon**
7491 Trondheim

Besøksadresse:
R.Birkelands vei, 2B, Trondheim

Tittel

Innføring av prediktivt vedlikehold
En mulighetsstudie

Introduction of Predictive Maintenance
A feasibility study

Prosjektnr.

MTP-D-2019-03

Forfatter(e)

Martin Dahlen Trana
Simon Folkman Hedland
Robin Rolfsen
Joachim Olsen

Oppdragsgiver eksternt

Aker BP

Dato levert

20.05.2019

Antall vedlegg

2

Totalt antall sider

176 + vedlegg

Veileder internt

Viggo Gabriel Borg Pedersen

Rapporten er ÅPEN

Kort sammendrag

Vanninjeksjon har vist seg å være viktigere for reservoaret på oljefeltet Ivar Aasen enn først antatt. Vi har i denne oppgaven sett på hvordan selskapet Aker BP kan nyttiggjøre seg av tilgjengelig tilstands- og driftsdata fra vanninjeksjonssystemet i innføring av prediktivt vedlikehold på vanninjeksjonspumpen på oljeplattformen Ivar Aasen.

For å gjennomføre dette har vi utført en litteraturstudie og definert en rekke suksessfaktorer som bør tilfredsstilles for å lykkes i innføringen av prediktivt vedlikehold. Vi har så utført en ståstedsanalyse av Ivar Aasen, der vi blant annet har kartlagt hvilken tilstands- og driftsdata som samles inn og hvilket vedlikeholdsregime vanninjeksjonspumpen er underlagt i dag.

Resultatene fra ståstedsanalysen viser at vanninjeksjonspumpen er utstyrt med tilstrekkelig tilstands- og driftsovervåking for å kunne innføre prediktivt vedlikehold. Det er imidlertid en rekke faktorer som bør oppfylles for å suksessfullt kunne innføre prediktivt vedlikehold.

Abstract

Water injection has proved to be more important for the reservoir on the oil field Ivar Aasen than initially thought. In this thesis we have looked at how the company Aker BP can make use of available condition and operating data from the water injection system to be able to introduce predictive maintenance on the water injection pump on the oil platform Ivar Aasen.

To accomplish this, we have conducted a literature study and defined a number of success factors that should be met to be able to successfully implement predictive maintenance. We have then carried out a stand-by analysis of Ivar Aasen, where we, among other things, have looked at which condition and operational data that are collected and which type of maintenance regime that is conducted on the water injection pump today.

The results from the stand-by analysis show that the water injection pump is equipped with sufficient condition and operating monitoring in order to introduce predictive maintenance. However, there are a number of factors that must be met to be able to introduce predictive maintenance.

Stikkord fra prosjektet

Prediktivt vedlikehold, Digitalisering, Maskinlæring, Digital tvilling, Tilstandsovervåking, Vanninjeksjonspumpe, Ivar Aasen.

Keywords from the thesis

Predictive Maintenance, Digitization, Machine Learning, Digital Twin, Condition Monitoring, Water Injection Pump, Ivar Aasen.

Hvordan kan Aker BP nyttiggjøre seg av tilgjengelig tilstands- og driftsdata fra vanninjeksjonssystemet i innføring av prediktivt vedlikehold på vanninjeksjonspumpen på oljeplattformen Ivar Aasen?

Bacheloroppgave TMS-3001
Drift og vedlikehold

Institutt for maskinteknikk og produksjon
Fakultet for ingeniørvitenskap
NTNU

Opgaven er skrevet i samarbeid med Aker BP gjennom et tverrfaglig samarbeid mellom studenter ved olje- og gasstudiet og maskiningeniør med spesialisering i drift og vedlikehold ved NTNU våren 2019.



Martin Dahlen Trana
Maskiningeniør,
Drift og vedlikehold



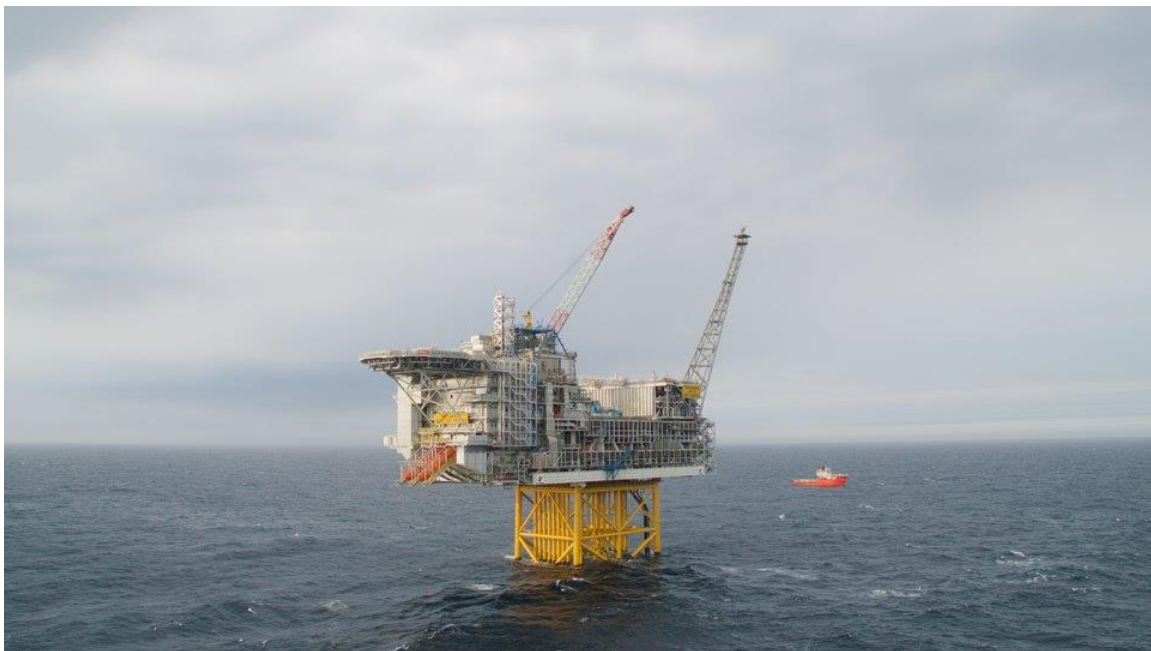
Simon Folkman Hedland
Olje- og gassteknologi



Robin Rolfsen
Olje- og gassteknologi



Joachim Olsen
Olje- og gassteknologi



Ivar Aasen-plattformen (Aker BP, 2019)

Forord

Denne oppgaven er utarbeidet gjennom et tverrfaglig samarbeid som et avsluttende arbeid for bachelorutdanningen innen olje- og gassteknologi og maskiningeniør med spesialisering i drift og vedlikehold, ved NTNU våren 2019. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Aker BP og hensikten er å se på muligheten for å innføre prediktivt vedlikehold på vanninjeksjonspumpen på oljeplattformen Ivar Aasen.

Formålet med oppgaven er at studentene skal lære av hverandres faglige bakgrunn, og opparbeide seg bedre forståelse for olje- og gassbransjen, vedlikehold generelt og prediktivt vedlikehold spesielt.

Vi vil benytte muligheten til å takke vår veileder ved NTNU, Viggo Gabriel Borg Pedersen. Viggo har bidratt med gode og faglige råd, veiledning og tilbakemeldinger på oppgaven når vi har hatt behov for det.

Vi vil videre takke Aker BP og vår kontaktperson og veileder hos Aker BP, Katrine Dretvik Sandbakk. Katrine har gitt oss veiledning og hjulpet til med å finne fram til informasjon vi har trengt for å løse oppgaven. I tillegg vil vi takke alle andre fra Aker BP som har tatt seg tid til å svare på spørsmål og stille til intervju, både personlig, via telefon og epost.

Vi vil også takke selskapene Invicta, Karsten Moholt og Cognite for svar på spørsmål vi har hatt i løpet av oppgavegjennomføringen.

Sammendrag

Målet med denne bacheloroppgaven har vært å undersøke hvordan Aker BP kan nyttiggjøre seg av tilgjengelig tilstands- og driftsdata fra vanninjeksjons-systemet på oljeplattformen Ivar Aasen i innføring av prediktivt vedlikehold på vanninjeksjonspumpen.

Ved å studere prediktivt vedlikehold har vi kommet fram til en rekke suksessfaktorer som må oppfylles for å kunne implementere denne vedlikeholdsformen. Etter studien har vi gjennomført en ståtedsanalyse for å undersøke hvordan tilstands- og driftsdata fra vanninjeksjonspumpen innhentes og benyttes i dag, samt en kartlegging av dagens vedlikeholdsprogram for vanninjeksjonspumpen.

Resultatet fra studien viser at vanninjeksjonspumpen er utstyrt med tilstrekkelig tilsands- og driftsovervåkingen for å kunne innføre prediktivt vedlikehold. Tilstandsovervåkingen er i stand til å logge data med høy hastighet, men dataen tilgjengeliggjøres imidlertid ikke i en plattform der den kan anvendes i prediktiv analyse i dag. Det er også nødvendig å fremskaffe datamodeller, algoritmer og analyseverktøy, samt nødvendig kunnskap som kan behandle den innsamlede dataen for å kunne innføre prediktivt vedlikehold.

Denne oppgaven konkluderer derfor med at prediktiv vedlikehold på vanninjeksjonspumpen er mulig med dagens overvåking. Imidlertid bør bedriften ferdigutvikle en digital plattform som kan lagre og analysere historisk data med høy loggehastighet. De trenger også den riktige kompetansen og verktøy for å behandle disse dataene.

Abstract

The goal of this thesis has been to study how Aker BP can utilize condition monitoring data from the water injection system on the Ivar Aasen platform to implement predictive maintenance on the water injection pump.

A broad study of predictive maintenance lead to certain factors which have to be met to successfully implement this maintenance form. The study was followed by an analysis to investigate how maintenance on the injection pump is currently conducted and how condition monitoring is used to diagnose machine failure.

The results of this study show that the water injection pump is equipped with the condition monitoring sensors needed to implement predictive maintenance. The data collected through condition monitoring is high frequent but not stored on a digital platform capable of fasilitating predictive analysis. It is also necessary to obtain data models, algorithms and analysis tools, as well as necessary knowledge that can process the collected data in order to implement predictive maintenance.

This study therefore concludes that predictive maintenance on the water injection pump is possible by using data from the currenct condition monitoring system; however, the company has yet to finish developing a digital platform for storing and analysing condition and process monitoring data. They also need the right skills and tools to process the data.

Forkortelser

Under følger forkortelser brukt i oppgaven i alfabetisk rekkefølge.

BMS	=	Business Management System
CDF	=	Cognite Data Fusion
CM	=	Condition Monitoring
CMMS	=	Computerized Maintenance Management System
CMS1	=	Condition Monitoring System 1
CPS	=	Cyber-Physical System
FMEA	=	Failure Modes and Effects Analysis
FMECA	=	Failure Modes, Effects and Criticality Analysis
HMS	=	Helse, miljø og sikkerhet
HV	=	High Voltage
IoT	=	Internet of Things
ISO	=	International Organization for Standards
KPI	=	Key Performance Indicator (Nøkkelindikator)
MPS	=	Machine Protection System
MTBF	=	Mean Time Between Failure
NDT	=	Non-destructive testing
NS-EN	=	Norsk Standard - European Standard
PdM	=	Predictive Maintenance
PUD	=	Plan for utbygging og drift
RCM	=	Reliability Centered Maintenance
RUL	=	Remaining Useful Life (Resterende brukbar levetid)
SAS	=	Safety and Automation System
SCADA	=	Supervisory control and data acquisition
SKR	=	Sentralt Kontroll Rom
SPM	=	Støtpulsmetoden
ST/SE	=	Speed Transmitter / Speed Element
TT/TE	=	Temperatur Transmitter / Temperatur Element
VSD	=	Variable Speed Drive
VT/VE	=	Vibrasjons Transmitter / Vibrasjons Element

Definisjoner

Under følger definisjoner på ord brukt i oppgaven i alfabetisk rekkefølge.

Asset

Følgende definisjonen er utarbeidet av bachelorgruppen.

Et anlegg eller en organisasjon som forvalter et anlegg, verdier og ressurser som for eksempel en oljeplattform.

Beste praksis

Følgende definisjon er oversatt fra engelsk til norsk, etter bachelorgruppens tolkning av begrepet.

En metode eller teknikk som er generelt akseptert som best fordi den gir resultater som er overlegen andre løsninger eller fordi den har blitt en standard måte å gjøre ting på. (*Cambridge Dictionary* 2019)

Vedlikeholdsprogram

Følgende definisjon er oversatt fra engelsk og hentet fra NORSOK Z-008 2017.

Et vedlikeholdsprogram inneholder vedlikeholdsintervaller og nedskrevne prosedyrer for å vedlikeholde, teste og forberede de ulike enhetene på anlegget, samt et minimum kvalifikasjonskrav til personell. Hensikten med et vedlikeholdsprogram er å kontrollere eller dempe risiko assosiert med degradering av en funksjon. Et vedlikeholdsprogram skal evalueres og oppdateres ved regelmessige intervaller. (Standard Norge 2017)

Konsekvens

Følgende definisjon er oversatt fra engelsk og hentet fra NORSOK Z-008 2017.

Resultat av en hendelse

Begrepsmerknad 1: Det kan være en eller flere konsekvenser av en hendelse. Konsekvensen kan variere fra positiv til negativ. Konsekvensene er imidlertid negative for sikkerhetsaspekter. Konsekvensene kan uttrykkes kvalitativt eller kvantitativt. (Standard Norge 2017)

Vedlikeholdsterminologi

Følgende definisjoner er hentet fra standarden NS-EN 13306:2017, Vedlikehold og vedlikeholdsterminologi. (Standard Norge 2019)

Definisjonene er opplistet i alfabetisk rekkefølge.

Brukstid

Tidsintervall fra første gangs bruk til det tidspunkt en grensetilstand er nådd.

Begrepsmerknad 1: Grensetilstanden kan være en funksjon av svikthyppighet, krav til vedlikeholdsstøtte, fysisk tilstand, økonomi, alder, foreldelse, endringer i brukerens krav eller andre relevante faktorer.

Begrepsmerknad 2: Grensetilstanden kan endres når bruksforholdene endrer seg.

Begrepsmerknad 3: I denne sammenhengen regnes prøvingsaktiviteter før enheten overtas av sluttbruker, ikke med i ”første gangs bruk”.

Degradering

Skadelig endring i fysisk tilstand som følge av tid, bruk eller som skyldes en ekstern årsak.

Begrepsmerknad 1: Degradering kan føre til svikt.

Begrepsmerknad 2: I en systemsammenheng kan degradering også være forårsaket av svikt i systemet (se «degradert tilstand»)

Degradert tilstand

Tilstand der evnen til å oppfylle krevd funksjon er redusert, men der den reduserte ytelsen er akseptabel.

Begrepsmerknad 1: En degradert tilstand kan være resultatet av feil på lavere enhetsnivå.

Begrepsmerknad 2: Grensen for akseptabelt redusert ytelse vil endre seg med brukerens behov.

Driftstilstand

Tilstand der en enhet fungerer som krevd.

Eksterne ressurser

Ressurser, bortsett fra vedlikeholdsressurser, som enheten bruker til å utføre krevd funksjon.

Begrepsmerknad 1: Mangel på eksterne ressurser, bortsett fra vedlikeholdsressurser, berører ikke enhetens tilgjengelighet.

EKSEMPEL Strømtilførsel, bemanning, brensel, trykkluft, avkjølingskilde, løfteutstyr, stillaser.

Enhet

Del, komponent, innretning, delsystem, funksjonell enhet, utstyr eller system som kan beskrives og vurderes individuelt.

Begrepsmerknad 1: Flere enheter, for eksempel et utvalg av enheter, eller en prøve, kan i seg selv anses som en enhet.

Begrepsmerknad 2: En enhet kan bestå av maskinvare, programvare eller begge deler.

Begrepsmerknad 3: Programvare omfatter programmer, prosedyrer, regler, dokumentasjon og data for et informasjonsbehandlingssystem.

Feil

Tilstand hos en enhet som karakteriseres av manglende evne til å oppfylle krevd funksjon, bortsett fra utilgjengelighet på grunn av forebyggende vedlikehold eller andre planlagte tiltak, eller på grunn av mangel på eksterne ressurser.

Begrepsmerknad 1: En feil forårsakes vanligvis av en svikt, men i enkelte tilfeller som spesifisering, utforming, produksjon eller vedlikehold, kan det være en feil som allerede eksisterer. Se latent feil.

Latent feil / skjult feil

Eksisterende feil som ikke er oppdaget enda.

Feildiagnose

Tiltak som utføres for å finne og lokalisere feil og identifisere årsak.

Krevd funksjon

Funksjon, kombinasjon av funksjoner eller en kombinasjon av alle enhetens funksjoner, som anses nødvendig for å oppfylle et gitt krav.

Begrepsmerknad 1: "Nødvendig for å oppfylle et gitt krav" kan også omfatte bevaring av bygg, anlegg og produksjonssystemer.

Begrepsmerknad 2: Det gitte kravet kan være eksplisitt eller implisitt, og det kan i enkelte tilfeller holde en lavere standard enn det som er angitt i de opprinnelige utformingsspesifikasjonene.

Begrepsmerknad 3: Det er underforstått at "krevd funksjon" også dekker hva en enhet ikke skal gjøre.

Kritikalitet

"Av en svikt eller en feil"

Numerisk indeks for alvorlighetsgraden av en svikt eller en feil sett i sammenheng med sannsynligheten for at den inntreffer eller hvor hyppig den forekommer.

Begrepsmerknad 1: Den numeriske indeksen i denne sammenhengen kan for eksempel defineres som et område i et matrisediagram som viser sviktfrekvens i forhold til alvorlighetsgrad.

Midlere tid mellom svikt (MTBF)

Gjennomsnittlig tid mellom svikt.

Begrepsmerknad 1: Innenfor fageltet for pålitelighet defineres midlere tid mellom svikt som den matematiske forventede tiden mellom svikt.

Pålitelighet

Enhetens evne til å oppfylle krevd funksjon under gitte forhold innenfor et gitt tidsintervall.

Begrepsmerknad 1: En enhets pålitelighet kan begrenses ut i fra observerte svikt i en enhet og/eller et sett av sammenlignbare enheter i løpet av et gitt tidsintervall.

Begrepsmerknad 2: Den forventede påliteligheten til en enhet uttrykker nivået av tiltro til den, anslått ut fra den observerte påliteligheten til sammenlignbare enheter og kunnskapen om enhetens faktiske tilstand.

Begrepsmerknad 3: I noen tilfeller kan et gitt antall bruksenheter (Antall sykluser, antall driftstimer, antall kilometer osv.) vurderes i stedet for et gitt tidsintervall.

Begrepsmerknad 4: Gitte forhold kan omfatte forebyggende vedlikehold og driftsmessige modi og forhold.

Svikt

Tap av en enhets mulighet til å oppfylle krevd funksjon.

Begrepsmerknad 1: Etter svikt har enheten en feil, som kan være delvis eller fullstendig.

Begrepsmerknad 2: "Svikt" er en hendelse, til forskjell fra "feil", som er en tilstand.

Begrepsmerknad 3: Det definerte begrepet gjelder ikke for enheter som bare består av programvare.

Sviktmodus

FRARÅDD: Feilmodus

Måten en enhet mister evnen til å oppfylle krevd funksjon på.

Begrepsmerknad 1: En sviktmodus kan defineres av funksjonen som er tapt eller tilstandsoverganger som har funnet sted.

Tilgjengelighet

Enhetens evne til å være i en tilstand til å utføre oppgaven under gitte forhold som det kreves og slik det kreves, forutsatt at de nødvendige eksterne ressursene er stilt til rådighet.

Begrepsmerknad 1: Krevde eksterne ressurser, bortsett fra vedlikeholdsressurser, påvirker ikke enhetens tilgjengelighet selv om enheten kanskje ikke er tilgjengelig ut fra brukerens synspunkt.

Begrepsmerknad 2: Denne evnen avhenger av kombinasjonen av aspekter ved pålitelighet, enhetens vedlikeholdsvennlighet, dens evne til vedlikeholdsstøtte og vedlikeholdstiltak som er utført på den.

Tilstandsovervåking

Aktivitet som utføres enten manuelt eller automatisk, og som måler, i forutbestemte intervaller, en enhets faktiske fysiske tilstand med hensyn til egenskaper og parametre.

Begrepsmerknad 1: Overvåking skiller seg fra inspeksjon ved at overvåking brukes til å evaluere eventuelle endringer i enhetens parametere over tid.

Begrepsmerknad 2: Overvåking kan skje kontinuerlig, i et tidsintervall eller etter et gitt antall operasjoner.

Begrepsmerknad 3: Overvåking utføres vanligvis i driftstilstanden.

Vedlikehold

Kombinasjon av alle tekniske, administrative og ledelsesrelaterte tiltak gjennom en enhets livssyklus som har til hensikt å opprettholde den i eller gjenopprette den til en tilstand der den kan oppfylle den krevde funksjonen.

Begrepsmerknad 1: Tekniske vedlikeholdstiltak omfatter observasjon og analyse av enhetens tilstand (for eksempel inspeksjon, overvåking, prøving, diagnose, prognose osv.) og aktive vedlikeholdstiltak (for eksempel reparasjon, rehabilitering).

Vedlikeholdsledelse

Alle ledelsens aktiviteter som bestemmer kravene, målene, strategiene og ansvarsområdene knyttet til vedlikehold, og implementeringen av dem ved hjelp av for eksempel vedlikeholdsplanlegging, vedlikeholdskontroll og forbedringen av vedlikeholdsaktiviteter og økonomi.

Vedlikeholdsmål

Fastsatte og aksepterte mål for vedlikeholdsaktivitetene.

Begrepsmerknad 1: Slike mål kan for eksempel være tilgjengelighet, kostnadsreduksjon, produktkvalitet, beskyttelse av miljøet, sikkerhet, brukstid og bevaring av bygg, anlegg og produksjonssystemer.

Vedlikeholdsplan

Strukturert og dokumentert sett med oppgaver som omfatter aktivitetene, prosedyrene, ressursene og tidsforbruket som kreves for å utføre vedlikehold.

Vedlikeholdsstrategi

Ledelsesmetode som brukes for å oppnå vedlikeholdsmålene.

EKSEMPEL Utsetting av vedlikehold, tildeling av ressurser osv.

Vedlikeholdsstøtte

Anskaffelse av nødvendige ressurser, tjenester og ledelse for å utføre vedlikehold.

Begrepsmerknad 1: Anskaffelsen kan for eksempel omfatte personell, prøvingsutstyr, arbeidslokaler, reservedeler, dokumentasjon, verktøy osv.

Vedlikeholdsformer

Følgende vedlikeholdsformer er hentet fra standarden NS-EN 13306:2017, Vedlikehold og vedlikeholdsterminologi. (Standard Norge 2019)

Vedlikeholdsformene er opplistet i alfabetisk rekkefølge.

Fjernstyrt vedlikehold

Vedlikehold av en enhet uten at personell har direkte fysisk tilgang til enheten.

Forebyggende vedlikehold

Vedlikehold som utføres for å vurdere og/eller minske degradering og redusere sannsynligheten for svikt i en enhet.

Forhåndsbestemt vedlikehold

Forebyggende vedlikehold som utføres i henhold til etablerte tidsintervaller eller antall bruksenheter, men uten forutgående tilstandsundersøkelser.

Begrepsmerknad 1: Tidsintervaller eller antall bruksenheter kan fastsettes ut fra kunnskap om enhetens sviktmekanismer.

Korrigerende vedlikehold

Vedlikehold som utføres etter en feil er funnet, og som har som formål å gjenopprette en enhet til en tilstand der den kan oppfylle krevd funksjon.

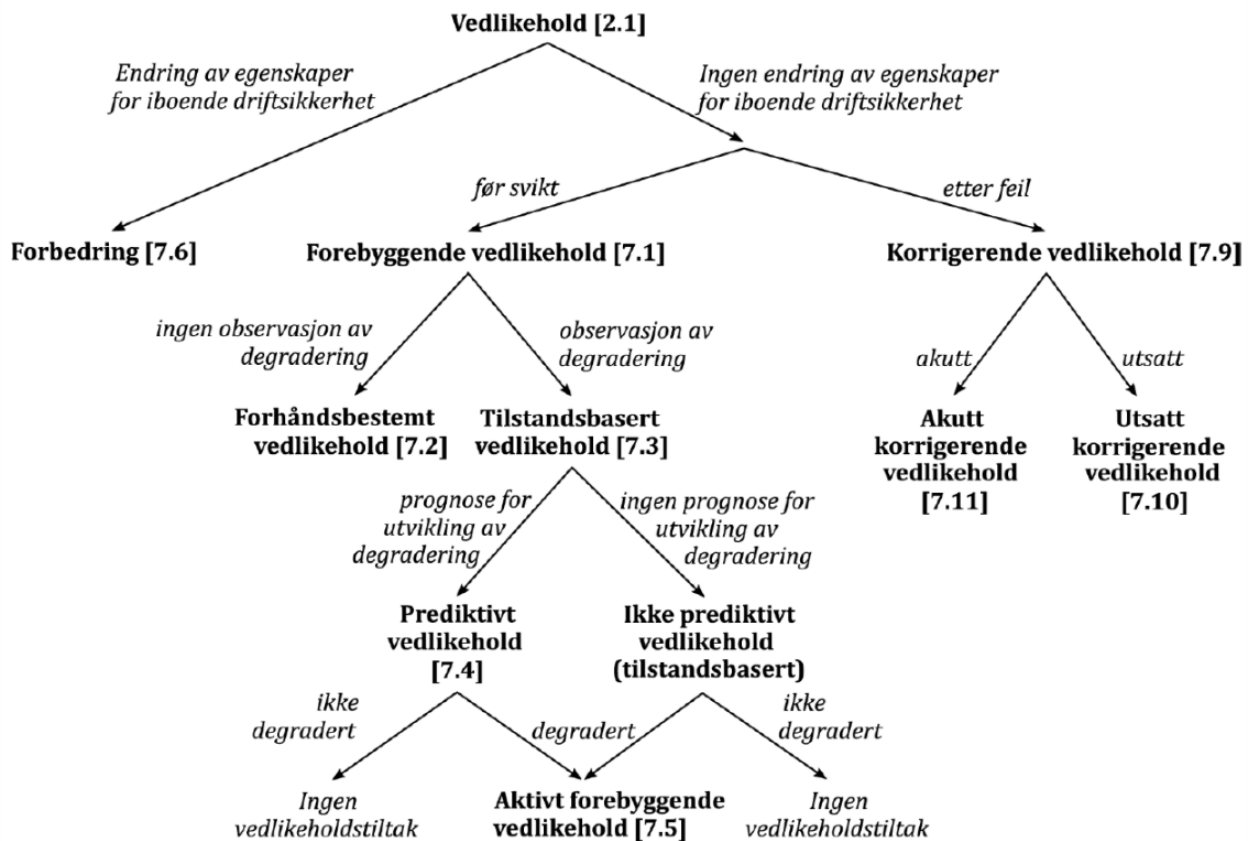
Prediktivt vedlikehold

Tilstandsbasert vedlikehold som utføres etter en prognose utledet av gjentatt analyse eller kjente egenskaper og evaluering av de vesentlige parameterne for degradering av enheten.

Tilstandsbasert vedlikehold

Forebyggende vedlikeholds som omfatter vurdering av fysisk tilstand, analyse og mulig påfølgende vedlikeholdstiltak.

Begrepsmerknad 1: Tilstandsvurderingen kan gjennomføres ved observasjon foretatt av operatør og/eller inspeksjon, prøving, overvåking av tilstanden til systemparametere osv. i henhold til en tidsplan, på forespørsel eller kontinuerlig.



Figur 1: Oversikt over vedlikeholdsformer fra standard for vedlikeholdsterminologi, NS-EN 13306 (Standard Norge 2019)

Tabeller

2.1	Oversikt over forhåndsbestemte aktiviteter på vanninjeksjons- pumpen (Aker BP 2019b)	85
2.2	Oversikt over og forklaring på forkortelser i figur 2.15 og 2.16. (Aker BP 2019a)	93
3.1	Utdrag fra FMEA for sentrifugalpumpe (Aker BP 2018b)	107
3.2	Utdrag fra FMEA for elektrisk HV (<i>High voltage</i>) motor (Aker BP 2018a)	108
4.1	Besvarelse av resultatmål 1	138
4.2	Besvarelse av resultatmål 2.	139
4.3	Besvarelse av resultatmål 3.	139
4.4	Besvarelse av resultatmål 4.	140

Figurer

1	Oversikt over vedlikeholdsformer fra standard for vedlikeholds-terminologi, NS-EN 13306 (Standard Norge 2019)	xiv
1.1	De fire industrielle revolusjonene (spectral 2018)	10
1.2	Illustrasjon av intervallet P-F og hvor i feilutviklingen de ulike indikatorene fremtrer. (Dale 2013)	16
1.3	Illustrasjon av aliasing (Hass 2018)	19
1.4	Fouriertransformasjon (Scheffer og Girdhar 2004)	20
1.5	Magnet separerer partikler fra smøreoljen, og de arrangerer seg etter størrelse. (Barrett og McMahon 2019)	24
1.6	Energi i form av infrarød stråling hvor A=Absorbert energi, R=Reflektert energi, T=Overført energi og E=Utsendt energi (Mobley, Higgins og Wikoff 2008)	27
1.7	RUL illustrert i et tilstand-tid diagram (Studios 2019)	28
1.8	Illustrert sammenheng data, prediktivt vedlikehold og RUL (Martin mfl. 2018)	31
1.9	Innholdet i de fire analysemetodene (Shao, Shin og Jain 2014) .	34
2.1	Styringsløyfe for vedlikehold på Ivar Aasen (<i>Vedlikeholdsstrategi Ivar Aasen - 0013</i> 2016)	47
2.2	Planlagte vedlikeholdsmetoder (<i>Predictive maintenance strategy</i> 2018)	53
2.3	Arbeidsprosess for prediktivt vedlikehold (<i>Predictive maintenance strategy</i> 2018)	55

2.4	Organisasjonsstruktur for prediktivt vedlikehold (<i>Predictive maintenance strategy</i> 2018)	58
2.5	Aker BPs team for prediktivt vedlikeholds scope (PdM-Team 2019)	60
2.6	Ansvarsområder (PdM-Team 2019)	75
2.7	Stages (PdM-Team 2019)	76
2.8	Plan (PdM-Team 2019)	77
2.9	Field of the Future (Leon 2018)	78
2.10	Illustrasjon vanninjeksjonspumpe (<i>Water Injection Pump Operation Manual</i> 2016)	80
2.11	Illustrasjon sentrifugalpumpe fra Sulzer (<i>HPcp Barrel Casing Pump</i> 2016)	82
2.12	Sentrifugalpumpe hovedkomponenter (<i>Water Injection pump - Condition monitoring P&ID</i> 2018)	82
2.13	Elektrisk motor (<i>Electric motor</i> 2019)	83
2.14	Lokalisering av vibrasjonssensorer på en horisontal maskin, fra ISO 10816-3 (International Standard 2009)	90
2.15	Tilstandsovervåking på sentrifugalpumpe for vanninjeksjon (<i>Water Injection pump - Condition monitoring P&ID</i> 2018)	92
2.16	Tilstandsovervåking på elektrisk motor (<i>Water Injection pump - Condition monitoring P&ID</i> 2018)	93
3.1	Hierarkisk fremstilling av FMEA på vanninjeksjonspumpe.	109
3.2	Hierarkisk fremstilling av FMEA på sentrifugalpumpe.	111
3.3	Hierarkisk fremstilling av FMEA på elektrisk motor.	112
3.4	Økt vibrasjon indikerer sviktutvikling (<i>ResearchGate</i> 2019)	114
3.5	Prediksjon av RUL (Manners 2018)	117
3.6	Illustrasjon av hvordan data fra PI, SAP og System 1 kan inngå i Cognite Data Fusion (Rå design studio 2019)	123
3.7	Suksessfaktorer for prediktivt vedlikehold sammenlignet med nåstatus i Aker BP.	129

Innhold

Forord	i
Sammendrag	ii
Abstract	iii
Forkortelser	v
Definisjoner	vi
Tabelliste	xv
Figurliste	xviii
Innledning	1
Metode	5
1 Teori	9
1.1 Industri 4.0	9
1.1.1 Internet of Things	11
1.1.2 Big data	12
1.1.3 Cyber-Physical System (CPS)	12
1.2 Prediktivt vedlikehold	12
1.3 Tilstandskontroll	14

1.4	Metoder for tilstandsovervåking	17
1.4.1	Vibrasjonsovervåking	17
1.4.2	Tribologi, analysemetode for olje og fett	22
1.4.3	Prosessparametre	25
1.4.4	Termografi	26
1.5	Remaining Useful Life (RUL)	28
1.5.1	Beregning av RUL ved bruk av maskinlæring	29
1.5.2	Beregning av RUL ved bruk av digital tvilling	30
1.5.3	Sammenheng mellom tilstandskontroll, prediktivt vedlikehold og Remaining Useful Life (RUL)	31
1.6	Datasikkerhet	33
1.7	Helse, miljø og sikkerhet	33
1.8	Metoder for analyse av data	34
1.8.1	Deskriptive analyser	35
1.8.2	Diagnostiske analyser	35
1.8.3	Prediktive analyser	36
1.8.4	Preskriptive analyser	37
1.9	Suksessfaktorer og suksesskriterier	38
1.9.1	Generelle suksessfaktorer	38
1.9.2	Generelle suksesskriterier	39
1.9.3	Suksessfaktorer for innføring av prediktivt vedlikehold	39
1.9.4	Suksesskriterier for innføring av prediktivt vedlikehold	41
1.9.5	Fallgruver ved implementering og opprettholdelse av prediktivt vedlikehold	41
2	Ståtedsanalyse	43
2.1	Aker BPs vedlikeholdsstrategi for Ivar Aasen	44
2.2	Strategi for prediktivt vedlikehold i Aker BP	51
2.2.1	Mål og fokusområde	51
2.2.2	Planlagt vedlikehold	52
2.2.3	Forebyggende vedlikehold	53
2.2.4	Tilstand- og ytelsesovervåking	54
2.2.5	Implementeringsstrategi for prediktivt vedlikehold	54

2.2.6	Arbeidsprosess	55
2.2.7	Designkrav	56
2.2.8	Krav til anskaffelse og leverandører	57
2.2.9	Prediktiv modell	57
2.2.10	Spesifikasjoner for et prediktivt vedlikeholdsstyrings- system	57
2.2.11	Organisasjonsstruktur	58
2.3	Selskapets forståelse av prediktivt vedlikehold	59
2.3.1	Aker BPs team for prediktivt vedlikehold	59
2.3.2	Ivar Aasen-organisasjon	60
2.4	Tilgjengelige ressurser	61
2.4.1	Internt i Aker BP	62
2.4.2	Eksterne aktører og leverandører som yter vedlikeholds- støtte på Ivar Aasen	65
2.5	Aker BPs vei mot prediktivt vedlikehold	71
2.5.1	Strategiske partnerskap og allianser	71
2.5.2	Aker BPs strategi for prediktivt vedlikehold	73
2.6	Planer og visjoner	77
2.6.1	Aker BPs plan for videre arbeid med prediktivt vedlike- hold	77
2.6.2	Overordnet visjon	78
2.7	Beskrivelse av vanninjeksjonspumpen	80
2.7.1	Sentrifugalpumpe	81
2.7.2	Elektrisk motor	83
2.8	Eksisterende vedlikeholdsprogram	84
2.9	Eksisterende tilstandskontrollsystemer/metoder	86
2.9.1	Introduksjon	86
2.9.2	Oversikt over tilstandskontrollmetoder	86
2.9.3	Plassering av sensorer for tilstandsovervåking	89
2.9.4	Teknisk informasjon om sensorer	94
2.10	Målekjeden	94
2.10.1	Sikkerhet i målekjeden	95
2.10.2	Verifisering av målekjeden	95

2.11	Computerized Maintenance Management System (CMMS) på Ivar Aasen	97
2.11.1	Utførelse og rapportering av vedlikehold i SAP	97
2.11.2	Muligheter i SAP	98
3	Resultater og diskusjon	101
3.1	Utvalgte funn fra ståstedsanalysen	102
3.1.1	Behandling av rapporter	102
3.1.2	Utnyttelse av tilgjengelige ressurser	102
3.1.3	Tilgjengeliggjøring av data	104
3.2	Case for prediktivt vedlikehold på vanninjeksjonspumpen	105
3.2.1	FMEA for sentrifugalpumpe og elektrisk motor	106
3.2.2	Utvalgte caser på vanninjeksjonspumpen	110
3.2.3	Prediksjon av funksjonssvikt med fokus på vibrasjon i glidelager	113
3.2.4	Tilstandsovervåking av glidelager på sentrifugalpumpe og elektrisk motor	115
3.2.5	Vibrasjonsanalyse på glidelager	116
3.2.6	Tribologi på glidelager i prediktivt vedlikehold	118
3.2.7	Prosessparametre	119
3.2.8	Organisering av prediktivt vedlikehold	120
3.2.9	Aktører i organisering av prediktivt vedlikehold på utvalgt case	121
3.2.10	Utførelse av prediktivt vedlikehold	124
3.3	Gvinster og potensielle ulemper ved innføring av prediktivt vedlikehold	125
3.3.1	Gvinster ved innføring av prediktivt vedlikehold	125
3.3.2	Potensielle ulemper ved innføring av prediktivt vedlikehold	126
3.4	Sammenligning av ståstedsanalysen og suksessfaktorer for prediktivt vedlikehold	128
3.4.1	Kort sammenligning	129

3.4.2	Utdypende sammenligning av ståstedsanalyse og suksessfaktorer	130
3.4.3	Suksesskriterier	136
4	Besvarelse av resultatmål og konklusjon	137
4.1	Oppsummert besvarelse av resultatmål	137
4.2	Konklusjon	141
	Referanser	142

Innledning

Bakgrunn

Denne gruppen består av fire bachelor ingeniørstudenter fra NTNU. En studerer maskiningeniør med spesialisering i drift og vedlikehold og tre studerer olje- og gassteknologi. Vi ønsket å ha en bacheloroppgave om drift og vedlikehold i oljeindustrien og syntes tanken på en tverrfaglig bacheloroppgave med flere studieretninger hørtes spennende ut.

Vi diskuterte flere mulige tema, og besluttet til slutt at vi ønsket å skrive om prediktivt vedlikehold. Grunnen til det er at gruppen anser denne vedlikeholdsformen som stadig mer aktuell i den teknologiske utviklingen som foregår i industrien i dag. Vi ønsket derfor å øke vår kunnskap om denne formen for vedlikehold.

Gruppen tok kontakt med Aker BPs avdeling i Trondheim for å undersøke muligheten for å skrive en oppgave om valgt tema med bedriften. Vi hadde et møte med Aker BP og ble enig om at vanninjeksjonssystemet på oljeplattformen Ivar Aasen var et aktuelt område å undersøke mulighetene for prediktivt vedlikehold på.

Å gjennomføre oppgaven som et tverrfaglig samarbeid har vært både lærerikt og utfordrende. Medlemmene kom inn i gruppen med ulik faglig bakgrunn og erfaring. En av gruppemedlemmene har fagbrev som industrimekaniker og erfaring fra vedlikehold og andre kommer rett fra videregående. Vi mener dette har bidratt til at oppgaven både har en praktisk og teoretisk tilnærming.

Vi anser at kombinasjonen mellom bakgrunn fra drift- og vedlikeholdsstudiet og olje- og gasstudiet er en bra sammensetning for å løse denne oppgaven på en god måte. Vi mener også at vår ulike bakgrunn har ført til at vi har dekket ulike aspekter og sikret et bredt perspektiv når vi har skrevet denne oppgaven.

Problemstilling

Hvordan kan Aker BP nyttiggjøre seg av tilgjengelig tilstands- og driftsdata fra vanninjeksjonssystemet i innføring av prediktivt vedlikehold på vanninjeksjonspumpen på oljeplattformen Ivar Aasen?

Vanninjeksjonspumpen består av sentrifugalpumpe for vanninjeksjon og tilhørende elektrisk motor.

Bakgrunn for problemstillingen

Aker BP praktiserer slik det er definert i standarden NS-EN 13306 i dag hovedsaklig forhåndsbestemt- og delvis tilstandsbasert vedlikehold på Ivar Aasen-plattformen og andre installasjoner. Selskapet har som mål å innføre prediktivt vedlikehold på sine plattformer i størst mulig grad. Dette målet er del av en større visjon som Aker BP kaller "Field of the Future". Måten selskapet jobber mot å oppnå visjonen er en innovativ og utprøvende tilnærming, med fokus på hurtig utvikling og testing av nye metoder og teknologier.

For å gjøre de riktige tilnærmingene må eksisterende utstyr evalueres mot de riktige suksessfaktorer for innføring av prediktivt vedlikehold. Vanninjeksjonspumpen på Ivar Aasen er klassifisert som kritisk utstyr og Aker BP ønsker derfor en vurdering av mulighet for innføring av prediktivt vedlikehold på enheten.

Begrensninger

Oppgaven er i henhold til problemstillingen begrenset til å undersøke hvordan tilgjengelig tilstands- og driftsdata fra vanninjeksjonssystemet kan nyttiggjøres i innføring av prediktivt vedlikehold på vanninjeksjonspumpen på oljeplattformen Ivar Aasen.

Videre har vi gått i dybden og vist en case for prediksjon av følgende funksjonssvikt:

For vanninjeksjonspumpen:

Funksjonssvikt *"Pumper injeksjonsvann ved redusert hastighet / trykk"*, sviktmode *"Vibrasjon"* og svikteffekt *"Vibrasjon i lager"*.

For tilhørende elektrisk motor:

Funksjonssvikt *"Mislykkes i å konvertere elektrisk energi til mekanisk kraft"*, sviktmode *"Vibrasjon"* og svikteffekt *"Foringelse av lager fører til lagerkollaps og motorsvikt"*

Utvelgelsen er gjort på bakgrunn av FMEA (Failure Mode, Effect Analysis) utført på henholdsvis sentrifugalpumpe og elektrisk motor. Felles for utvelgelse på vanninjeksjonspumpe og elektrisk motor er at vi har fokusert spesielt på *"Vibrasjon i glidelager"*.

Da vi er studenter på maskiningeniør drift og vedlikehold og olje- og gassteknologi, har vi i denne oppgaven ikke gått i dybden av dataanalyse og hvordan tilstands- og driftsdata inngår i datamodeller og algoritmer for å predikere fremtidig vedlikeholdsbehov. Vi har sett på hvordan innsamlet tilstands- og driftsdata kan inngå i vedlikeholdstekniske analysemetoder som kan bidra til å oppnå økt innsikt fra innsamlet data, som videre kan utnyttes i prediktiv analyse.

Oppgavens oppbygging

Kapittel 1 er et teorigapittel om prediktivt vedlikehold hvor gruppen har gjennomført et litteraturstudie for å kartlegge betydningen av begrepet og metodene som inngår i en slik drift- og vedlikeholdstilnærming. På bakgrunn av litteraturstudiet fremkommer suksessfaktorer og suksesskriterier for innføringen av prediktivt vedlikehold.

Kapittel 2 inneholder en ståstedsanalyse og tar for seg en gjennomgang vedlikeholdsstrategi på Ivar Aasen og Aker BPs overordnede strategi for prediktivt vedlikehold. For å kvalitetssikre innholdet i kapitlet og innhente ny informasjon har bachelorgruppen utført kvalitative intervjuer med nøkkelpersoner i vedlikeholdsorganisasjonen til Ivar Aasen-plattformen og Aker BPs team for prediktivt vedlikehold. Her identifiser gruppen hvorvidt den prediktive vedlikeholdsstrategien passer inn i dagens vedlikeholdsstrategi for Ivar Aasen og kommenterer innholdet med hensyn på prediktivt vedlikehold. Videre presenteres i kapitlet relevante ressurser og det nåværende vedlikeholdsprogrammet for vanninjeksjonspumpen med tilhørende kartlegging av tilstandskontroll som utføres på vanninjeksjonspumpen.

Kapittel 3 består av funn og resultater fra ståstedsanalysen og diskusjon rundt disse. Her sammenlignes definerte suksessfaktorer for prediktivt vedlikehold med nåstatus for Aker BP. Etter en gjennomgang av utført FMEA kommer en case for hvordan tilstands- og driftsdata kan bidra til å predikere utvalgte funksjonssvikt.

Kapittel 4 består av en oppsummert besvarelse av resultatmål, konklusjon for oppgaven og anbefalinger til hvordan Aker BP kan organisere prediktivt vedlikehold på vanninjeksjonspumpen på Ivar Aasen, og videre i selskapet.

Metode

I dette kapittelet vil vi beskrive de metodene vi har benyttet for å besvare problemstillingen i denne oppgaven. Når man skriver en akademisk tekst er det viktig at metodene som benyttes dokumenteres godt slik at arbeidet og resultatet er etterprøvbart. Det skal være mulig for leseren å benytte de samme metodene og komme fram til samme resultat. (Rienecker og Stray Jørgensen 2013) Under følger en definisjonen av vitenskapelig metode:

En vitenskapelig metode er en systematisk fremgangsmåte som kan eksplisiteres slik at leseren har mulighet til å gjenta undersøkelsen og nå fram til samme resultat på de premissene som er beskrevet. Metode og systematikk er kjernen i vitenskap. (Rienecker og Stray Jørgensen 2013)

Videre beskriver vi hvordan vi har innhentet data for å besvare forskjellige deler av oppgaven:

- Hvordan vi har utført kildekritikk
- Hvorfor vi har valgt de metodene vi har
- Eventuelle styrker og svakheter ved valgte metoder

Det er vanlig å skille mellom de to hovedmetodene kvalitativ- og kvantitativ undersøkelsesmetode. Vi har i denne oppgaven hovedsakelig valgt kvalitative metoder. Dette er fordi vi skal gå i dybden og undersøke muligheter innenfor et ganske snevert område. Vi anser det derfor som mest hensiktsmessig å studere dette området i detalj, og da er kvalitative metoder de mest treffende. (Rienecker og Stray Jørgensen 2013)

En begrensning ved kvalitativ metode er at det kan være vanskelig å si noe generelt basert på en begrenset mengde observasjoner. (Rienecker og Stray Jørgensen 2013) Vi tar i denne oppgaven for oss et spesifikt område og mener derfor at denne problemstillingen ikke forhindrer oss fra å velge kvalitativ metode.

Under følger en beskrivelse av de kvalitative metodene vi har benyttet for å innhente informasjon i oppgaven.

Litteraturstudie

Vi har gjennomført en litteraturstudie der vi har studert teori som vi anser nødvendig å fordype seg i for å være kvalifisert til å besvare resultatmålene, og beskrevet aktuelle tema som oppgaven tar for seg. Vi har utført kildekritikk ved at vi har fokusert på at de kildene vi har benyttet skal være gode og troverdige. Dette har vi gjort ved å benytte oss av anerkjente søkemotorer for akademiske tekster, slik som Google Scholar og NTNU Universitetsbiblioteket (Oria), og gjennom disse søkemotorer lest på forskjellige tidsskrifter og forskningsrapporter. Vi har sett på antall siteringer, årstall rapportene er skrevet, og på denne måten vurdert om vi har ønsket å benytte rapportene som informasjon i vår oppgave.

Intervjuer

For å innhente empirisk data, og informasjon om vanninjeksjonspumpen og vedlikehold på den, har vi gjennomført en rekke intervjuer og møter med et bredt utvalg personer i og utenfor bedriften vi har skrevet oppgaven i samarbeid med. Før intervjuer har vi forberedt oss godt, og skrevet ned spørsmål på forhånd som gruppen har gjennomgått sammen. Dette har vi gjort for å sikre at vi har gode spørsmål som åpner og legger til rette for at intervjuobjekt ønsker å svare så detaljert på spørsmål som mulig.

Vi har utført personlige dybdeintervjuer ansikt til ansikt, over Skype, via epost og via telefon. Vi har også hatt mange samtaler med forskjellige personer i bedriften der ny informasjon har kommet frem, og dannet grunnlag for enda flere intervjuer. Dette har vi gjort for å sikre at informasjonen vi har benyttet er korrekt og representativ.

Vår oppgave tar for seg et tema som dekker mange disipliner, og det har derfor vært nødvendig å utføre intervjuer av personer fra forskjellige fagområder i bedriften for å få gode og detaljerte svar. Det er også mange aktører som er involvert i vedlikehold på en oljeplattform, og vi har derfor utført intervjuer, møter, samtaler og epostkorrespondanse med flere personer både internt og eksternt. Internt har vi gjennomført intervjuer av personer både lokalt i Trondheim, men også sentralt i selskapet andre steder i landet, som for eksempel Oslo og Stavanger. Eksternt har vi hentet informasjon fra flere eksterne selskaper som er involvert i vedlikeholdet på oljeplattformen Ivar Aasen.

En utfordring ved intervjuer er hvordan man skal inkludere de i selve rapporten. Man kan ikke ta med alt som kommer fram i intervjuene, men må samtidig få frem at informasjonen er innhentet i form av personlige intervjuer. Vi har i denne oppgaven valgt å skrive i teksten at informasjonen har kommet fram i intervjuer, og referert til intervjuobjekt i teksten. Vi har avklart med personene vi har intervjuet at det er greit at vi bruker navn på personen / bedriften i teksten.

Dokumentstudier

For å løse denne oppgaven har vi valgt å utføre en rekke studier av dokumenter fra bedriften. Vi har studert strategidokumenter, tekniske spesifikasjoner, standarder, interne presentasjoner og tekniske dokumenter. Vi har valgt å studere strategidokumenter fordi vi mener det er viktig å starte overordnet med å sikre at tema oppgaven tar for seg er forankret på øverste nivå.

Oppgaven tar for seg en teknisk komponent, og det har derfor vært nødvendig å studere tekniske spesifikasjoner på komponenter samt teknisk dokumentasjon, tegninger og koblingsskjema av relevante områder. Vi har valgt ut spesifikke komponenter som vi har gått i dybden av for å sikre at vi ikke kartlegger bare overflaten, men også går dypt nok til at funn vi gjør i oppgaven skal gi verdi for bedriften vi skriver oppgaven i samarbeid med.

Veiledning eksternt og internt

I løpet av oppgavegjennomføringen har vi hatt ukentlige møter med intern veileder fra NTNU og ekstern veileder fra Aker BP. Dette har hjulpet oss i å holde oss på riktig vei og har sikret at vi har fått stilt spørsmål vi har hatt fortløpende. Vi har benyttet møter med ekstern veileder fra Aker BP til å oppklare ting som usikkerhet rundt informasjon som har kommet frem i ulike intervjuer, og har derfor verifisert at vi har forstått informasjon riktig. Vi har også brukt møtene til å få hjelp til å finne teknisk dokumentasjon som vi har hatt behov for i oppgaveløsningen.

Intern veiledning med veileder fra NTNU har vi benyttet til å spørre om tekniske vedlikeholdsrelaterte spørsmål, slik som tips til relevante analysemetoder for tilstandsdata. Vi har også fått råd om kapittelstruktur, informasjonsinnhenting og kvalitetssikring av spørsmål til intervjuer.

Teori

Dette kapittelet tar for seg en litteraturstudie av prediktivt vedlikehold. Innledningsvis har vi belyst en historisk utvikling som er bakgrunn for vedlikeholdsformen. Bachelorgruppen har undersøkt hvilke metoder prediktivt vedlikehold innebærer, og relevante temaer knyttet til begrepet. Målet har vært å få dekket flest mulig aspekter av hvordan dette kan innføres og utføres.

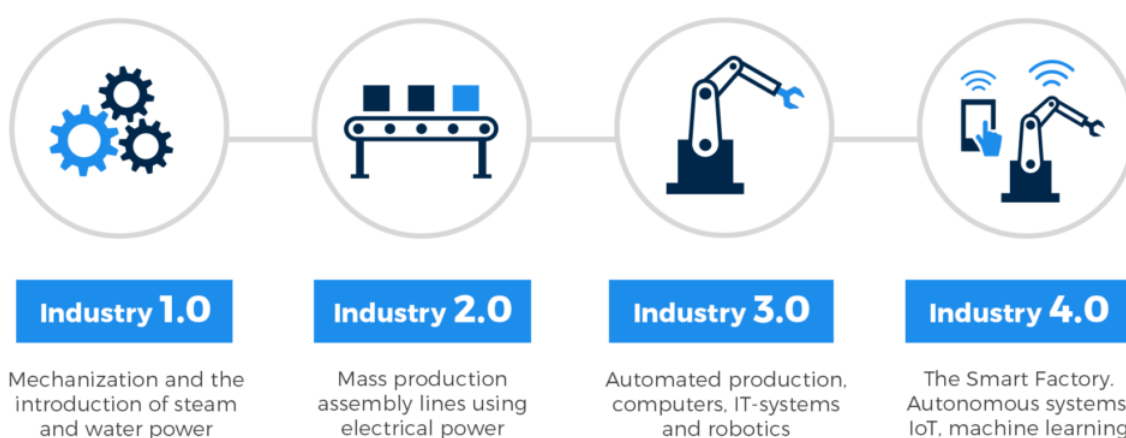
Vi har brukt studien til å fremstille en rekke suksessfaktorer og suksesskriterier for innføring av prediktivt vedlikehold, samt fallgruver Aker BP kan møte på dersom suksessfaktorene ikke innfris. Hensikten med dette har vært å kunne diskutere hvorvidt selskapet møter disse i dag og dermed belyse hva som må bli gjort for å muliggjøre innføring av prediktivt vedlikehold på vanninjeksjons-pumpen senere i oppgaven.

1.1 Industri 4.0

Vi er midt i en enorm omveltning innen industri som er drevet av digitalisering. Denne overgangen er så betydningsfull at den regnes for å være den fjerde industrielle revolusjon, omtalt som Industri 4.0. Den første industrielle revolusjonen gikk ut på å anvende vann- og dampkraft til å drive maskiner, mens man i den andre byttet ut slik primitiv drivkraft med elektrisitet. Integrering av datamaskiner og automasjon var betydningsfullt for industri og ses på som den tredje industrielle revolusjon. Denne utviklingen er illustrert i figur 1.1. (Ravnå 2016)

Industri 4.0 utnytter datamaskiner enda mer enn i den tredje industrielle revolusjon, ved å koble sammen datamaskiner med fysiske maskiner via internett. Dette gjør at avgjørelser kan tas uten menneskelig innblanding og er en forbedring av automasjon ved å gjøre systemer autonome, noe som i stor grad er drevet av maskinlæring og kunstig intelligens. (Ravnå 2016)

The Four Industrial Revolutions



Figur 1.1: De fire industrielle revolusjonene (spectral 2018)

Oljeselskaper begynte å integrere digital teknologi inn i industrien allerede på 1980-tallet. Målet var å skaffe en bedre forståelse av produksjonspotensialet til reservoarer, og forbedre miljø, sikkerhet og effektiviteten av olje- og gassproduksjon rundt om i verden. Men det siste tiåret har ikke olje- og gassindustrien utnyttet ny teknologi og datainnsamling effektivt. En borerigg kan for eksempel generere flere terabyte med ulik data hver eneste dag uten at mer enn en ubetydelig del av dataen blir brukt til å ta avgjørelser. (World Economic Forum 2017)

Fly- og bilindustri på verdensbasis har revolusjonert drifts- og operasjonsmodellen sin gjennom anvending av digital teknologi, hvor innsamling av data knyttet til drift og tilstand inngår i autonome systemer som optimaliserer produksjonen. Olje- og gassindustrien står nå ovenfor en tilsvarende revolusjon. (World Economic Forum 2017)

Selv om samfunnet ser på digitalisering som en positiv utvikling som åpner for effektivisering av mange sektorer, kan denne revolusjonen også ha negative sider. Når digitale systemer krever høy kompetanse for å forstå og anvende vil færre mennesker være i stand til å delta i arbeidslivet. Dette kan igjen skape større klasseforskjeller. (Vasilyevich 2018)

1.1.1 Internet of Things

Internet of Things (IoT) er et system av sammenhengende databehandlingsenheter, mekaniske og digitale maskiner, objekter, dyr eller mennesker som er tildelt unike identifikatorer og evnen til å overføre data over et nettverk uten å kreve menneske-til-menneske eller menneske-til-computer samspill. (Rouse 2019) Industriell IoT går ut på at alle enheter i et industrianlegg skal kunne kommunisere gjennom internett. Dette vil i praksis si at selv små komponenter på anlegget vil være koblet til nett og sende informasjon om for eksempel drift og tilstand, men også miljøet rundt komponenten. Andre systemer skal kunne bruke denne dataen til å optimalisere drift av utstyr og operasjoner. (Wortmann 2015) (Ravnå 2016)

En av utfordringene rundt etablering av IoT er svært høye kostnader knyttet til implementering av systemer og sensorer, men også sikkerheten knyttet til dataoverføring. Problematikk rundt datasikkerhet er beskrevet i kapittel 1.6 "Data-sikkerhet". (Vasilyevich 2018)

1.1.2 Big data

Moderne offshore oljeplattformer har omtrent 80,000 sensorer, som er spådd til å generere ca. 15 petabytes med data i løpet av sin livstid. *Big data* er et uttrykk brukt for å beskrive store volum av strukturert, semi-strukturert og ustrukturert data. (Rouse 2019) Dette store volumet av data kan analyseres gjennom maskinlæring og andre intelligente systemer som hjelper firmaer å navigere den enorme datamengden. I januar 2017 holdt omtrent 36 % av olje- og gasselskaper på å investere i *big data* og analyser, men bare 13 % brukte innsikten fra teknologien til å drive deres tilnærming til markedet og deres konkurrenter. (World Economic Forum 2017) (Ravnå 2016)

1.1.3 Cyber-Physical System (CPS)

Cyber-Physical System (CPS) er et system hvor en datamaskin kommuniserer med en fysisk maskin gjennomt IoT. Et datasystem kontrollerer maskinen gjennom tilbakemeldinger fra sensorer og andre tilstandsindikatorer. (Ravnå 2016)

1.2 Prediktivt vedlikehold

Prediktivt vedlikehold er en vedlikeholdsform der man ønsker å analysere seg fram til når vedlikehold vil være nødvendig. På grunn av en stadig økt konkurransesituasjon og større krav til produktivitet er det i dag et stort fokus på denne vedlikeholdsform. Som resultat av den teknologiske progresjonen utvikles det stadig nye verktøy og systemer som gjør denne formen for vedlikehold mer aktuell. (Mobley, Higgins og Wikoff 2008)

Den viktigste forutsetningen for prediktivt vedlikehold er regelmessig overvåking av den faktiske mekaniske tilstanden, driftseffektiviteten og andre indikatorer for driftstilstanden av komplekse mekaniske- og prosesssystemer. Ved innsamling og analyse av denne dataen ønsker man å sikre maksimal tid mellom reparasjoner og minimere kostnader av og antall uplanlagte stopp forårsaket av feil i et anlegg. (Mobley, Higgins og Wikoff 2008)

På denne måten ønsker man å oppnå forbedret pålitelighet, produktivitet, produktkvalitet og den totale effektiviteten til et produksjonsanlegg. I prediktivt vedlikehold anvendes de mest kostnadseffektive verktøyene for vibrasjonsovervåking, termografi og tribologi for å identifisere den virkelige tilstanden til kritiske komponenter i et anlegg, og basert på disse faktiske datasettene kartlegges de nødvendige vedlikeholdsoperasjonene for å sikre videre drift av anlegget. (Mobley, Higgins og Wikoff 2008)

Under følger Norsk Standards definisjon av prediktivt vedlikehold:

NS-EN 13306:2017 - Vedlikehold - Vedlikeholdsterminologi - Vedlikeholdstyper

Prediktivt vedlikehold

Tilstandsbasert vedlikehold som utføres etter en prognose utledet av gjentatt analyse eller kjente egenskaper og evaluering av de vesentlige parameterne for degradering av enheten. (Standard Norge 2019)

For å unngå forvirring når man snakker om prediktivt vedlikehold til daglig er det viktig å skille mellom det standarden beskriver som tilstandsbasert vedlikehold og prediktivt vedlikehold. Tilstandsbasert vedlikehold kan være både prediktivt- og ikke-prediktivt vedlikehold. Derfor er det ryddig å bruke betegnelsen *prediktivt vedlikehold* og ikke *tilstandsbasert vedlikehold* når man snakker om prediktivt vedlikehold. Forskjellen er illustrert i figur 1 over.

Standarden NS-EN 13306:2017 beskrivelse av tilstandsbasert vedlikehold:

Tilstandsbasert vedlikehold

Forebyggende vedlikehold som omfatter vurdering av fysisk tilstand, analyse og mulige påfølgende vedlikeholdstiltak.

Begrepsmerknad 1: Tilstandsvurderingen kan gjennomføres ved observasjon foretatt av operatør og/eller inspeksjon, prøving, overvåking av tilstanden til systemparametere osv. i henhold til en tidsplan, på forespørsel eller kontinuerlig. (Standard Norge 2019)

1.3 Tilstandskontroll

Tilstandskontroll er en samlebetegnelse på metoder utført for å finne tilstanden til en gjenstand. Tilstandskontroll kan være kontinuerlig eller periodisk og inkluderer å overvåke tilstanden til en enhet i drift mot forhåndsbestemte parametere. Tilstandskontroll inkluderer både inspeksjon og tilstandsovervåking (Moble, Higgins og Wikoff 2008), som beskrives på følgende måte av standarden NS-EN 13306-2017 – Vedlikeholdsterminologi:

Inspeksjon

Undersøkelse av samsvar ved hjelp av måling, observasjon eller prøving av de relevante egenskapene ved en enhet.

Tilstandsovervåking

Aktiviteter som utføres enten manuelt eller automatisk, og som måler, i forutbestemte intervaller, en enhets faktiske fysiske tilstand med hensyn til egenskaper og parametere

Begrepsmerknad 1: Overvåking skiller seg fra inspeksjon ved at overvåking brukes til å evaluere eventuelle endringer i enhetens parametere over tid.

Begrepsmerknad 2: Overvåking kan skje kontinuerlig, i et tidsintervall eller etter et gitt antall operasjoner.

Begrepsmerknad 3: Overvåking utføres vanligvis i driftstilstanden.

(Standard Norge 2019)

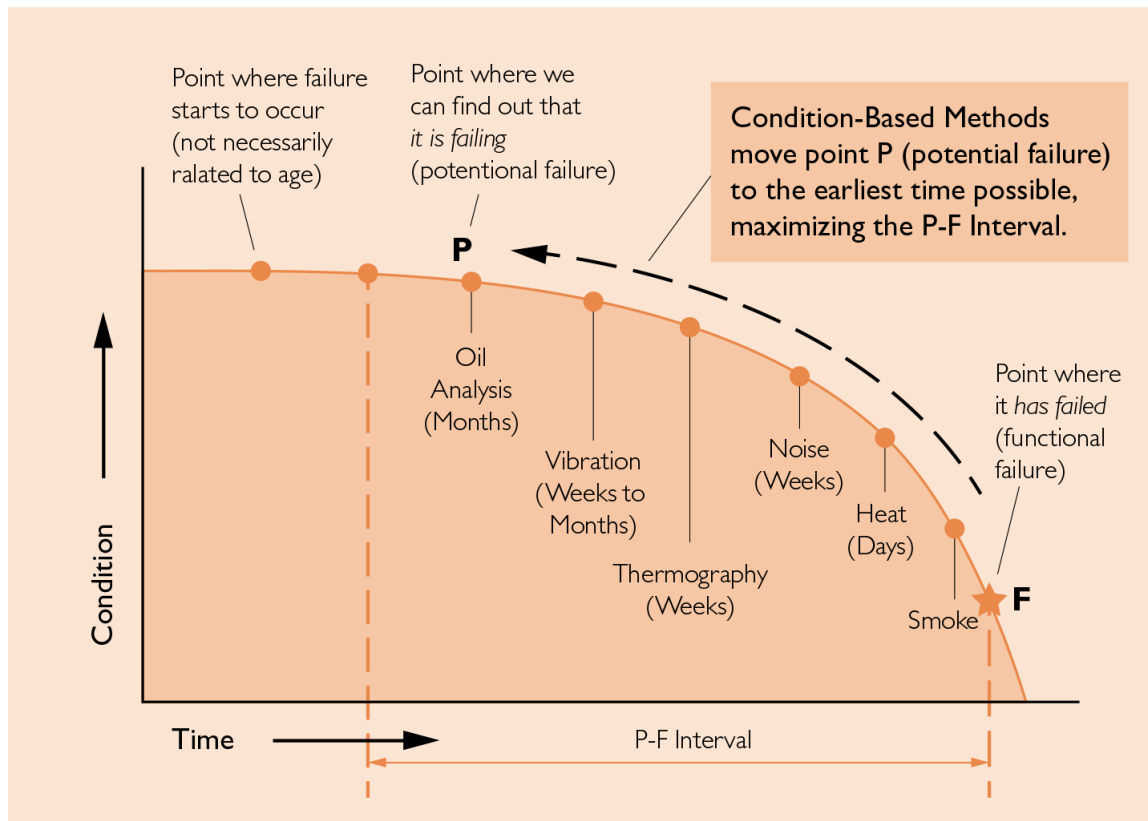
Visuell inspeksjon

Visuell inspeksjon er en praktisk form for tilstandskontroll hvor man inspiserer det aktuelle utstyret med egne sanser. Rutinemessig visuell inspeksjon av maskiner er en viktig del av et prediktivt vedlikeholdsprogram. Grunnen til det er at enkelte komponenter ikke egner seg for prediktivt vedlikehold, som f.eks. løse deksler. Visuell inspeksjon øker kvaliteten på vedlikeholdsprogrammet uavhengig hvilke andre tilstandsdata man registrerer. (Mobley, Higgins og Wikoff 2008) Med moderne verktøy kan kritiske deler av en visuell inspeksjon automatiseres. Røyk- og lydsensorer vil kunne fange opp viktige indikatorer som oppstår sent under sviktutvikling, se figur 1.2. (Agnisarman mfl. 2019)

Tilstandsovervåking

Tilstandsovervåking er metoder med hensikt å finne den faktiske tilstanden på utstyr. De ulike metodene vil kunne gi ulik forvarslings tid, altså tiden fra man oppdager en indikator på begynnende svikt til vedlikeholdsobjektet svikter, som illustrert i figur 1.2. Det er hensiktsmessig med tilstandsovervåking av flere tilstandsindikatorer for å både kunne oppdage svikt med lang forvarslings tid og svikt som oppstår raskt med store konsekvenser. (Bye 2009) Metodene foregår kontinuerlig eller periodisk for å innhente data om hovedsakelig fem ulike tilstandsparametere:

- Vibrasjon
- Smøreevne
- Prosessparametre
- Temperatur



Figur 1.2: Illustrasjon av intervallet P-F og hvor i feilutviklingen de ulike indikatorene fremtrer. (Dale 2013)

Det vil ofte kunne gi bedre grunnlag for å predikere resterende levetid (RUL) på utstyr dersom man tar i bruk flere metoder for tilstandsovervåking. Grunnen til dette er at prediksjonen gis på bakgrunn av analyse som kan detektere flere mulige feil. Som vist i figur 1.2 vil ulike former for tilstandsovervåking indikere sviktmode ved forskjellig tidspunkt i utviklingen av en svikt. Et annet kriterium for en god analyse er nøyaktig måling. Unøyaktig data gir tilsvarende unøyaktig prediksjon. Redundans på tilstandsovervåking kan benyttes som ledd i kvalitetssikring av målekjeden. (Mobley 2002)

1.4 Metoder for tilstandsovervåking

1.4.1 Vibrasjonsovervåking

Analyse og overvåking av vibrasjon er en utbredt form for tilstandsovervåking. Man kan innhente vibrasjonsprofil fra alle maskiner med roterende deler. Maskiner som vibrerer mindre er ofte mer energieffektive og trenger mindre vedlikehold. (Beebe 2004).

For å kunne utnytte vibrasjonsanalyse i prediktivt vedlikehold og diagnostisering av sviktårsaker må man kunne differensiere mellom normal og unormal vibrasjonsprofil.

(Mobley 2002)

Begrepsavklaring av ordet frekvens

Bachelorgruppen anser det nødvendig å avklare begrepet frekvens i sammenheng med vibrasjon. Frekvens i denne sammenheng blir i litteraturen vi har studert brukt både når det gjelder vibrasjonsfrekvens og loggefrequens. Vi har derfor valgt å benytte begrepene vibrasjonsfrekvens når vi snakker om vibrasjonssvingninger og begrepet loggehastighet når vi snakker om loggefrequens. Vibrasjonsdata med høy loggefrequens vil derfor omtales som vibrasjonsdata med høy loggehastighet.

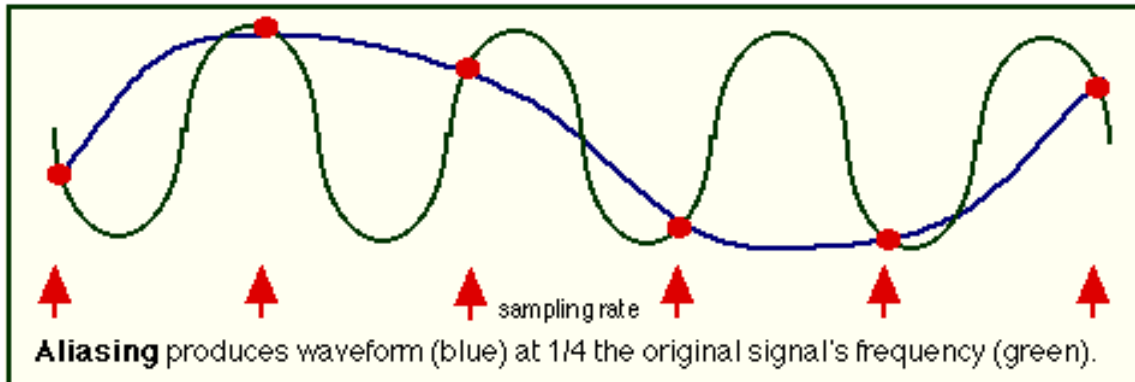
Analysemetoder for vibrasjon

Det finnes ulike metoder for analyse av vibrasjon. Hvilken analysemetode man bruker er avhengig av sensortype som igjen velges ut fra hvilket maskineri man skal tilstandsovervåke. På tynge, roterende komponenter er det vanlig med avstandssensor som registrerer forskyvning, som måler vibrasjon i et tidsbilde. En avstandssensor vil kunne registrere lave vibrasjonsfrekvenser. Andre typer sensorer kan utføre registrering av pulseringer eller akustiske bølger.

I følge standarden for vibrasjon i maskineri, ISO 10816-3, foretrekkes det at en horisontal maskin er utstyrt med sensorer som overvåker vibrasjon både i vertikal og horisontal retning. (International Standard 2009) Disse sensorene vil altså måle avstandsending til måleobjektet både i x- og y-retning. Standarden sier også at sensorene skal plasseres slik at målingene gir en rimelig representasjon av lagerhuset, og ikke inkluderer lokal resonans eller amplifikasjon. Faren med å plassere sensorer feil er da at resonans og amplifikasjon vil kunne gi vibrasjonsdata som ikke er representativ. (*Pump vib. test* 2013)

Ved installasjon av en pumpe analyseres vibrasjonsprofilen på den ”friske” pumpen. Dette kalles en site test. Vibrasjonsprofilen som her fremkommer kan brukes som referanse gjennom pumpens levetid. Selve tilvirkningen og installasjonen av en pumpe vil prege vibrasjonsmønsteret på denne testen og derfor er det viktig at testen utføres etter at pumpen er installert. (*Pump vib. test* 2013)

Felles for flere av analysemetodene for vibrasjon beskrevet i oppgaven er et krav om vibrasjonsdata med høy loggehastighet for å oppdage en tidlig indikasjon på sviktutvikling. I følge Nyquist-teoremet må bølgeform logges med over dobbelt så stor hastighet som den høyeste vibrasjonsfrekvensen vi ønsker å måle. I praksis gjennomføres dette ved å sample med 2,56 ganger høyere loggehastighet enn den høyest frekvensen man ønsker å registrere. Tillegget kommer av at man ønsker å sikre at man logger den faktiske svingningen, spesielt ved ujevn vibrasjonsfrekvens. Aliasing er et problem hvor loggehastigheten er for lav og gir et frekvensbilde som ikke representerer den faktiske frekvensen, slik det er vist i figur 1.3. (Institute 2016) (Hass 2018)

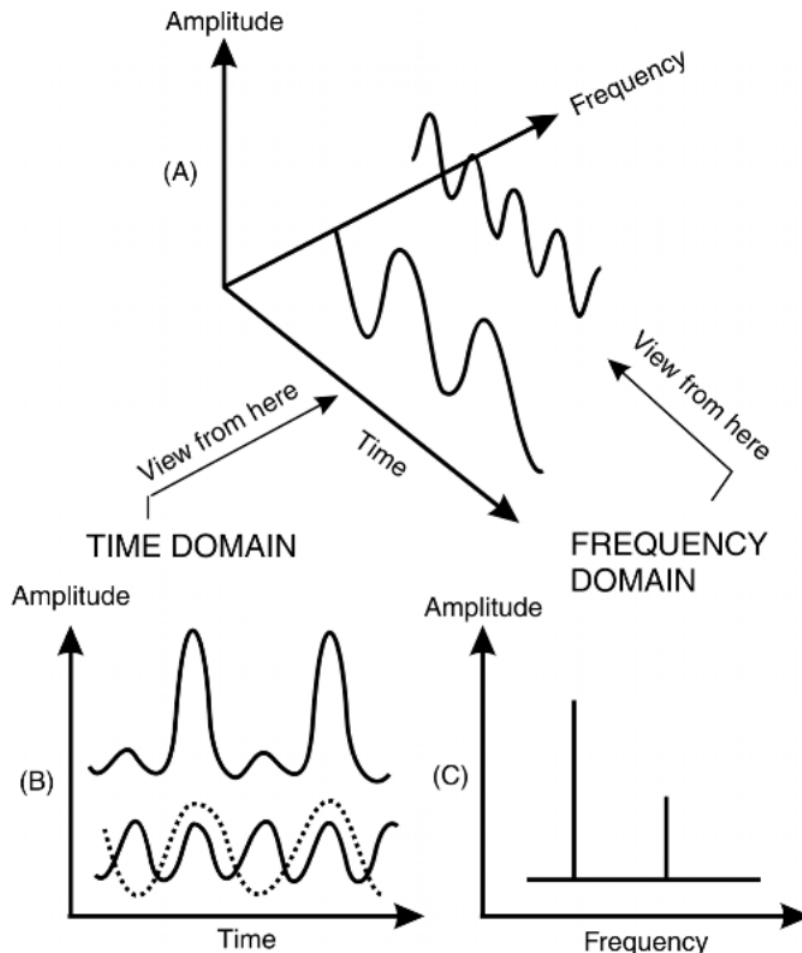


Figur 1.3: Illustrasjon av aliasing (Hass 2018)

Tilstrekkelig domenekunnskap er essensielt for å kunne forstå vibrasjonsdata korrekt. For eksempel kan vibrasjonsdata ses i sammenheng med drifts- og prosessdata, da endring i prosessen kan gi endring i vibrasjonsmønster uten at det behøver å være tegn på feil. (Moblely, Higgins og Wikoff 2008) (Beebe 2004) Mange årsaker til vibrasjon vil være normale og ikke-skadelige, som for eksempel roterende skaft og tannhjul som kan gi utslag i form av vibrasjon. Disse vil identifiseres og kartlegges under den initielle vibrasjonsprofilen. I noen tilfeller kan det være økonomisk hensiktsmessig med et visst vibrasjonsnivå fremfor å bruke store ressurser på maskinering og oppretting for å eliminere vibrasjonsnivå. (Moblely, Higgins og Wikoff 2008) (European association of pump manufacturers 2013)

Fouriertransformasjon

Fouriertransformasjon, illustrert i figur 1.4, er en utbredt metode for å uttrykke periodiske funksjoner. Metoden er vanlig til bruk av vibrasjonsdata som registreres med avstandssensorer. (Veiledning 2019)



Figur 1.4: Fouriertransformasjon (Scheffer og Girdhar 2004)

Avstandssensorene registrerer analoge signaler i et tidsdomene. I en Fouriertransformasjon omformes disse komplekse bølger til harmoniske komponenter uttrykt i et frekvensdomene. Frekvensdomenet er det mest effektive formatet til diagnostisering av feil på roterende maskineri. Analyse av vibrasjonsamplitude i frekvensdomenet indikerer feil- og sviktutvikling, dette brukes til selve diagnostiseringen, men krever høy kompetanse og erfaring for å kunne utføre. (Scheffer og Girdhar 2004)

Støtpulsmetoden (SPM)

Fordi pumper består av mange bevegelige deler er overvåking og analyse av vibrasjon en av de mest utbredte formene for tilstandsovervåking av pumper. (Bebe 2004) Det finnes mange metoder for vibrasjonsanalyse. En mye brukt metode er støtpulsmetoden, forkortet SPM. SPM er en signalbehandlingsteknikk basert på 32 kHz sensor som brukes til å måle metallpåvirkning og rullestøy i kule- og rullelager. En skade i for eksempel et kulelager vil avgi et støt hver gang en kule passerer over skaden.(Sofronas 2012)

Ved SPM-metoden forsøker man å logge disse støtene på et så tidlig stadium som mulig, for å detektere en begynnende skade og dermed ha kontroll på tilstand i anlegget. En begynnende skade vil ha vibrasjoner med en svært høy frekvens. Det er derfor avgjørende at man foretar mange nok målinger per tidsenhet for å klare å fange opp det riktige vibrasjonsbildet og oppdage begynnende skade. Som vi også tidligere har vært inne på er vibrasjonsdata med høy loggehastighet særlig interessant når man ønsker å prediktere behovet for vedlikehold. (Sofronas 2012)

Støtpuls måles ved bruk av filtrering kombinert med et spesielt akselerometer beregnet for støtpulsmålinger. Det er nødvendig å forsterke støtsignalet fordi en begynnende skade vil gi fra seg svært lave signaler. En skade i et lager kan sammenlignes med at en bil kjører over et hull i veien. Hver gang hjulet passerer over hullet, vil et støt avgis. Ved å filtrere ut vibrasjoner fra motordur etc. vil man se vibrasjonene knyttet til hjulet som passerer hullet ganske tydelig. SPM er et verdifullt verktøy for å overvåke tilstanden til mange typer maskiner, og har evnen til å diagnostisere forestående skade før de har tid til å utvikle seg til en skadelig sviktilstand. (Sofronas 2012) (Yan mfl. 2017)

Vibrasjon er et eksempel på dynamiske signaler. For å kunne måle hele spekteret av vibrasjonene, er man som tidligere nevnt avhengig av å utføre mange logger per tidsenhet. Dette resulterer i enorme mengder data (*big data*) og er derfor svært utfordrende å håndtere. På grunn av den raske utviklingen innenfor digitalisering (Industri 4.0) er det i dag mer og mer realistisk å klare å håndtere slike enorme datamengder på en god måte, noe som legger til rette for ytterligere utvikling av prediktivt vedlikehold. (Sofronas 2012) (Yan mfl. 2017)

1.4.2 Tribologi, analysemetode for olje og fett

Ordet tribologi kommer fra det greske ordet *tribos* som betyr å gni. På norsk kan dette ordet tilsvare friksjon, slitasje eller smørevitenskap. Tribologi går ut på å analysere olje eller fett i komponenter, og kan brukes i analyser til å bestemme når vedlikehold er nødvendig, samt bidra til å beregne tilstanden på en enheten. (Bhushan 2013)

Selve prøvetakingen er kritisk for å kunne utføre en effektiv analyse. Uten en representativt prøve vil analysen være ugyldig. Prøven må tas på en måte som sikrer mest mulig informasjon per milliliter og gir mest mulig uniform konsentrasjon, altså at prøven ikke er forurenset. Dette gjøres ved å utføre prøvetaking på samme sted og samme måte hver gang. Det er også viktig at utstyret prøven tas med er rent. (Fitch 2004)

Det beste punktet å ta en prøve på er et sted hvor olje strømmer turbulent. Returlinjer som går til oljetank er et godt punkt å utføre prøvetaking på fordi dette punktet ofte vil gi det mest representative bildet av forurensning, mens en prøve tatt direkte fra tanken kan forurensninger være utblandet med ren olje. Filtre fjerner urenheter i olje og en prøve tatt rett etter et filter vil gi en dårlig representasjon av forurensninger. Personen som utfører prøvetakingen må være kjent med disse faktorene. (Fitch 2004)

Ved analyse av smøreolje kan man fastslå tilstanden på oljen som er blitt brukt i mekanisk utstyr. Analyser av smøreoljen kan gi en nøyaktig mengde av kjemiske elementer som slipemidler, tilsetningsstoffer eller metallforurensning i prøven, også betegnet som partikkelforurensning. De forskjellige analysemetodene er partikkelanalyse, spektrografisk- og ferrografisk analyse. (Mobley, Higgins og Wikoff 2008)

Partikkelforurensning klassifiseres vanligvis ut fra standardene ISO 4406 og NAS 1638. I norsk industri er ISO 4406 den mest brukte standarden innen partikkelanalyse. I henhold til ISO 4406 skal antall partikler angis med bestemte størrelser, i en bestemt mengde olje. (*Veiledning* 2019)

Partikkelanalyse

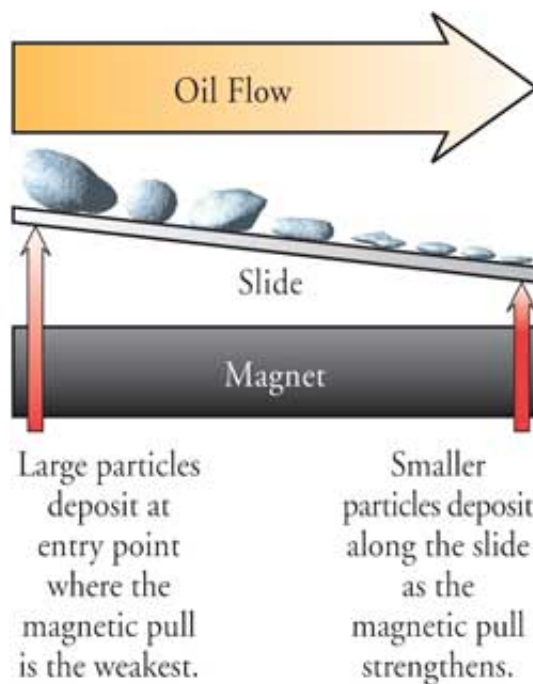
Partikkelanalyse gir indikasjoner på mengden av de forskjellige forurensningene i smøreoljen. Analysen kan kartlegge hvor mye som er slitt i området hvor smøreoljen ligger ved at partikler telles og vurderes. Dette kan gi informasjon om tilstanden på enheten. (Mobley, Higgins og Wikoff 2008)

Spektrografisk analyse

Spektrografisk analyse gir en rask måling av elementer i smøreoljen. Med denne analysen kan man bare se på partikler som har størrelser mindre enn 10 μm og gir derfor en mindre nøyaktig representasjon av den totale oljeforurensningen. Foredelen med denne analysen er at man kan identifisere ikke-metalliske partikler ettersom analysen ikke er avhengig av en magnet slik som i ferrografisk analyse. (Mobley, Higgins og Wikoff 2008)

Ferrografisk analyse

Ferrografisk analyse er en metode hvor man bruker magneter for å skille ut magnetiske partikler fra smøreoljen. Oljeprøver blir tatt direkte fra utstyret man undersøker. Analysen kan detektere partikler med størrelse ned til $10 \mu\text{m}$ og vanligvis opp til $100 \mu\text{m}$. Konsentrasjonen av ulike partikler brukes til å analysere maskinens tilstand. (Roylance 2005) Ferrografisk analyse krever at magnetiske partikler blir separert fra smøreoljen. Denne prosessen er vist i figur 1.5.



Figur 1.5: Magnet separerer partikler fra smøreoljen, og de arrangerer seg etter størrelse. (Barrett og McMahon 2019)

Hensikten med ferrografi er å tilstandsovervåke kritisk utstyr for å forhindre feil. Dette er en mer økonomisk løsning enn demontering av utstyr. (Moble, Higgins og Wikoff 2008) Ferrografi har ført til en rekke fremskritt innen oljeanalyse, blant annet følgende:

- Separasjon av partikler i velordnede, størrelsesrelaterte og hensiktsmessige kategorier.
- Fokus på omfang for å etablere informasjon om alle fire hovedpartikkel-egenskaper (kvantitet, størrelse, morfologi og sammensetning).
- Innføring av nye morfologiske beskrivelser og terminologi av partikler som er relatert til slitasjeforholdene som produserer dem.

(Roylance 2005)

Ferrografi har opprinnelig vært avhengig av manuell prøvetaking, men moderne metoder involverer automatisering av analyse ved å bruke online videosystemer. Et mikroskop med kamera i oljekretsen kan overvåke nivå av partikler og ta opptak. Opptaket av partikkelinnhold fra oljekretsen analyseres så ved bruk av kunstig intelligens. Resultatene fra en automatisert analyse er i dag gode nok til å kunne implementere denne metoden. (Xi mfl. 2018)

1.4.3 Prosessparametre

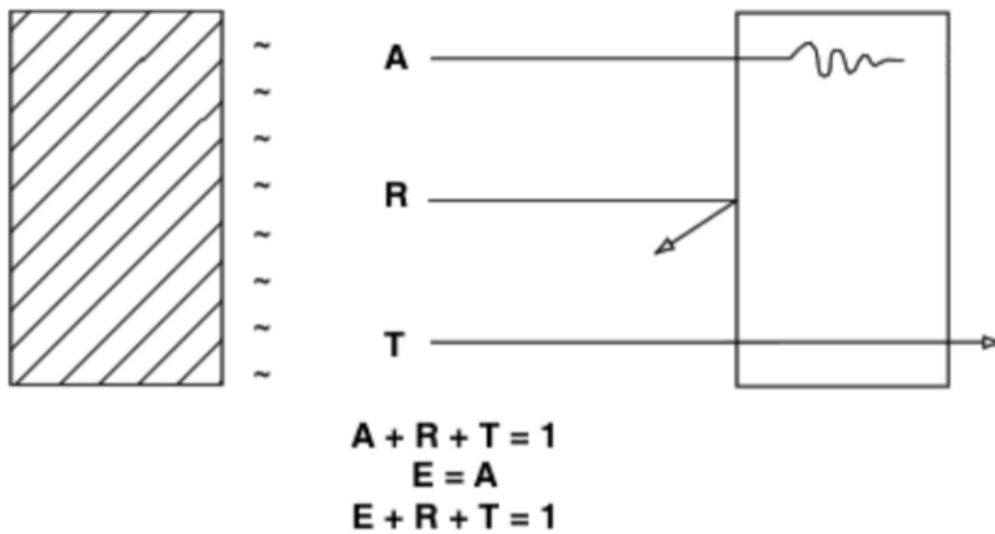
Dette begrepet innebærer målinger som indikerer utstyrets ytelse. Ytelse kan være en viktige indikator på tilstand og kan fremkomme tydelig ved trykk- og temperaturovervåking. Hvor godt en maskin yter avdekkes i mindre grad gjennom de andre formene for tilstandsovervåking, og en pumpe kan for eksempel operere med kun 50 prosent effektivitet uten at vibrasjonsovervåking og oljeanalyse fanger det opp. Prosess-ineffektivitet medfører begrensninger for operasjoner, derfor bør flere ulike prosessparametere implementeres i et prediktivt vedlikeholdsprogram. For en sentrifugalpumpe kan det for eksempel være aktuelt å se på sugetrykk og utladningstrykk i sammenheng med den tilhørende elektriske motorens strømforbruk. (Moble, Higgins og Wikoff 2008)

1.4.4 Termografi

Termografi (passiv termisk avbildning) er en termisk tilstandskontrollteknikk som kan brukes til å oppdage feil i mekanisk og elektrisk utstyr ved å overvåke hovedsakelig overflatetemperatur. (Bogue 2013)

Termografi er et verktøy som brukes innenfor prediktivt vedlikehold for å overvåke anlegg, maskineri, strukturer og systemer. Det brukes instrumenter som er designet for å overvåke utstrålt energi i form av infrarød stråling fra maskineriet til å bestemme utstyrets driftstilstand. Termografi oppdager områder som er varmere eller kaldere enn de skal være, slik at en erfaren inspektør kan lokalisere og definere initierende problemer. (Moblely, Higgins og Wikoff 2008)

Temperaturer på en flate over det absolutte nullpunkt ($-273,15^{\circ}\text{C}$) avgir energi i form av stråling. Infrarød stråling har den korteste bølgelengden av all stråling, og er usynlig uten spesielle verktøy som kan fange den opp. Temperaturmåling av en overflate på et objekt er komplisert ved bruk av infrarød metode fordi måleverktøyet kan oppfatte tre forskjellige termiske energier som kan påvirke resultatet som vist i figur 1.6. De tre forskjellige termiske energiene er energi som enheten selv lager, energi som blir reflektert på overflaten samt energi som blir overført til enheten. Det er energien som enheten selv sender ut som er relevant for et prediktivt vedlikeholdsprogram. Derfor må energiene som kommer fra refleksjon og som blir overført til enheten filtreres ut og dette gjør analysene kompliserte. (Moblely, Higgins og Wikoff 2008)

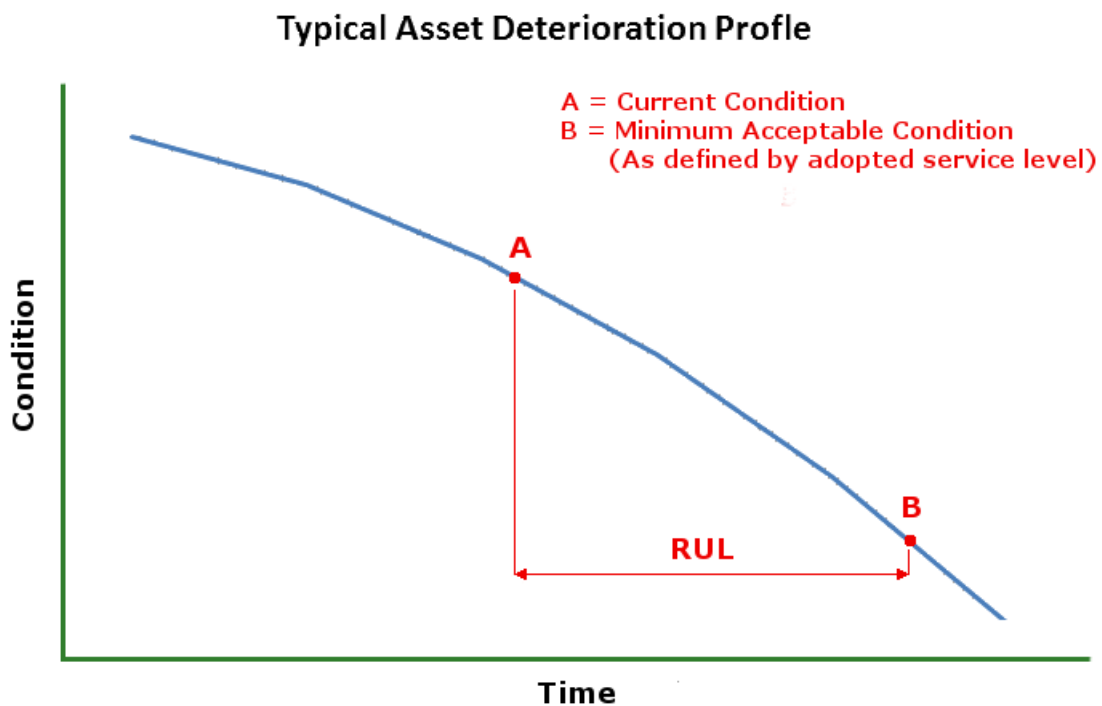


Figur 1.6: Energi i form av infrarød stråling hvor A=Absorbert energi, R=Reflektert energi, T=Overført energi og E=Utsendt energi (Mobley, Higgins og Wikoff 2008)

Ulike overflatebelegg på enheten som maling eller coating kan påvirke temperaturmålingene ved at de forhindrer energien fra å komme ut. Målingene som blir gjort må også ta hensyn til atmosfæren som er mellom objektet og det som blir målt. For høy luftfuktighet eller andre gasser kan absorbere energien fra enheten og kan dermed påvirke resultatet. Man må også passe på hvor mye støvpartikler som er i lufta samt varme fra lys som kan forvrengte strålingen. (Mobley, Higgins og Wikoff 2008)

1.5 Remaining Useful Life (RUL)

Remaining Useful Life (RUL) oversatt til gjenværende brukstid på norsk, er den tiden man kan forvente at en gjenstand kan utføre en krevd funksjon, ved et visst driftstidspunkt, som vist i figur 1.7. (Do van mfl. 2012) Se definisjon av krevd funksjon under kapittel for ”Definisjoner” og underkapittel ”Vedlikeholdsterminologi” i starten av oppgaven.



Figur 1.7: RUL illustrert i et tilstand-tid diagram (Studios 2019)

Beregning av RUL er en komplisert prosess. Tradisjonelt sett har RUL blitt beregnet ved bruk av statistiske modeller. (Do van mfl. 2012) Utfordringen med dette er at en statistisk modell ofte ikke gjenskaper virkeligheten. (Veiledning 2019) På grunn av den teknologiske utviklingen i de senere år har bruk av maskinlæring i beregning av RUL blitt mer aktuelt. Ved bruk av målinger og tilstandskontroll baserer maskinlæring seg i større grad på virkeligheten enn statistiske modeller. (Carroll mfl. 2019) Utfordringen med maskinlæring er å kalibrere maskinlæringsmodellene mot noe virkelig. Man kan ikke kjøre en mengde komponenter til havari og så kalibrere modellene etter det. Maskinlæring representerer derfor tilnærminger med noe usikkerhet. Det krever også stor datakapasitet og mye kunnskap til vasking og behandling av data. (Veiledning 2019)

Et annet verktøy som er aktuelt i beregning av RUL er såkalte digitale tvillinger. En digital tvilling er en digital kopi av en fysisk enhet. (Negri mfl. 2019) Men det er imidlertid også her prisgitt at den digitale tvillingen faktisk representerer den fysiske tilstanden på den fysiske enheten. Det er derfor svært viktig å få frem en tilstandsparameter som beskriver tilstanden der man skal måle. (Veiledning 2019)

1.5.1 Beregning av RUL ved bruk av maskinlæring

Maskinlæring er teknikker som muliggjør håndtering av Big Data for eksempel fra tilstands- og prosessovervåking til å gjøre bedre beslutninger, for eksempel for drift og vedlikehold. Dette er en form for kunstig intelligens som er basert på avanserte algoritmer. Disse algoritmene muliggjør at datamaskiner evner å lære og utvikle seg til å ta beslutninger. (Steria 2017) I prediktivt vedlikehold er dette en metode som kan beregne RUL. Man benytter fortsatt historiske data, men man ser på mer enn kun feilhistorikk og gjennomsnitt. Her benyttes store data-mengder fra forskjellige parametere som tilstands- og driftsdata for å forsøke å lære et system å beregne RUL og når det er nødvendig å utføre vedlikehold. (Carroll mfl. 2019)

En forskningsartikkel fra 2018 publisert i Wiley Online Library viser at kunstige nevralt nettverk gir den mest nøyaktige RUL-prediksjonen av tre maskinlæringsteknikker som ble testet. Denne studien viste at SCADA-data (*Supervisory Control and Data Acquisition*) kan brukes til å forutsi feil i opptil en måned før den oppsto. SCADA er en fellesbetegnelse for systemer innen styring og overvåking av industrielle prosesser. (Carroll mfl. 2019)

Ved å i tillegg inkludere vibrasjonsdata med høy loggehastighet i analysen fant de ut at man kunne predikere en feil til et nøyaktig tidspunkt, 5-6 måneder før feilen skjedde. Studien viser at de nevralt nettverket kunne forutsi feil 100% av tiden når de var trent med SCADA- og vibrasjonsdata. For å oppnå en så nøyaktig prediksjon er det en forutsetning at man har tilgang til store mengder historisk tilstands- og driftsdata (*Big Data*). Samarbeid for deling av data mellom leverandører og andre aktører kan tilgjengeliggjøre den nødvendige mengden data for å oppnå dette, og er derfor en viktig forutsetning. (Carroll mfl. 2019) (Duran-Ros mfl. 2008)

1.5.2 Beregning av RUL ved bruk av digital tvilling

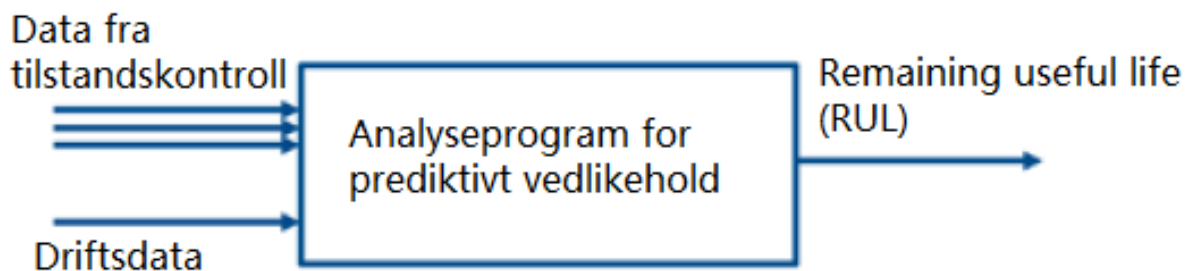
I løpet av de siste ti årene har simuleringer utviklet seg fra å være verktøy knyttet til meget spesifikke emner brukt av eksperter, til et mer allment virkemiddel brukt av ingeniører. På grunn av ny teknologi innenfor Industri 4.0 har bruken endret seg. Utnyttelse av *Cyber-Physical Systems* (CPS) muliggjør å bygge en kopi av en ekte prosess i en digital verden. En digital tvilling er en datamodell av et virkelig system, basert på algoritmer som kan mates med virkelig prosessdata for å simulere ulike scenarier. (Negri mfl. 2019)

Hensikten er å kunne forutsi hva som skjer med systemet når det utsettes for ulike driftsparametere. Dette muliggjør en mer nøyaktig feildiagnostisering og en bedre prediksjon av gjenværende brukbar levetid (RUL) med mer korrekte alarmgrenser. (Xu mfl. 2019) Det er imidlertid svært utfordrende å lage en digital tvilling som representerer en nøyaktig faktiske tilstanden til en komponent. Man snakker derfor om simuleringer med usikkerhet, spesielt med tanke på prediksjoner langt fram i tid. (Slevin 2018)

1.5.3 Sammenheng mellom tilstandskontroll, prediktivt vedlikehold og Remaining Useful Life (RUL)

Sammenhengen mellom tilstandskontroll, prediktivt vedlikehold og remaining useful life kan beskrives veldig enkelt på denne måten:

Aktuell data samles inn ved tilstandsovervåking og logging av relevant driftsdata. Denne dataen analyseres, og ut fra disse analysene regner man ut den gjenværende brukbare levetiden til en komponent (RUL), som vist i figur 1.8.



Figur 1.8: Illustrert sammenheng data, prediktivt vedlikehold og RUL (Martin mfl. 2018)

Denne tiden gir en indikasjon på når komponenten vil slutte å utføre en krevd funksjon. Man vet dermed når man bør utføre vedlikehold for å holde komponenten i en tilstand der den kan utføre krevd funksjon. Denne formen for vedlikehold kalles prediktivt vedlikehold.

Målet med prediktivt vedlikehold er å utføre vedlikehold på et så optimalt tidspunkt som mulig, slik at man får mest mulig ut av hver enkelt komponent og samtidig unngår svikt. For å oppnå dette er man avhengig av gode data, og dermed korrekt utførte tilstandskontroller. Å analysere seg fram til den korrekte gjenværende brukbare levetiden (RUL) er avansert fordi flere typer tilstandsdata med høy loggehastighet og nøyaktighet må inngå i analysen. Selve utførelsen involverer bruk av avanserte dataprogrammer som må utvikles av eksperter innenfor programmering i samarbeid med personer som har domenekunnskap og kompetanse innen analyse av tilstandsdata.

Prediktivt vedlikehold går under kategorien tilstandsbasert vedlikehold. Tradisjonelt sett består tilstandsbasert vedlikehold av det som i nyere tid blir betegnet som ikke-prediktivt tilstandsbasert vedlikehold. (Mobley, Higgins og Wikoff 2008)

En annen form for vedlikehold som kan minne om prediktivt vedlikehold er vedlikehold basert på Mean Time Between Failure (MTBF). Veldig forenklet forholder man seg her til statistikk og historikk, og forventer at en komponent skal oppføre seg likt som gjennomsnittet av de andre komponentene innenfor samme kategori. Denne formen for vedlikehold har i løpet av de siste årene blitt sett på som feil og upålitelig.

I en studie utført av SKF, en stor internasjonal leverandør og produsent av produkter, løsninger og tjenester innen lager og tetninger, ble 30 identiske lager testet under identiske forhold. Lagrene ble belastet til de til slutt sviktet. Denne studien viste at noen lager sviktet allerede etter 15 timer, mens andre holdt over ti ganger så lenge før de sviktet. Ett lager holdt i over 300 timer. Til tross for de samme lagrene og identiske forhold varierte MTBF stort. Denne studien konkluderte med at det er veldig vanskelig å regne seg fram til hvor lenge en komponent kan funksjonere basert på statistiske data. Dette viser derfor at det er uhensiktsmessig å kun anvende statistiske data til å beregne resterende brukbar levetid (RUL). (Hashemian 2011)

1.6 Datasikkerhet

Som tidligere forklart kan industrielle enheter være koblet til internett for å kunne lagre data og optimalisere utstyr og operasjoner gjennom IoT. Etter hvert som enheter kontrolleres mer fra internett gjennom CPS blir også systemer mer sårbare for cybersikkerhetsbrudd. Det er tre ting industrielle aktører må verne særlig om og bygge et godt sikkerhetssystem rundt:

- Beskyttelse av privat informasjon
- Opprettholde integriteten på informasjon
- Beskyttelse av systemer og eiendeler

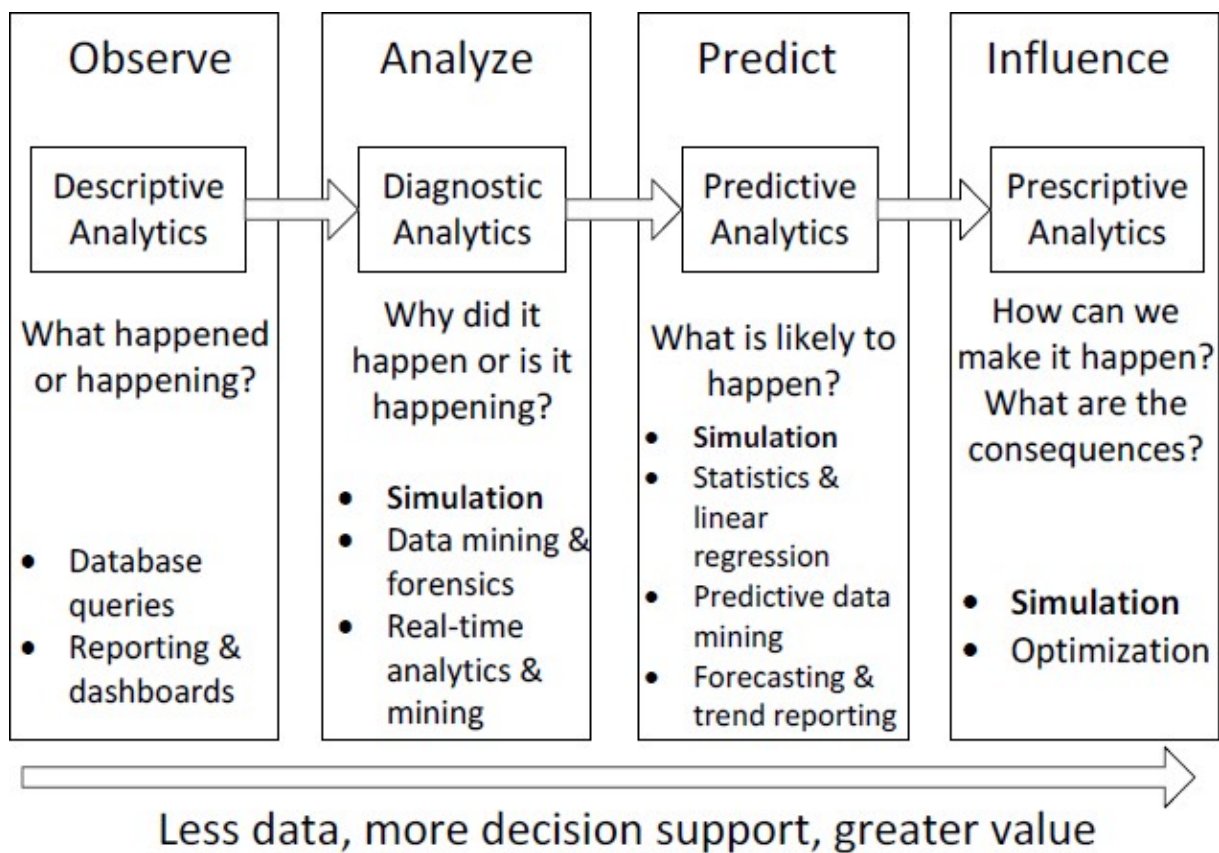
Ekspertene på cybersikkerhet anbefaler at arkitekturen til datasystemer gjemmer kritiske deler av systemet utenfor internett, slik at man ikke har adgang til informasjon og kontroll av enheter utenfor selve produksjonsområdet eller fabrikken. For eksempel kan man gjøre kontrollen av maskineri kun tilgjengelig via lokalt nett. Det kan fortsatt være koblet til IoT (*Internet of Things*), men på et lokalt internett som ikke andre utenfor anlegget har tilgang til. Altså kan IoT være et lokalt nettverk så vel som en del av det åpne internett. Datamaskiner som er synlige på det åpne internett krever en enda høyere grad av beskyttelse og cybersikkerhet. (Ravnå 2016)

1.7 Helse, miljø og sikkerhet

Prediktivt vedlikehold kan føre til at et anlegg opplever færre svikt og vedlikeholdsaksjoner. Denne vedlikeholdsformen kan dermed føre til at det oppstår mindre skader på personell under vedlikeholdsaksjoner og dermed forbedret sikkerhet. Økt grad av tilstandsovervåking vil kunne føre til lavere miljøpåvirkning i form av skadelige utslipp, da man vil oppnå økt kontroll på anlegg og systemer der kjemikalier håndteres. Dette vil skjerme mennesker for eventuell skadelig eksponering og øke sikkerheten ytterligere. (Mustakerov og Borissova 2013)

1.8 Metoder for analyse av data

Det finnes fire hovedmetoder for dataanalyse, illustrert i figur 1.9. Disse inkluderer deskriptiv, diagnostisk, prediktiv, og preskriptiv analyse av data. Fra venstre til høyre i figur 1.9 indikeres en fremgang i bruk av data til å uthente mer verdifull analyse og et høyere nivå av beslutningsstøtte (Shao, Shin og Jain 2014). Dette delkapittelet har til hensikt å vise utviklingen innen analyse av data og forklare hvordan de fire metodene utføres.



Figur 1.9: Innholdet i de fire analysemetodene (Shao, Shin og Jain 2014)

1.8.1 Deskriptive analyser

Deskriptive analyser kan oppsummeres som ”vitenskapen om å identifisere hva som skjer eller har skjedd”. Et viktig spørsmål er ”Hva?”. Analysen inkluderer presentasjon av prosessdata oppsummert for å gi meningsfull informasjon. Målet med en slik analyse er hovedsaklig å presentere ulike synspunkt av oppsamlet data, som overvåkingsdata fra sensorer og databaser, og finne mønster og trender i slik data. Generelt ser deskriptiv analyse på prosessene og årsakene i stedet for resultatet. (Shao, Shin og Jain 2014)

Utbytte fra en deskriptiv analyse er visualisering av produksjonen og ytelsesdata i form av tabeller, diagrammer og tegninger. Dette er for å oppsummere og rapportere trendene. (Shao, Shin og Jain 2014)

1.8.2 Diagnostiske analyser

Mens deskriptiv analyse er fokusert på hva som har skjedd er diagnostiske analyse fokusert på hvorfor det skjer eller har skjedd. Et viktig spørsmål er ”Hvorfor?”. Diagnostiske analyser hjelper til å identifisere årsakene som leder til en hendelse. Noen ganger er diagnostiske analyser inkludert i deskriptive analyser. (Shao, Shin og Jain 2014)

For diagnostiske analyser kan det videre være nyttig å ta i bruk en simulert modell av et system. Med en modell kan simulering utnyttes for å gjøre det enklere å identifisere årsakene som leder til en hendelse. (Shao, Shin og Jain 2014)

1.8.3 Prediktive analyser

Prediktiv analyse er bruk av statistiske- eller maskinlæringsmetoder for å gjøre spådommer om fremtidige eller ukjente utfall. Et viktig spørsmål er ”Hva vil skje når?” Prediktive modelleringsteknikker har blitt brukt for datautvinning i samfunnet i flere tiår, men har de senere år blitt mer aktuelt på grunn av utviklingen som har skjedd innenfor digitalisering. Metoden blir i dag brukt på områder som nasjonal sikkerhet, kriminalitetsforebygging, infrastrukturforvaltning, cybersikkerhet, svindeloppdagelser og ellers som beslutningsstøtte for komplekse oppgaver. (Brown, Abbasi og Lau 2015)

Som et resultat av den digitale utviklingen som har skjedd de siste årene blir det stadig større mengder data (*big data*), og volumet, hastigheten, variasjonen og data generert fra sensorer øker. Dette har ført til et behov for at de prediktive analysene går raskere, mer nøyaktig og at større databaser med varierende datakvalitet og kompleksitet benyttes i analysene. Disse forskjellene i prediksjonsområde, kombinert med de store datadimensjonene representerer en rekke spennende muligheter. Et eksempel kan være muligheten til å forutsi utfallet av et valg, basert på analyse av mange forskjellige meningsmålinger og befolkningens nettaktivitet på sosiale medier. (Brown, Abbasi og Lau 2015)

I prediktivt vedlikehold benyttes prediktiv analyse for å forutsi behovet for vedlikehold før en uventet feil faktisk har oppstått. Det innebærer periodisk eller kontinuerlig overvåking, innsamling og analyse av tilstands- og driftsdata og bidrar til betydelige reduserte kostnader og forbedret operativ tilgjengelighet. (Tyagi og Rajagopal 2017)

Selv om prediktivt vedlikehold er et stort fremskritt innen vedlikehold, har det likevel begrensninger. Big data kan analyseres feil av selv de mest avanserte algoritmer og analyseprogrammer. Dersom tilstand og RUL predikeres feil, altså når prediksjonen er basert på mangelfull data eller er feilanalysert, vil det kunne få fatale konsekvenser. Svikt kan potensielt oppstå før en planlagt vedlikeholdsaksjon og objektet må undergå korrektivt vedlikehold. Prediksjoner som indikerer svikt før reell svikt kan føre til unødvendig vedlikehold. (Mobley 2002) (Mobley, Higgins og Wikoff 2008)

1.8.4 Preskriptive analyser

Preskriptive analyser regnes som den siste grenen innen analyse og vil avslutte de tre første analysene deskriptive, diagnostiske og prediktive analyser. Analysen handler om hvordan man svarer på spørsmålene ”Hvorfor skal det gjøres?” og ”Hvordan skal det gjøres?” med hensyn på funn gjort i de tidligere analysene. (*Databases theory and applications* 2016)

Preskriptive analyser bruker optimalisering til å identifisere de beste alternativene som leder til å minimere eller maksimere et mål. Analysene kan utnyttes i flere av områdene av business, inkludert drift, markedsføring og finans. De matematiske og statistiske teknikkene fra prediktive analyser kan kombineres med optimalisering til å gjøre beslutninger av usikkerheten i data. (Evans og Lindner 2012)

Disse analysene har til hensikt å forbedre løsningene for gitte situasjoner for bedriften i fremtiden. For at analyseprogrammet skal være suksessfullt er det viktig å ha tilgang på riktig data og personer med riktig kompetanse. (Pratt 2014)

1.9 Suksessfaktorer og suksesskriterier

Når man snakker om prosjektsuksess, dukker begrepene suksessfaktorer og suksesskriterier opp. Det er viktig å skille mellom disse:

Suksessfaktorer: ”Forhold som må ligge til rette for at prosjektet skal bli en suksess.”

Suksesskriterier: ”Faktorer som måles etter at prosjektet er ferdig for å sjekke om det er vellykket.”

Her kommer en beskrivelse av generelle og spesifikke suksessfaktorer og suksesskriterier for prosjekter. Vi har hentet informasjon om generelle suksessfaktorer og suksesskriterier ved litteraturstudie blant annet fra boken ”Praktisk prosjektledelse”, og forsøkt å koble denne informasjonen sammen med vår kunnskap om drift og vedlikehold. Ut fra dette har vi prøvd å forklare hva vi mener må ligge til rette for å lykkes med innføringen av prediktivt vedlikehold. (Rolstadås 2014) (Trana mfl. 2018)

1.9.1 Generelle suksessfaktorer

Suksessfaktorer er faktorer som bidrar til at et prosjekt skal bli en suksess. Dette kan også beskrives som forutsetninger for å lykkes med et prosjekt. Suksessfaktorer er altså noe man kan observere og påvirke under gjennomføringen. En suksessfaktor kan være involvering av de ansatte under valg av system, og god opplæring i bruken av systemet. Om et prosjekt er suksessfullt eller ikke bør alltid måles mot de mål som er satt. (Rolstadås 2014) (Trana mfl. 2018) Etter som prediktivt vedlikehold vil involvere hele organisasjonen til Ivar Aasen, er kartlegging av slike suksessfaktorer en viktig del av en tidlig fase og forarbeid av prediktivt vedlikehold.

1.9.2 Generelle suksesskriterier

Suksesskriterier vil si at man undersøker parametere, indikatorer og har verdier som måles eller registreres og på grunnlag av det avgjør om prosjektet er suksessfullt eller ikke. Det er mest aktuelt å måle dette etter at prosjektet er avsluttet. For eksempel ved innføring av et nytt datasystem, kan et suksesskriterium være at minst 90% av brukerne er fornøyde med det nye systemet og mestrer bruken av det.

Suksesskriteriene kan i mange tilfeller være forskjellig for prosjekteier og prosjektorganisasjon. Men man anser det som et suksessfullt prosjekt bare når suksesskriteriene for både eier og organisasjon er oppfylt. Hvis de ikke er oppfylt for hverken eier eller organisasjonen anser man det som et mislykket prosjekt. Dersom bare én av partene har fått innfridd sine kriterier for suksess, har man en uheldig situasjon som lett kan føre til konflikter. Dette bør man derfor gjøre alt man kan for å unngå. (Rolstadås 2014) (Trana mfl. 2018)

1.9.3 Suksessfaktorer for innføring av prediktivt vedlikehold

I dette kapittelet beskrives ulike suksessfaktorer for innføring av prediktivt vedlikehold, utarbeidet av bachelorgruppen på bakgrunn av litteraturstudie av relevant teori.

Hvor suksessfullt et prediktivt vedlikeholdsprogram blir avhenger av hvordan programmet er definert, tilvirket og lansert. Det er hensiktsmessig å begynne med de enkleste og minst kostbare tiltakene først og så implementere mer avanserte systemer lenger ut i prosessen. (Espinosa 2019) Suksessfaktorer for innføring av prediktivt vedlikehold kan oppsummeres slik:

- Organisasjonen må gjennomgå et kulturelt skifte fra den gamle vedlikeholdsformen til prediktivt vedlikehold hvor innføringen er et langsiktig og felles mål for alle ansatte.
- Operatører som utfører rapportering og vedlikeholdsarbeid må ha god opplæring i alle nye systemer, metoder og rutiner som innføres.

-
- En samlet CMMS-plattform hvor også datalagring og dataanalyser implementeres. Plattformen er brukervennlig og kommuniserer med andre vedlikeholdsrelaterte programmer og IoT.
 - Tilstandssensorer og tilstandsovervåking med stor nøyaktighet og data med høy loggehastighet på kritisk utstyr som skal inngå i prediktive analyser.
 - Analyseverktøy har kapasitet til å behandle store datamengder (*Big Data*), herunder data med høy loggehastighet.
 - Datasystemer og analyseverktøy må implementeres og behandles av personer med kompetanse på eller erfaring med dataanalyse, maskinlæring og prediktivt vedlikehold.
 - Sikre validiteten på dataanalyser gjennom kontroll av tilstandsovervåking og datainnsamlingspunkter.
 - Målekjeden er kontrollert og kvalitetssikret av kvalifisert personell. Det eksisterer gode rutiner for kontroll på målekjeden.
 - Handle ut i fra prediktive analyser og stole på teknologien som implementeres.
 - Utdanne ledere i organisasjonen innen prediktivt vedlikehold slik at ledelsen kan institusjonalisere praksisen med hensyn på en bærekraftig videreføring av programmet.

(Sheila Kennedy 2019)

1.9.4 Suksesskriterier for innføring av prediktivt vedlikehold

Suksesskriterier vil være fremtredende etter innføring av programmet. Samtidig vil man også kunne måle konkret hvorvidt disse kriteriene er innfridd sammenlignet med måldata fra før implementering av prediktivt vedlikehold. Suksesskriteriene er derfor knyttet til nøkkelindikatorer (KPI). Det er fordelaktig at disse kriteriene er målbare. Vi mener følgende kriterier er mål på suksessfull innføring av prediktivt vedlikehold:

- Forbedret sikkerhet.
- Økt oppetid for komponenter / anlegg.
- Økt kvalitet på produktet.
- Reduserte produksjonskostnader.
- Reduserte vedlikeholdskostnader.

(Ludeca 2019)

1.9.5 Fallgruver ved implementering og opprettholdelse av prediktivt vedlikehold

I dette kapittelet beskrives ulike fallgruver ved implementering og opprettholdelse av prediktivt vedlikehold, utarbeidet på grunnlag av litteraturstudien.

Mange utfordringene med prediktivt vedlikehold er knyttet til opprettholdelse av programmet. Dersom suksesskriterier og faktorer ikke er tilstede eller mangelfulle, minker sannsynligheten for å lykkes med prediktivt vedlikehold. Det finnes flere slike feil og mangler:

- Organisasjonen holdes ikke oppdatert på den beste praksisen vedrørende prediktivt vedlikehold til tross for at prinsippet innføres.
- Teknologi og datasystemer holdes ikke oppdatert og videreutvikles ikke etter innføring.

-
- Det mangler en sentral funksjon for rapportering, analyse og resultater.
 - Implementeringsprosessen er for dårlig dokumentert.
 - Vedlikeholdsoppgaver rapporteres utenfor CMMS og innføres ikke i programmet.
 - Analoge signaler omformes feil i en digitaliseringsprosess.
 - Sensorer med funksjonsfeil kan misforstå vibrasjoner.
 - Forsterkning av svake signaler kan utløse forvirring ved at de fremtrer som kraftige.
 - Avansert tilstandsovervåking innføres uten at det utnyttes i analyser.
 - Selskapet mangler gode modeller, algoritmer og verktøy for analyse av data
 - Selskapet mangler riktig kompetanse for å tolke dataanalyse

(Espinosa 2019), (Yang mfl. 2006)

Ståstedsanalyse

Dette kapitlet har til hensikt å kartlegge dagens vedlikehold av vanninjeksjonspumpen på Ivar Aasen. Dette har bachelorgruppen gjort ved å gå gjennom relevante strategidokument og utforske hvordan vedlikeholdsarbeid utføres i praksis.

Det ble i 2016 utarbeidet en strategi for vedlikehold på oljeplattformen Ivar Aasen. Aker BP utarbeidet i tillegg en egen strategi for prediktivt vedlikehold for hele selskapet i 2018. Bachelorgruppen har foretatt en gjennomgang av disse strategidokumentene for å danne oss et bilde av Aker BPs strategier for sitt vedlikeholdsarbeid, og lage en oversikt over hvordan det ligger an for prediktivt vedlikehold, hovedsaklig for Ivar Aasen, men mye vil også være overførbart til resten av selskapet.

Vi har også utført kvalitative intervjuer med nøkkelpersoner i vedlikeholdsorganisasjonen til Ivar Aasen og Aker BPs team for prediktivt vedlikehold stasjonert i Stavanger. Målet med dette har vært å få en bedre oversikt over selskapets forståelse av og meninger om prediktivt vedlikehold og hvordan de ønsker å realisere det.

Etter den overordnede undersøkelsen har gruppen gjennomført en utredning av organisering og aktuelle aktører innen vedlikeholdsstøtte knyttet til vanninjeksjonspumpen, samt tilgjengelige ressurser som kan anvendes i prediktivt vedlikehold.

Vi har så beskrevet vanninjeksjonspumpens tekniske oppbygging og tilstandsovervåking, samt nåværende vedlikeholdsprogram for vanninjeksjonspumpen. Vi har også kartlagt målekjeden. Videre har vi vist hvordan tilstandsovervåking utføres i dag og til slutt en gjennomgang av hvordan vedlikehold utføres på plattformen til daglig.

2.1 Aker BPs vedlikeholdsstrategi for Ivar Aasen

Vi har foretatt en gjennomgang av Aker BPs vedlikeholdstrategi for oljeplattformen Ivar Aasen. Vi har her fokusert spesielt på områder vi anser som sentrale med hensyn på prediktivt vedlikehold og besvarelse av resultatmålene i oppgaven. Under følger utdrag fra vedlikeholdsstrategien i kursiv med kommentarer fra bachelorgruppen i rettstilt skrift.

Vedlikeholdsstrategien for Ivar Aasen består av tre dokument. I teksten referert til med siste del av dokumentnummer (0013, 0017 og 0018).

Overordnede mål for Ivar Aasen

For Ivar Aasen skal vedlikeholdsstyring oppfylle, direkte eller indirekte, alle krav for å kunne drive petroleumsvirksomhet på norsk sokkel. Vedlikeholdsstyring skal til enhver tid oppfylle kravene til selskapets overordnede HMS mål, beskrevet i det overordnede styringssystemet. (Vedlikeholdsstrategi Ivar Aasen - 0013 2016)

Mål for vedlikeholdsstyring

For å oppnå selskapets overordnede målsettinger, skal Ivar Aasen Driftsorganisasjon sikre at anleggene, eller deler av disse holdes ved like, slik at de er i stand til å utføre sine tiltenkte funksjoner i alle faser av levetiden. Hovedmål for vedlikeholdsstyring skal derfor være å redusere risiko for skade, feil og fare- og ulykkessituasjoner med hensyn til:

- *HMS*
- *Regularitet*
- *Kostnadseffektivitet*

(Vedlikeholdsstrategi Ivar Aasen - 0013 2016)

Kommentar fra bachelorgruppen:

I dag oppnås disse målene hovedsakelig gjennom kalenderbasert vedlikehold og i mindre grad gjennom tilstandsbasert vedlikehold. Omtrent 97% av vedlikeholdet som utføres på Aker BPs assets er kategorisert som kalenderbasert (*Pdm team [intervju] 2019*), men dette tallet bør ses i lys av at noe kalenderbasert vedlikehold er planlagt ut i fra resultat av tilstandsovervåking og dermed kan ses på som tilstandsbasert vedlikehold. (Sandbakk 2019a)

Generelt

Bruk av intelligent instrumentering i kombinasjon med integrerte operasjoner skal sikre høy oppetid på anleggenes utstyr. Imidlertid skal vedlikehold være basert på faste intervaller (driftstimer eller tidsperiode) for system / utstyr der det er myndighetskrav eller der det ikke er mulig å fastslå tilstanden.

Det skal legges til rette for registrering av feil og avvik på en strukturert måte, slik at analyser og kontinuerlig forbedringer er transparente og lett tilgjengelige.

(Vedlikeholdsstrategi Ivar Aasen - 0013 2016)

Eksempel på ”Intelligent instrumentering”

Instrumenter som inkluderer en mikroprosessor for å samle et bestemt utsnitt av data fra tilstandsmålere, som vibrasjonssensorer og termiske sensorer, kan regnes som et eksempel på intelligent instrumentering. (Bhuyan 2017)

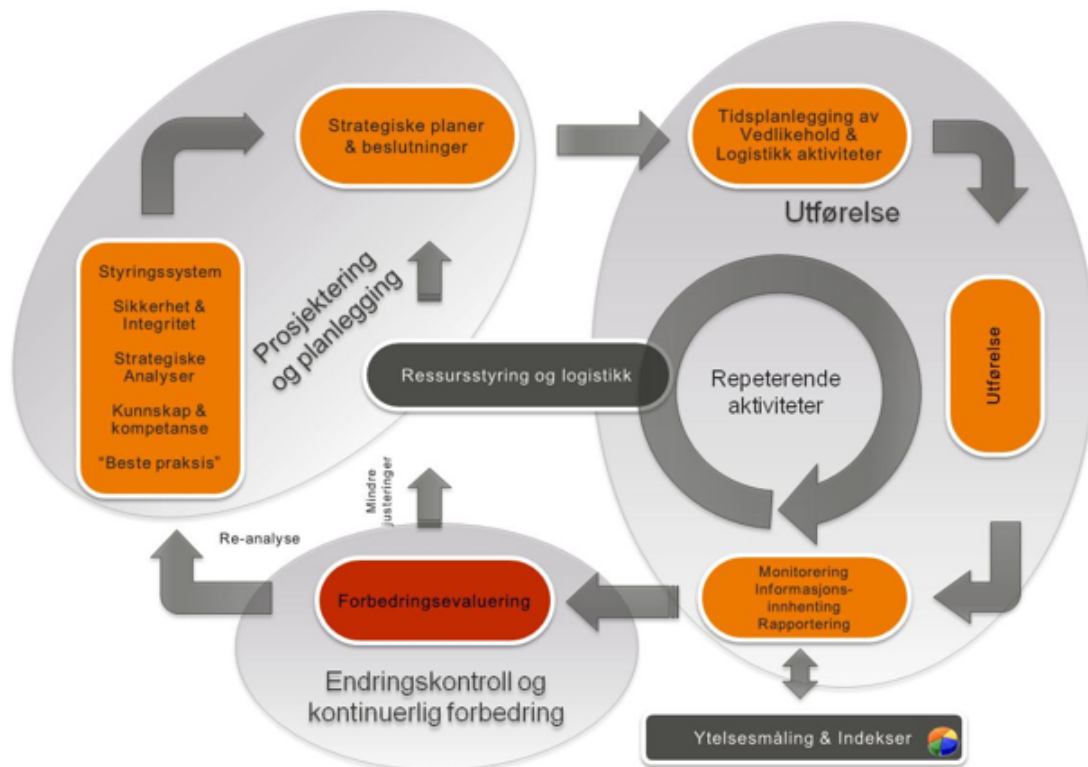
Styringsløyfe for vedlikehold

Vedlikeholdsstyring for Ivar Aasen innbefatter alle ledelsesaktiviteter som fastsetter vedlikeholdsmålene, strategier og ansvar. Implementering gjennom tiltak som vedlikeholdsplanlegging, vedlikeholdkontroll, tilsyn og forbedring av metoder i organisasjonen.

Gjennomføring av vedlikehold er visualisert ved styringsløyfen for vedlikehold i figur 2.1.

Styringsløyfen identifiserer de sentrale funksjonene innenfor vedlikeholdsstyring:

- *Prosjektering og planlegging*
- *Utførelse og Monitorering*
- *Endringskontroll og kontinuerlig forbedring*



Figur 2.1: Styringsløyfe for vedlikehold på Ivar Aasen (*Vedlikeholdsstrategi Ivar Aasen - 0013 2016*)

Ved utarbeidelse av vedlikeholds- og inspeksjonsprogram skal en i tillegg innhente:

- *Anbefalinger fra leverandører*
- *Beste praksis iternt i selskapet og i bransjen*

(Vedlikeholdsstrategi Ivar Aasen - 0013 2016)

Kommentar fra bachelorgruppen:

Anbefalinger fra leverandører kan for eksempel være knyttet til grenseverdier for tilstandsovervåking.

Tidsfastsettelse, utføring og rapportering av vedlikehold

Overvåkingssystemer omfatter systemer for tilstandskontroll, ytelsesmåling, alarm og prosesskontroll. Planlegging og iverksetting av tilstandsbaserte vedlikeholdsaktiviteter skal være basert på data fra overvåkingssystemer, inspeksjoner eller observasjoner.

Historisk informasjon skal være tilgjengelig for systematiske analyser. Analysene skal danne grunnlag for kontinuerlig forbedring, sporing av hendelser og ytelsesovervåking.

(Vedlikeholdsstrategi Ivar Aasen - 0013 2016)

Kommentar fra bachelorgruppen:

Data fra overvåkingssystemer lagres i System 1, Pi Vision og Cognites data-plattform. Deler av denne dataen er tilgjengelig for eksterne aktører som yter vedlikeholdsstøtte på Ivar Aasen. (Åkergren og Pettersen Sletta 2019)

Styringsverktøy for vedlikehold

Selskapet skal ha et system for styring og dokumentering av oppgaver innen vedlikehold. Alle data i vedlikeholdsstyringssystemet skal være presise og oppdaterte. Systemet skal kunne ivareta utstyrsregister, vedlikeholdsprogrammer, arbeidsordrer, planlegging og utførelse av vedlikehold. Systemet skal videre ivareta styring av reservedeler, økonomi og historiske vedlikeholdsdata. Systemet skal kommunisere med andre relevante systemer for vedlikehold på en enkel måte og med enkle grensesnitt. (Vedlikeholdsstrategi Ivar Aasen - 0013 2016)

Kommentar fra bachelorgruppen:

Aker BPs vedlikeholdsstyringssystem på Ivar Aasen er SAP. SAP er en plattform for både styring og rapportering. For at dataen skal være presis og oppdatert er selskapet avhengig av at alle vedlikeholdsoppgaver som utføres på Ivar Aasen rapporteres i SAP, og at hver operatør følger de samme retningslinjene for hva rapporten skal inneholde. Et CMMS-program som kommuniserer med flest mulig informasjons- og kommunikasjonssystemer i organisasjonen vil raske og mer effektivt kunne varsle om feil slik at aktuelle tiltak kan iverksettes.

(Lindrupsen og Sandbakk 2019)

Forebyggende vedlikehold

Forebyggende vedlikehold kan differensieres mellom periodisert /timebasert vedlikehold og tilstandsbasert vedlikehold i vedlikeholdssystemet. Arbeidsordre for tilstandsbasert vedlikehold målt ut fra definerte grenseverdier, opprettes manuelt. Disse kategoriseres med egen kode for tilstandsbasert vedlikehold.

For forebyggende vedlikehold benyttes følgende kategorier:

- *Periodisk vedlikehold*
- *Timebasert vedlikehold*
- *Tilstandsbasert vedlikehold*

For korrektivt vedlikehold styres prioritering av arbeidet ut fra utstyrets konsekvensklassifisering og angitte feilkoder.

(Vedlikeholdsstrategi Ivar Aasen - 0017 2016)

Formål med vedlikeholdsprogrammer

Vedlikeholdsprogrammene skal forebygge at anleggets utstyr eller systemer degraderes eller svikter og at uønskete hendelser oppstår. Vedlikeholdsprogrammene skal sikre at utstyr settes tilbake til sin opprinnelige stand eller at degrading av utstyr verifiseres. (Vedlikeholdsstrategi Ivar Aasen - 0018 2016)

Forebyggende vedlikeholdsprogrammer

Utstyr med høy konsekvensklassifisering med hensyn til sikkerhet (HMS) og produksjon, skal ha det mest omfattende vedlikeholdsprogrammet eller den beste tilstandsovervåkingen. Konsekvensen ved svikt av funksjon og sannsynligheten for hvor ofte dette kan skje, vil være sentralt med hensyn til hvor ofte utstyr eller funksjon skal vedlikeholdes/kontrolleres.

Utstyr med lavere konsekvensklassifisering, vil få mindre forebyggende vedlikehold.

(Vedlikeholdsstrategi Ivar Aasen - 0018 2016)

Tilstandsovervåking

Tilstandsovervåking kan være kalenderbaserte vedlikeholdsprogrammer som omhandler manuell datainnsamling av tilstandsdata, eller mest vanlig kontinuerlig overvåking hvor aksjoner trigges ved definerte grenseverdier.

Kalenderbasert tilstandskontroll kan være innsamling av data, f.eks. offline vibrasjonsovervåking eller oljeprøver fra pumper og motorer.

Kontinuerlig tilstandskontroll kan være online vibrasjonsmonitorering av pumper og motorer, elektronisk overvåking av nivå, osv.

Tilstandsovervåking vil bli forsøkt klassifisert med egne koder i vedlikeholdssystemet. Dette for å få en så god oppfølging som mulig, da det skal etterstrebtes å legge til rette for mest mulig tilstandsbasert vedlikehold.

(Vedlikeholdsstrategi Ivar Aasen - 0018 2016)

2.2 Strategi for prediktivt vedlikehold i Aker BP

Aker BP innførte i 2018 en egen strategi for prediktivt vedlikehold. Dette kapitlet inneholder en kartlegging av Aker BPs overordnede strategi for prediktivt vedlikehold. Denne strategien er høyst relevant for å se på hvordan selskapet har planlagt å innføre prediktivt vedlikehold. Strategien kan også sammenlignes med vedlikeholdsstrategien for Ivar Aasen for å se hvorvidt disse er i overensstemmelse med hverandre. Vi har også kommentert om strategien for prediktivt vedlikehold stemmer overens med bachelorgruppens oppfatninger og standard for vedlikeholdsterminologi (NS-EN 13306:2017)s definisjon av prediktivt vedlikehold.

Under følger utvalgte utdrag fra strategien for prediktivt vedlikehold i kursiv med kommentarer fra bachelorgruppen til enkelte avsnitt for å poengtere likheter mellom strategiene. Strategien for prediktivt vedlikehold er skrevet på engelsk og utdragene er en norsk tolkning av dokumentet utført av bachelorgruppen. Alle utdragene er av relevans for bacheloroppgaven.

2.2.1 Mål og fokusområde

Aker BP sin vedlikehold- og driftssikkerhetstrategi har digitalisering, ny teknologi, tilstandsovervåking og prediktive metoder som strategisk fokus i alt vedlikehold- og driftssikkerhetsarbeid, med følgende mål:

- *Maksimere oppetid i produksjon*
- *Kontroll på HMS-risiko*
- *Senke utgifter knyttet til vedlikehold og driftssikkerhet*

Målene skal oppnås gjennom strategiske fokusområder:

- *Prioritering av arbeid basert på risiko- og pålitelighetsmetoder*
- *Utnytte digitalisering og ny teknologi*
- *Bruke tilstandsovervåking og prediktive metoder*

-
- *Visualisert risikostatus*
 - *Kompetente ansatte med godt definerte roller*
 - *Alianse med leverandører*

(Predictive maintenance strategy 2018)

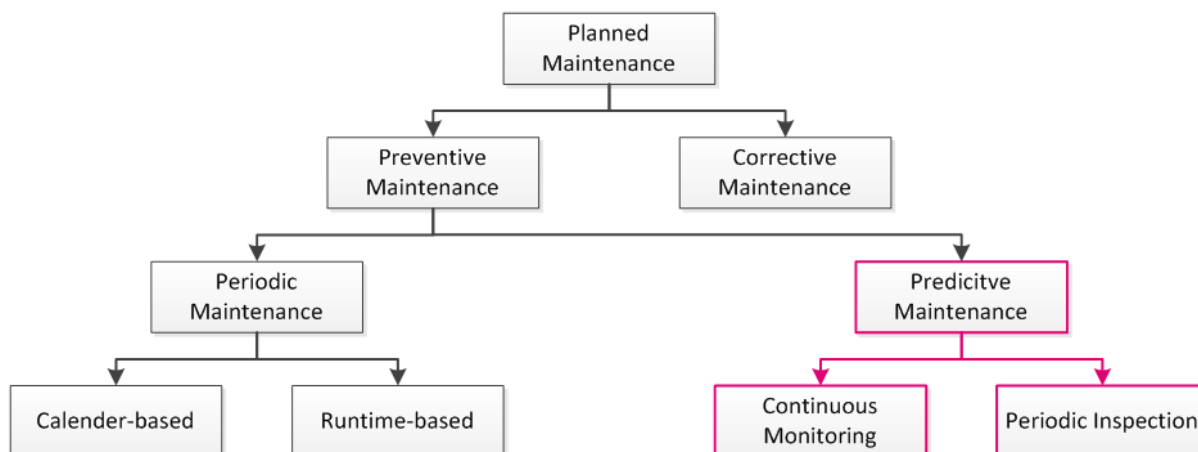
2.2.2 Planlagt vedlikehold

Figur 2.2 illustrerer de planlagte vedlikeholdsmetodene. Det mest gunstige er en kombinasjon av flere typer vedlikeholdsmetoder hvor hver enkelt metode anvendes der det anses for å være fordelaktig. Prediktivt vedlikehold skal vurderes for alt utstyr det gjøres vedlikehold på. (Predictive maintenance strategy 2018)

Kommentar fra bachelorgruppen:

Figur 2.2 viser en oversikt over planlagte vedlikeholdsmetoder og er hentet fra Aker BPs strategi for prediktivt vedlikehold. På venstre side er vedlikeholdsformene periodisk vedlikehold plassert, med vedlikeholdsformene kalenderbasert og kjøretidsbasert plassert under. Men på høyre side er prediktivt vedlikehold plassert, med vedlikeholdsaktivitene kontinuerlig tilstandsovervåking og periodisk inspeksjon plassert under. Nederste del av treet består altså av vedlikeholdsformer på venstre side, og vedlikeholdsaktiviteter på høyre side. Denne fremstillingen oppleves derfor som litt forvirrende. Vi anbefaler at det fremgår klart hvilke kategorier som er fremstilt hvor i en slik figur. Eksempler på dette kan ses i bachelorgruppens hierarkier i figur 3.1, 3.2 og 3.3.

I følge standarden for vedlikeholdsterminologi (NS-EN 13306:2017) er ikke kontinuerlig tilstandsovervåking og periodisk inspeksjon direkte å anse som prediktivt vedlikehold, men heller viktige vedlikeholdsaktiviteter for å samle inn data som igjen kan anvendes i prediktivt vedlikehold. Vi anbefaler derfor at standardens hierarki over vedlikeholdsformer følges ved revisjon av den prediktive vedlikeholdsstrategien i mai/juni 2019. Standardens hierarki over vedlikeholdsformer kan ses i Figur 1 i starten av oppgaven. *(Predictive maintenance strategy 2018)* (Standard Norge 2019)



Figur 2.2: Planlagte vedlikeholdsmetoder (*Predictive maintenance strategy 2018*)

2.2.3 Forebyggende vedlikehold

Forebyggende vedlikehold benyttes på kritisk utstyr når sannsynligheten for svikt kan unngås eller reduseres. Forebyggende vedlikehold deles inn i periodisk vedlikehold og prediktivt vedlikehold. (Predictive maintenance strategy 2018)

Periodisk vedlikehold organiseres i forhåndsbestemte intervaller på enten driftstid eller faste tidsintervaller, altså kalenderbasert. (Predictive maintenance strategy 2018)

Prediktivt vedlikehold defineres som en kontinuerlig eller periodisk tilstandsovervåking av komponenter på utstyr for å indikere nåtilstand og predikere degradering av ytelse og tilstand over tid. På grunnlag av dette kan man fastsette en tid for vedlikehold for å sikre høy tilgjengelighet. Dette gir grunnlag for et optimalt vedlikeholdsprogram. (Predictive maintenance strategy 2018)

Kommentar fra bachelorgruppen:

I vedlikeholdsstrategi for Ivar Aasens fastslås det at kritisk utstyr skal ha et forebyggende vedlikeholdsprogram hvor tilstandsovervåking utnyttes i størst mulig grad. Dette er et eksempel på samhörighet mellom strategiene og at prediktivt vedlikehold passer for vedlikeholdsstrategien på Ivar Aasen.

2.2.4 Tilstand- og ytelsesovervåking

Tilstands- og ytelsesovervåking er en integrert del av Aker BP sin vedlikeholdsstyringsmodell, og skal brukes til å muliggjøre trygt og kostnadseffektivt prediktivt vedlikehold. (Predictive maintenance strategy 2018)

Hensikten med ytelsesovervåking er å forsikre seg om at utstyr leverer forventet produksjon eller effektivitet i forhold til energiforbruk og at ressurser utnyttes optimalt. Altså er dette i praksis å sammenligne data over energiforbruk og data over effekt. (Predictive maintenance strategy 2018)

Tilstandsovervåking er tilegning og prosessering av informasjon og tilstandsdata for tegn på tidlig endring av tilstand på utstyr over tid. Denne overvåkingen brukes i prediksjon av når tilstanden på utstyr er uakseptabel og krever inngripen før en uforventet stans inntreffer. (Predictive maintenance strategy 2018)

Tilstands- og ytelsesovervåking kan utføres både manuelt og automatisk. (Predictive maintenance strategy 2018)

2.2.5 Implementeringsstrategi for prediktivt vedlikehold

Hvert felt burde utarbeide en prediktiv vedlikeholdsstrategi som dekker følgende:

- *Kriterier for hvilket utstyr som egner seg til prediktivt vedlikehold*
- *Instrumentering*
- *Tilstandsovervåkingssystemer*
- *Implementering av prediktivt vedlikehold i eksisterende systemer*
- *Informasjons- og kommunikasjonssystemer som sikrer standardiserte løsninger*
- *CMMS-implementering*
- *Reservedelsstrategi som møter krav til prediktivt vedlikehold*

- Verktøy og ressursstrategi

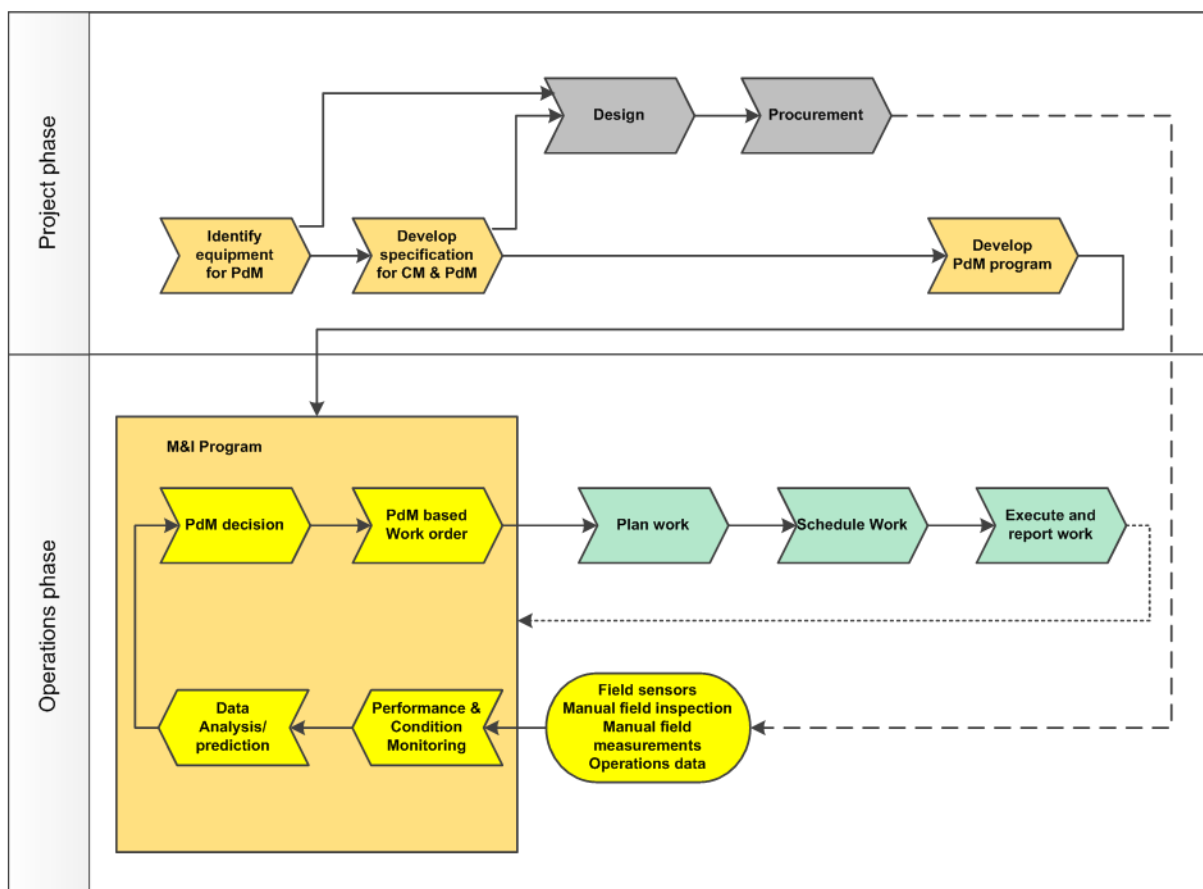
(Predictive maintenance strategy 2018)

Kommentar fra bachelorgruppen:

Ivar Aasen har per i dag ikke en strategi for prediktivt vedlikehold, men den nåværende vedlikeholdsstrategien legger i stor grad til rette for å kunne inkludere en slik strategi uten at det vil medføre konflikt med hensyn på mål og føringer. Alternativt kan vedlikeholdsstrategien for Ivar Aasen revideres der punktene over inkluderes.

2.2.6 Arbeidsprosess

Arbeidsprosessen for prediktivt vedlikehold kan deles inn i fire grupper, der hver farge representerer en gruppe, illustrert i figur 2.3



Figur 2.3: Arbeidsprosess for prediktivt vedlikehold (Predictive maintenance strategy 2018)

Utvelgelsen av utstyr til prediktivt vedlikeholdsprogram skal foregå parallelt med den generelle prosjekteringen for å sikre tidlig, tilstrekkelig og optimal identifikasjon og implementering av utstyr som skal inngå i tilstandsovervåking. Den generiske vedlikeholdssløyfa (se figur 2.1) står for den overordnede prosessen for styringen, inkludert prediktivt vedlikehold. (Predictive maintenance strategy 2018)

2.2.7 Designkrav

De følgende punktene er generelle designkrav til utstyr som skal inngå i et prediktivt vedlikeholdsprogram:

- *Utstyr skal velges ut fra predefinerte evalueringer som tar hensyn til kostnadsfordeler, muligheter og i hvilken grad man ønsker prediktivt vedlikehold.*
- *Overvåkingsdesignet skal adressere spesifikke og påvisbare sviktmoder med tilstrekkelige advarsler mot degradering av funksjon for å kunne planlegge og utføre vedlikeholdsaktiviteter før feilen oppstår.*
- *Utstyr som er aktuelt for prediktivt vedlikehold skal ha IoT-funksjonalitet for å sikre utveksling av data til en felles IoT-plattform*
- *Alle overvåkingssystem skal være koblet sammen gjennom informasjons- og kommunikasjonssystemer.*
- *Data må ha tilstrekkelig kvalitet og oppløsning, og må sikres med hensyn på cybersikkerhet.*
- *Dersom det er mulig burde utstyr som inngår i et prediktivt vedlikeholdsprogram være tilgjengelig eksternt, som muliggjør fjernstyrt vedlikehold og testing fra onshore fasiliteter.*

(Predictive maintenance strategy 2018)

2.2.8 Krav til anskaffelse og leverandører

Leverandøren må gi anbefalinger om tilstandsovervåking og prediktivt vedlikehold, samt ha en aktiv tilnærming til identifisering av tjenester som kan assistere Aker BP i å oppnå digitalisering og prediktivt vedlikehold. Anskaffelsesstrategier skal støtte introduksjon av tilstandsovervåking og prediktivt vedlikehold. (Predictive maintenance strategy 2018)

2.2.9 Prediktiv modell

En prediktiv modell må etableres i prosjektfasen for hver utstyrskategori. Den prediktive modellen skal identifisere behovet for vedlikehold basert på prediksjon av fremtidig tilstand. På komplekst utstyr må behovet for avanserte modeller basert på analytiske verktøy og maskinlæring vurderes. Tilstandsdata og prediktiv data må samles og lagres i et konsistent og tilgjengelig rammeverk for analyse og styring. (Predictive maintenance strategy 2018)

2.2.10 Spesifikasjoner for et prediktivt vedlikeholdsstyrings-system

Vedlikeholdsstyringen for prediktivt vedlikehold må synliggjøres og styres som et kontrollert CMMS-oppsett. Hensikten med dette er å sikre teknisk kontroll over aktiviteter, oppdateringer og forbedring. (Predictive maintenance strategy 2018)

Alt utstyr underkastet prediktivt vedlikehold må ha vedlikeholdsaktiviteter definert og registrert på tag-nummer i CMMS. Historisk data må være tilgjengelig for systematisk analyse og kontinuerlig forbedring. Det skal foreligge en felles prosedyre og plattform for rapportering av aktiviteter knyttet til vedlikehold. (Predictive maintenance strategy 2018)

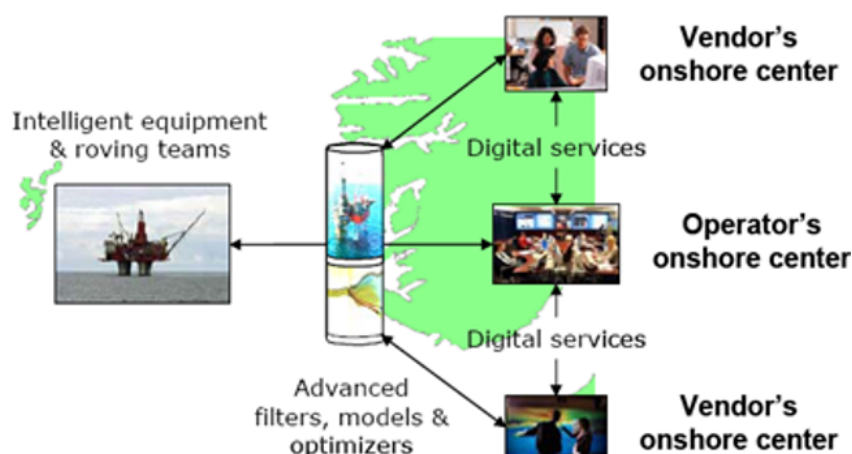
2.2.11 Organisasjonsstruktur

Det er organisatoriske nøkkelementer i innføringen av prediktivt vedlikehold som må ta høyde for når dagens organisasjonsmodell skal restruktureres:

- *Tilpassing av ny operasjonsmodell, større deler av arbeidet flyttes onshore*
- *Analyse av aktiviteter*
- *Kontroll av funksjoner må kunne flyttes mellom ulike lokasjoner*
- *Støttekapasiteten fra onshore må styrkes*
- *Prediktivt vedlikehold skal i styres fra et prediktivt vedlikeholdssenter i daglig drift*

(Predictive maintenance strategy 2018)

Figur 2.4 viser et eksempel på hvordan Aker BP ser for seg en organisasjonsstruktur for prediktivt vedlikehold.



Figur 2.4: Organisasjonsstruktur for prediktivt vedlikehold (*Predictive maintenance strategy 2018*)

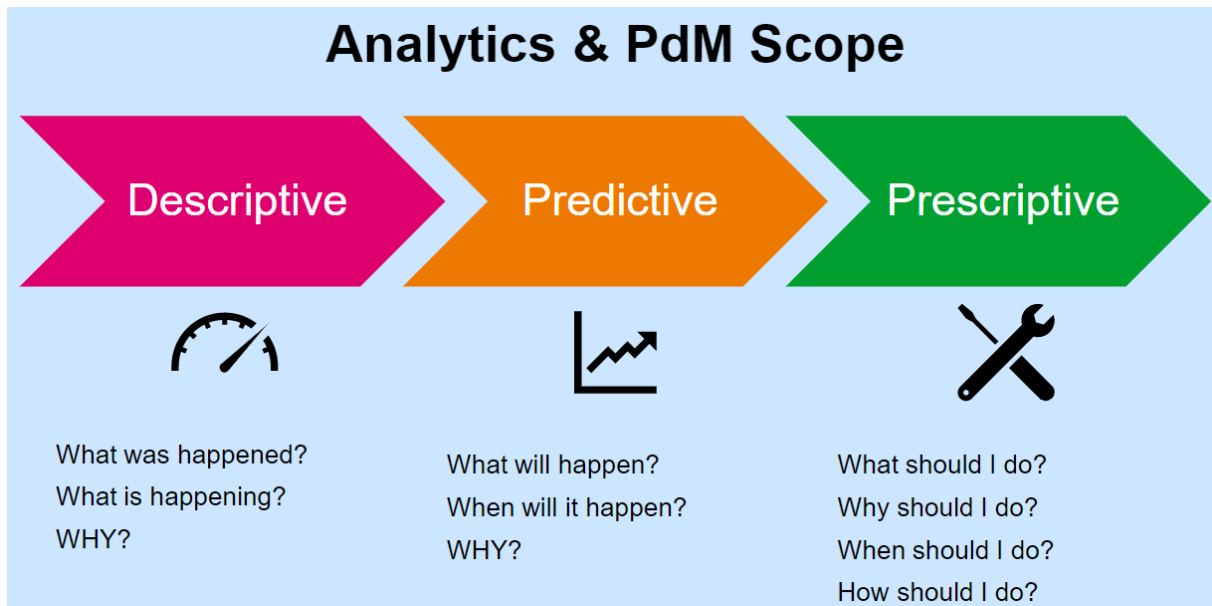
2.3 Selskapets forståelse av prediktivt vedlikehold

Dette kapittelet inneholder en beskrivelse av Aker BPs team for prediktivt vedlikehold og Ivar Aasen-organisasjonens forståelse og meninger rundt prediktivt vedlikehold, og er basert på resultater fra ståstedsanalysen og intervjuer bachelorgruppen har utført.

2.3.1 Aker BPs team for prediktivt vedlikehold

Teamets scope for prediktivt vedlikehold dekker deskriptiv-, prediktiv- og preskriptiv analyse slik vist i figur 2.5. Ved å utføre tilstandsovervåking og deskriptiv analyse ønsker de å kunne si hva som har skjedd, hvorfor det har skjedd og på grunnlag av det kunne stille en diagnose. Prediktiv analyse, utvikling av algoritmer og maskinlæring for å kunne si hva som vil skje i fremtiden, og preskriptiv analyse ved at systemet skal kunne fortelle hva slags vedlikehold som skal utføres for å unngå at det vil skje.

Illustrasjonen viser at Aker BPs team for prediktivt vedlikehold inkluderer det som i standarden for vedlikeholdsterminologi (NS-EN 13306:2017) omtales som tilstandsbasert ikke-prediktivt vedlikehold. Dette ble også bekreftet gjennom intervju bachelorgruppen har utført med teamet. (*Pdm team [intervju] 2019*)



Figur 2.5: Aker BPs team for prediktivt vedlikeholds scope (PdM-Team 2019)

2.3.2 Ivar Aasen-organisasjon

Basert på intervju bachelorgruppen har utført av Reliability Engineer og Maintenance Manager på Ivar Aasen anser vi at disse to rollene som jobber med vedlikehold mot Ivar Aasen har en god grunnleggende forståelse for hva prediktivt vedlikehold innebærer. (Lindrupsen og Sandbakk 2019)

Deres mening er at de har mange av de målepunktene de trenger og samler inn mye data, og at dette området legger til rette for å kunne innføre prediktivt vedlikehold på vanninjeksjonspumpen på Ivar Aasen. De mener at utfordringene er knyttet til å utnytte dataen bedre enn det de gjør i dag. Det trengs riktig kunnskap for å kunne analysere dataen og datamodeller og algoritmer slik at man kan analysere seg fram til når vedlikehold bør utføres. De anser også at det er et behov for å synliggjøre i større grad hva forskjellige aktører som leverandører og samarbeidspartnere (f.eks. Karsten Moholt og teamet for prediktivt vedlikehold) gjør i dag og at flere aktører i organisasjon trenger å få oversikt over dette. (Lindrupsen og Sandbakk 2019)

Det bør etableres en helhetlig oversikt som synliggjør dette på en enkel måte for å legge bedre til rette for å kunne implementere prediktivt vedlikehold og utnytte ressursene bedre. De tror mange føler at man måler veldig mye på oljeplattformen, uten at de vet hvordan målingene benyttes til noe konstruktivt. (Lindrupsen og Sandbakk 2019)

De ser også utfordringer knyttet til å kunne forsvare å ha tilstrekkelig kunnskap tilstede internt i selskapet f.eks. med tanke på komplekse vibrasjonsanalyser, da dette krever vibrasjonssertifisering på høyt nivå. De har kunnskap om slike ting internt i selskapet i dag også, men samarbeidspartnerne er eksperter. De ser imidlertid at selskapet begynner å nærme seg en størrelse der det kan forsvares å etablere denne kunnskapen internt i selskapet med tanke på andelen oljefelt som selskapet opererer i dag. I dag kjøpes slike tjenester inn fra eksterne samarbeidspartnere som Karsten Moholt og leverandører av utstyr. (Lindrupsen og Sandbakk 2019)

2.4 Tilgjengelige ressurser

Aker BP har en asset-sentrisk organisasjon der de forskjellige assetene (oljeplattformene) styres fra forskjellige lokasjoner. Hver asset har sin egen engineering-organisasjon som styrer daglig drift og vedlikehold samt mindre modifikasjonsoppdrag. Ivar Aasen-plattformen styres fra Trondheim. Her sitter det personer med forskjellig kompetanse samt onshore kontrollrom som fra og med april 2019 styrer plattformen 24 timer i døgnet.

Hvor de forskjellige driftsorganisasjonene er plassert er bestemt av PUD-en (Plan for utbygging og drift) som blir levert til, og godkjent av myndighetene før et felt bygges ut. Ved en utbygging eller store prosjekter skaleres organisasjon ofte opp, der mange av ressursene blir leid inn. Når prosjektet er ferdig trenger man som regel ikke en like stor organisasjon som under prosjektperioden. Aker BP leier derfor inn vedlikeholdsstøtte ut fra behov. (Lindrupsen og Sandbakk 2019)

Under følger en beskrivelse av relevante interne og eksterne ressurser som finnes tilgjengelig med tanke på innføring av prediktivt vedlikehold på Ivar Aasen.

2.4.1 Internt i Aker BP

Systemer og programmer

CMMS (Computerized Management Maintenance Program) for Ivar Aasen er SAP. Her ligger alt av vedlikeholdsstrategier og konsepter for vedlikeholdet som utføres på plattformen samt teknisk dokumentasjon for utstyr, og reservedelsstyring. Kontrollsystemet for Ivar Aasen er levert av Siemens. (Lindrupsen og Sandbakk 2019)

CMS1 (Condition Monitoring System 1) overvåker vibrasjon og temperatur på vanninjeksjonspumpen. Dette systemet gir vedlikeholdsalarmer ved avvik på temperatur, vibrasjon og trykk og stenger ned anlegget ved kritiske nivåer. (Lindrupsen og Sandbakk 2019)

AVEVA er en portal inn til Aker BPs dokumentsystemet, for lettere tilgang til tekniske dokumenter som tegninger og driftsanbefalinger f.eks. for vanninjeksjonspumpen. (Lindrupsen og Sandbakk 2019)

Pi Vision gjør det mulig å visualisere tilstandsdata ved å lage tegninger av de tekniske systemene og få opp live-data for de forskjellige komponentene. (Lindrupsen og Sandbakk 2019)

Kontrollrom

Her sitter prosessoperatørene som styrer plattformen og følger med på operasjonsmessig informasjon som sugetrykk, trykk på pumper, vibrasjon etc. Ved avvik får prosessoperatørene opp alarm på kontrollrommet og feil registreres i SAP for utbedring. (Lindrupsen og Sandbakk 2019)

Dataoverføring

Data overføres fra Ivar Aasen til Trondheim via fiber. Det ligger en stor kabel som dekker hele den norske sokkelen, kalt Soil Network og er levert av Tamp Net. De har også flere ruter, for eksempel radiolink fra Grane. (Lindrupsen og Sandbakk 2019)

Utvalgte roller onshore i Ivar Aasen-organisasjonen

I Ivar Aasen-organisasjonen i Trondheim sitter det en Reliability Engineer som jobber med forbedringer av vedlikeholdsrutiner, reservedelsstyring og hvordan vedlikeholdsprogrammet SAP kan utnyttes bedre. Vedlikeholdssjefen sitter også i Trondheim med ansvar for overordnet vedlikehold av Ivar Aasen. Det sitter også en "førstelinje" på land for alle disipliner (elektro, mekanisk, instrument, telekom, prosess). Hvis det er større ting man skal finne ut av er det personer fra "førstelinje" som planlegger arbeidet som skal utføres og organiserer hvilke eksterne aktører som må involveres. (Lindrupsen og Sandbakk 2019)

Eureka

Eureka er Aker BPs digitaliseringsprogram. Eureka består av 60 ansatte som bruker all sin tid på å utvikle nye digitale løsninger for selskapet. De kan konsentrere seg om å løse konkrete utfordringer og blir ikke distraheret av andre oppgaver. (Myrset 2018)

Aker BPs digitale visjon er å digitalisere verdikjeden fra leting til man plugges og forlater en brønn. En viktig del av Aker BPs digitale satsning handler om datadeling. De har etablert et strategisk partnerskap med programvareselskapet Cognite for å utvikle en digital plattform kalt Cognite Data Fusion (CDF) som grunnlag for den digitale satsningen.

De forskjellige assetene melder inn saker til Eureka som det jobbes videre med. Et resultat av Aker BPs arbeid med digitalisering er innføring av nettbrett som arbeidsverktøy for operatører på Ivar Aasen-plattformen. Arbeidsmetoden er at man ønsker å prøve ut ideer kjapt for å se om de fungerer, og så evaluere etter at man har testet ut ideene. (Lindrupsen og Sandbakk 2019) (*Aker BP Digitalization 2019*)

Eureka er strukturert langs tre typer verdiskapende aktiviteter:

- Datadeling
- Digitale forretningsmuligheter
- Digital sandkasse

De har videre identifisert fem viktige digitale forretningsmuligheter som de vil prioritere de neste 6 – 12 månedene, med egne grupper for hvert område. Gruppene er delt opp i følgende fokusområder:

- Produksjonsoptimalisering
- Sub-surface
- Digital arbeidstaker
- Smart Vedlikehold
- Forbedret HMS-utøvelse

(*Aker BP Digitalization 2019*)

Av disse fokusområdene er gruppen for Smart Vedlikehold den mest relevante for vår oppgave. Dette er en gruppe bestående av 20 personer som jobber med å gå fra kalenderbasert- til tilstandsbasert vedlikehold i Aker BP. Gruppens mål er at analyse skal være grunnlaget for alt proaktivt vedlikeholdsarbeid som utføres på Aker BPs plattformer innen 2023. Dette ønsker de at skal resultere i:

- Reduksjon av uplanlagte stopp som følge av feil i roterene utstyr.

-
- Reduksjon i manuelle vedlikeholdsaktiviteter ved bruk av innsamlet data som beslutningsgrunnlag.
 - Fullføre vedlikeholdsstyringssløyfen ved å legge til rette for økt læring og forbedret produktkvalitet.

(Eriksen 2019)

2.4.2 Eksterne aktører og leverandører som yter vedlikeholdsstøtte på Ivar Aasen

Det er mange ulike aktører og leverandører involvert i vedlikeholdet på oljeplattformen Ivar Aasen. Under følger en gjennomgang av de aktørene bachelorgruppen mener er relevant med tanke på innføring av prediktivt vedlikehold på vanninjeskjøpumpen. I diskusjonskapittelet (Kapittel 3) diskuteres det hvilken rolle disse aktørene kan spille i innføring av prediktivt vedlikehold på vanninjeskjøpumpen på Ivar Aasen.

Cognite

Cognite er et norsk IT-selskap stiftet i desember 2016, eid av Aker ASA. Deres hovedprodukt er en plattform for å samle, behandle og analysere store mengder data. Aker BP er deres største kunde. Cognite ønsker å samle all tilgjengelig data fra Aker BPs assets i Cognite Data Fusion (CDF) slik at den skal være mer tilgjengelig for videre utnyttelse. (*Cognite homepage* 2019)

Cognite støtter Aker BP i den digitale transformasjonen, ved å tilby kompetanse innenfor data science, algoritmer, maskinlæring og for å støtte use cases for eksempel innenfor prediktivt vedlikehold. (*Intervju Cognite* 2019)

Per nå samler Cognite kun inn aggregert data fra Pi Vision, det vil for eksempel si vibrasjonsdata som ikke er logget med høy hastighet. Som vi har forklart tidligere er det ofte nødvendig å benytte slik data for å kunne innføre prediktivt

vedlikehold, spesielt for roterende utstyr. Det vil derfor være nødvendig at Cognites dataplattform inkluderer denne typen data for at det skal kunne utnyttes til nøyaktig prediksjon av vedlikeholdsbehov på vibrasjonsutsatt utstyr. (Carroll mfl. 2019) (Lindrupsen og Sandbakk 2019)

Karsten Moholt

Karsten Moholt er et komplett servicesenter for elektromekanisk industri. De arbeider kontinuerlig for å være en ledende aktør med fokus på å utvikle nye løsninger for effektivt vedlikehold. (Moholt 2019)

Karsten Moholt overvåker tilstands- og operasjonsdata og ser på trender for å forsøke å oppdage feilutvikling på Ivar Aasen. Karsten Moholt sender en månedlig rapport til Ivar Aasen-organisasjon med en oversikt over vibrasjonsnivåer og en evaluering. Ved et forhøyet vibrasjonsnivå kan prosessoperatørene kontakte Karsten Moholt, for å få en feildiagnose. Sammen vil de forsøke å finne ut om det er en reell feil og hvor den befinner seg. Karsten Moholt logger seg inn på systemet via Remote Desktop og får tilgang til online vibrasjonsdata, samt historisk rådata, og forsøker å finne ut hva det forhøyede vibrasjonsnivået kan skyldes. (Lindrupsen og Sandbakk 2019)

Grunnen til at Aker BP har satt ut vibrasjonsanalyse til Karsten Moholt er at det krever mye erfaring for å være en sertifisert vibrasjonsanalytiker. Selskapet Aker BP er et resultat av at de to tidligere oljeselskapene Det Norske Oljeselskap og BP Norge slo seg sammen i 2016. Før sammenslåingen var man hver for seg ikke store nok til å kunne forsvare å ha for eksempel vibrasjonsanalytikere internt i selskapet, men slik situasjonen er nå med fem opererte oljefelt i porteføljen, nærmer man seg kanskje en størrelse der det kan være mer aktuelt. (Lindrupsen og Sandbakk 2019)

Invicta

Invicta AS er et oljeanalyse-selskap som holder til i Oslo. (Hughes 2019) Invicta analyserer oljeprøver for forskjellige komponenter på Ivar Aasen for Aker BP. (Lindrupsen og Sandbakk 2019) De leverer rapporter fra analysene på epost og via en egen påloggingsside som Aker BP kan logge seg på. De driver også et samarbeid med Cognite der resultatene fra oljeanalysene skal tilgjengeliggjøres i Cognites dataplattform. (Invicta 2019)

MainTech

MainTech er et Trondheimsbasert konsultentselskap som leverer tjenester innen blant annet forbedret vedlikeholdsstyring. (*Tjenester* 2019) Under prosjekteringen av Ivar Aasen-plattformen bidro MainTech med å utføre konsekvensklassifiseringer og å bygge opp et risikobasert vedlikeholdsprogram i henhold til NORSOK Z-008. Her bygde man opp et tag-hierarki og rutiner for hva som skal gjøres. Aker BP benytter vedlikeholdsstyringsløyfa som et viktig verktøy for vedlikeholdsstyringen på Ivar Aasen. MainTech bidrar til læring og systematisering av forslag som kommer inn fra vedlikeholdsteknikere på plattformen og bidrar dermed til kontinuerlig forbedring av vedlikeholdsprogrammet på plattformen. (Lindrupsen og Sandbakk 2019)

Siemens

Siemens er et verdensomspennende tysk industrikonsern som utvikler høyteknologiske og innovative løsninger for industri, energi, byer og helse. (*Siemens* 2018) Siemens er leverandør av kontrollsyste-met på Ivar Aasen. De har en vedlikeholdsavtale med Ivar Aasen der de gjør vedlikehold og endringer/modifikasjoner i kontrollsyste-met. Dette kan være både mindre og større endringer, alt fra å endre alarmgrenser til større funksjonsendringer og implementering av ny logikk i styringssystemet. (Lindrupsen og Sandbakk 2019)

ABB

ABB er en global leverandør innen kraftnett, elektrifiseringsprodukter, industriell automatisering og drivsystemer. (ABB 2019) ABB har en vedlikeholdskontrakt med Aker BP. På Ivar Aasen kan ABB ved hjelp av fjernbetjening gå inn i overvåkingssystemer (drive monitor) for frekvensomformere i drivlinjer for større forbrukere, for å diagnose av disse. Ved å sammenholde dette med innhentet driftsdata for motor og pumpe kan de så diagnostisere hele drivlinjen. ABB har også levert instrumentering som temperaturtransmitterne og temperaturelementene på vanninjeksjonspumpen. (*Water Injection Pump Operation Manual* 2016)

Bently Nevada

Bently Nevada er en del av det amerikanske selskapet "Baker Hughes, a GE company" og utvikler systemer for tilstandsovervåking av industrielle anlegg og operasjoner. (Bently Nevada 2019) For Aker BP er Bently Nevada en underleverandør av Siemens. På Ivar Aasen har de levert en del av kontrollsystemet som går på tilstandsovervåking av komponenter på plattformen. De leverte også vibrasjonstransmitterne og vibrasjonselementene på vanninjeksjonspumpen på Ivar Aasen. (*Water Injection Pump Operation Manual* 2016)

Aker BP har kjøpt en feildiagnosepakke av Bently Nevada som ligger inne i selve kontrollsystemet. Dette systemet kalles System 1, og i dette programmet ligger det "RUL-packs" som kan brukes til å regne ut gjenværende levetid (RUL). Karsten Moholt benytter System 1 når de overvåker vibrasjon, men intervjuobjekt er usikker på om de benytter "RUL-packsene" per dags dato. Mulighetene ligger i hvert fall tilstede. (Lindrupsen og Sandbakk 2019) Under intervju bachelorgruppen har utført med Karsten Moholt ble det ikke nevnt at de benytter "RUL-packsene" i System 1. (*Karsten Moholt AS/Kjell Puntervold* 2019)

Sulzer

Sulzer er et internasjonalt selskap som leverer pumpeløsninger, tjenester for roterende utstyr, separasjon- og blandingsteknologi. (Sulzer 2019)

Sulzer har levert sentrifugalpumpen på Ivar Aasen, som denne oppgaven handler om. Det er de som kjenner pumpen best. Hvis Aker BP trenger hjelp og råd som spesielt omhandler sentrifugalpumpen tar de direkte kontakt med Sulzer. De har ikke en fast kontrakt, men tar kontakt ved behov. (Lindrupsen og Sandbakk 2019)

Eagle Burgman

Eagle Burman er en leverandør av industriell tetningsteknologi. (Eagle Burgman 2019) De har levert løsninger for tetninger på Ivar Aasen, og kan bidra med ekspertise ved spørsmål relatert til tetninger. (Lindrupsen og Sandbakk 2019)

Framo

Framo er et selskap som leverer pumpeanlegg for marin industri med hovedkontor i Bergen. De er en del av selskaper Alfa Laval. (Framo 2019)

Framo er leverandør av pumpe-systemer på Ivar Aasen-plattformen. Dette inkluderer ikke sentrifugalpumpen som tidligere nevnt er levert av Sulzer. (Lindrupsen og Sandbakk 2019) I august 2018 inngikk Aker BP, Framo og Cognite en kontrakt kalt "Data Liberation Contract". Denne kontrakten kategoriseres som en "Smart Service Contract" og målet er å endre den tradisjonelle tilnærmingen til vedlikehold ved å utnytte tilgjengelig tilstandsdata fra komponenter og utstyr. Dette ønsker de å oppnå ved å tilgjengeliggjøre tilstandsdata for Framo, ved hjelp av Cognite Data Fusion (CDF). Mer info om dette kan ses i kapittel 2.5.1 under overskrift "Data Liberation Contract". (*Aker BP signs "data liberation contract"* 2018)

Kartleggingen over viser at det er veldig mange aktører involvert i vedlikeholdet på plattformen Ivar Aasen. Basert på den informasjonen vi har fått tilgang til

ser vi et behov for å etablere en bedre oversikt over hva de forskjellige aktørene gjør. Dette kan bidra til bedre utnyttelse av de tilgjengelige ressursene slik at man kan ta ut mulige synergieffekter for å legge bedre til rette for innføring av prediktivt vedlikehold.

Et eksempel kan være samarbeid mellom Sulzer, Cognito, Karsten Moholt og MainTech. Sulzer leverer pumper og tjenester til mange kunder, og kan potensielt tilgjengeliggjøre data og feilhistorikk fra komponenter de leverer. Cognito leverer en plattform for samling og tilgjengeliggjøring av data, MainTech og Karsten Moholt kan bidra med domenekunnskap og informasjon om hvilke målepunkter som er relevante for å analysere seg fram til forskjellige typer feil på komponenter. Et samarbeid mellom slike aktører vil derfor kunne være viktig for innføring av prediktivt vedlikehold. Dette kommer vi nærmere inne på i diskusjonskapittelet (Kapittel 3).

Aker BP består av sammenslåinger av tidligere mindre olje- og gasselskaper på norsk sokkel. (Historien om Aker BP 2019) Det er derfor mange ulike aktører involvert i drift- og vedlikeholdstjenester på de forskjellige assetsene som Aker BP opererer i dag. Det kan derfor med fordel ses mulige gevinster ved å i større grad benytte samme aktører på flere assets for å samarbeide bredere med leverandører om arbeidet med prediktivt vedlikehold framover.

2.5 Aker BPs vei mot prediktivt vedlikehold

Under følger en gjennomgang av aktiviteter Aker BP har gjennomført som bachelorgruppen anser som viktig for å kunne gå mot et mer prediktivt vedlikehold på sine oljeplattformer.

2.5.1 Strategiske partnerskap og allianser

Restrukturering av verdikjeden er en av Aker BPs sentrale forbedringsinitiativer. Aker BP er avhengig av eksterne leverandører i alle deler av verdikjeden. Derfor ønsker Aker BP å inngå allianser med viktige leverandører og strategiske partnere for legge til rette for en felles verdiskaping. Aker BP har inngått en rekke allianser det siste året for å oppnå dette. Denne restruktureringen innebærer en ny strategisk tilnærming til anskaffelser. Den handler om å skape felles mål for Aker BP og deres leverandører, ved å samarbeide på tvers mellom eksperter i Aker BP og deres viktigste leverandører. Dette for å definere de beste løsningene og levere de sammen som ett team. (*Strategic partnerships and alliances* 2019)

Aker BP vil samarbeide med sine strategiske partnere for å levere felles mål, for å sikre kontinuerlig forbedring gjennom samarbeid og deling av fordeler og risiko.

Samarbeidet skal være preget av:

1. Et vesentlig verdiskapingspotensial gjennom felles forbedringer.
2. Et felles perspektiv på hvordan skape verdier for alle involverte parter.
3. Forretningskontrakter som inkluderer tilpassede insentiver for å levere felles mål og dele fordeler og risiko.

(*Strategic partnerships and alliances* 2019)

Spesifikke samarbeidsformater mellom Aker BP og de strategiske partnerne vil bli skreddersydd og videreutviklet gjennom en kontinuerlig forbedringsinnstilling for å maksimere verdiskapingen. (*Strategic partnerships and alliances* 2019)

Data Liberation Contract

Som nevnt i kapittel om Framo over inngikk Aker BP, Cognite og Framo i august 2018 en ”Data Liberation Contract”. (*Aker BP signs “data liberation contract”* 2018)

Ivar Aasen-plattformen i Nordsjøen tilfører Aker BP mer enn kun olje. Den overfører også store mengder data til land. I dette samarbeidet ønsker de å utnytte denne dataen bedre enn de gjør i dag. Ved å tolke og analysere disse dataene ønsker de å gjøre plattformen til en av de mest teknisk avanserte plattformene i verden. Aker BP har et ønske om å skape ny verdi gjennom digital teknologi og frigjøring av datastrømmer. Kontrakten med Cognite og Framo er en viktig milepæl på denne reisen. De ønsker at dette skal legge til rette for et vellykket samarbeid med leverandører, ved å tilgjengeliggjøre store mengder tilstandsdata fra forskjellige komponenter og systemer i en felles dataplattform (CDF).

Dette vil gjøre det lettere for de forskjellige leverandørene av utstyr å utnytte denne dataen for å utvikle og forbedre sine komponenter ytterligere. Dette mener Aker BP at vil være en vinn-vinn situasjon både for selskapet, leverandørene og oljeindustrien som en helhet. Aker BPs strategi er å utnytte ekspertisen som leverandørene sitter på ved å utnytte store mengder historisk- og nåtids tilstandsdata. Dette betegner de som såkalte smarte kontrakter. (*Aker BP signs “data liberation contract”* 2018)

Det overordnede målet med kontrakten mellom Aker BP, Cognite og Framo er å endre den tradisjonelle tilnærmingen til vedlikehold. Kontinuerlig innsamling og utnyttelse av tilstandsdata gjør det mulig å monitorere tilstanden på utstyr, slik at man kan erstatte unødvendig forhåndsbestemt vedlikehold med vedlike-

hold når det er nødvendig. Dette ønsker de at skal muliggjøre et mer effektivt vedlikeholdsregime. (*Aker BP signs “data liberation contract” 2018*)

De nye smarte kontraktene endrer business-modellen mellom Aker BP og leverandørene. Tidligere fokuserte avtalene med leverandører på definerte timespriser, men vil nå fokusere på oppetid. Dette vil i praksis ikke innebære en tradisjonell outsourcing av vedlikeholdsarbeidet, da Aker BP skal jobbe sammen med leverandørene som ett team. Aker BP mener det er lurt å slippe til de forskjellige leverandørene i dette arbeidet fordi det er de som er eksperter på sitt utstyr. Ved å jobbe sammen i team vil man kunne oppnå synergieffekter. (*Aker BP signs “data liberation contract” 2018*)

2.5.2 Aker BPs strategi for prediktivt vedlikehold

Aker BP innførte i juni 2018 en egen strategi for prediktivt vedlikehold for selskapet. I denne strategien defineres integrasjonen av teknologi, arbeidsprosesser og organisasjon som kreves for en vellykket implementering av et rammeverk for prediktivt vedlikehold. (*Predictive maintenance strategy 2018*)

Den prediktive vedlikeholdsstrategien inneholder blant annet en ”Predictive Maintenance Implementation Strategy” med konkrete punkter som skal følges i implementeringen av prediktivt vedlikehold på de forskjellige feltene, samt en modell som beskriver arbeidsprosessen for å implementere og opprettholde prediktivt vedlikehold. (*Predictive maintenance strategy 2018*) Mer detaljert informasjon om den prediktive vedlikeholdsstrategien kan finnes under kapittel 2.2.

Analytics & Predictive Maintenance Team

I forbindelse med Aker BPs strategi for prediktivt vedlikehold, ble det opprettet en arbeidsgruppe som skal jobbe med prediktivt vedlikehold i Aker BP. Denne arbeidsgruppen omtales av Aker BP som ”Analytics & Predictive Maintenance Team”. Oversatt av bachelorgruppen til Aker BPs team for prediktivt vedlikehold. Dette teamet består av tre ingeniører, hvorav to har bakgrunn fra avdeling

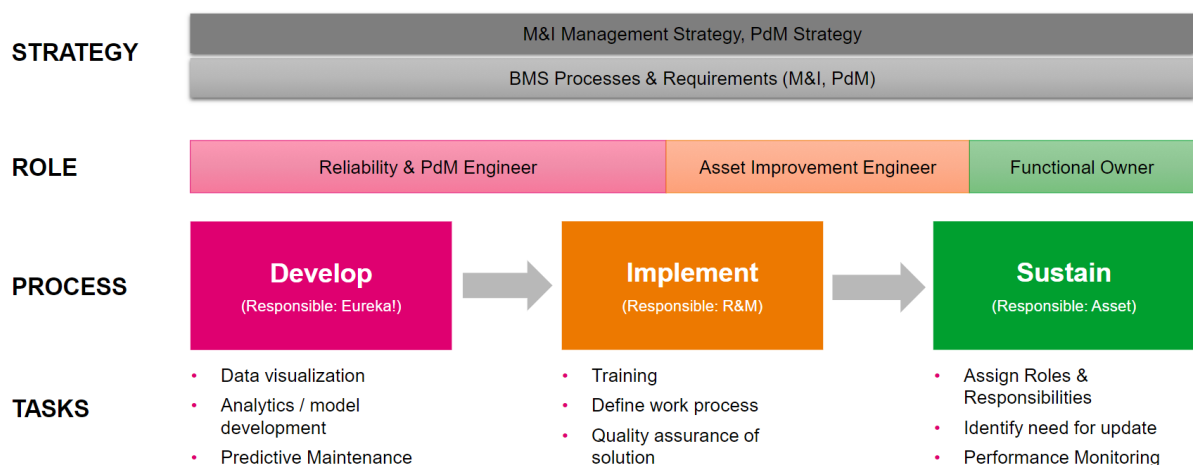
for Reliability & Maintenance i Aker BP. Dette teamet skal jobbe med å kartlegge hvordan Aker BP kan implementere prediktivt vedlikehold i det eksisterende vedlikeholdsprogrammet. (*Pdm team [intervju] 2019*)

Aker BPs team for prediktivt vedlikehold har en visjon om at de skal utvikle, implementere og støtte systemer for datadrevet vedlikeholdsbeslutning både for eksisterende installasjoner og fremtidsprosjekt slik det er illustrert i figur 2.6. For å oppnå dette har de utviklet en prediktiv vedlikeholdsstrategi som er beskrevet over. De har valgt en "use case-basert" reise der de vil teste ut ting stegvis for å lære og utvikle løsninger underveis. (PdM-Team 2019) (*Pdm team [intervju] 2019*)

Aker BPs team for prediktivt vedlikehold samarbeider i stor grad med Eureka-gruppen for Smart Maintenance. Smart Maintenance utvikler use caser der de tester konkrete caser på utvalgte områder, og utvikler prediktive modeller for disse. Når modellene er utviklet blir casen sendt over til teamet for prediktivt vedlikehold som utvikler et rammeverk for hvordan et prediktivt vedlikeholdsprogram konkret skal implementeres. Dette går blant annet ut på å utvikle arbeidsprosesser og etablere en organisasjonsstruktur og en kultur som legger til rette for tilstandsbasert og prediktivt vedlikehold.

Etter de har utviklet dette skal de begynne jobben med å implementere løsningene i den daglige driften, med mål om å kunne fjerne det kalenderbaserte vedlikeholdet og gå over til et tilstandsbasert og prediktivt vedlikehold. Dette ønsker de at skal resultere i forbedret pålitelighet og sikkerhet samt reduserte kostnader. (*Pdm team [intervju] 2019*) (PdM-Team 2019)

Figur 2.6 under viser ansvarsområder for teamet for prediktivt vedlikehold.



Figur 2.6: Ansvarsområder (PdM-Team 2019)

Det er definert tre steg på veien mot fremtidens vedlikehold:

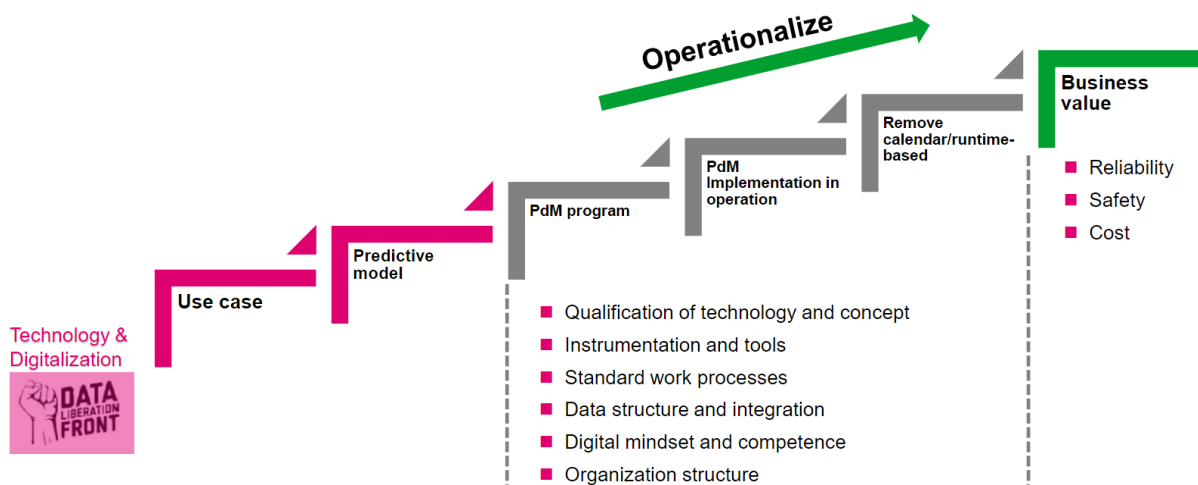
1. Descriptive: Dette steget innebærer å identifisere en feil som har skjedd, hva som skjer og hvorfor.
2. Predictive: Hva vil skje, når vil det skje, og hvorfor.
3. Prescriptive: Hva skal gjøres, hvorfor skal det gjøres, når skal det gjøres, og hvordan skal det gjøres.

(Pdm team [intervju] 2019) (PdM-Team 2019)

Ved å gå denne veien ønsker de å gradvis gå fra et kalenderbasert til et tilstands-basert prediktivt vedlikehold. (Pdm team [intervju] 2019)

Figur 2.7 viser stegene teamet for prediktivt vedlikehold ønsker å gå gjennom for å gå mot et mer prediktivt vedlikeholdsprogram.

PdM team is an enabler to operationalize technology use cases to business values



Figur 2.7: Stages (PdM-Team 2019)

Eksempler på use caser

På Skarv-plattformen tester de nå ut en use case som det er planlagt at skal gå fra februar til juni 2019. De har laget et dashboard som viser tilstand på ventiler på plattformen. Dette dashboardet skal visualisere tilstand og gi oversikt over hvor lang tid de forskjellige ventilene bruker på å åpne og lukke, og gi en alarm dersom forhåndsbestemt tid overskrides. Denne alarmer vil generere en arbeidsordre som beskriver jobben som må utføres som resultat av denne alarmer. Dette er det første steget i figur 2.7, som viser stegene for utviklingen av en use case til en forretningsverdi. (*Pdm team [intervju] 2019*) (Larsen 2019)

Neste steg for denne use casen vil være å bygge en prediktiv algoritme som kan forutse når ventiler vil bruke lengre tid enn det gitte kravet som er satt. (*Pdm team [intervju] 2019*)

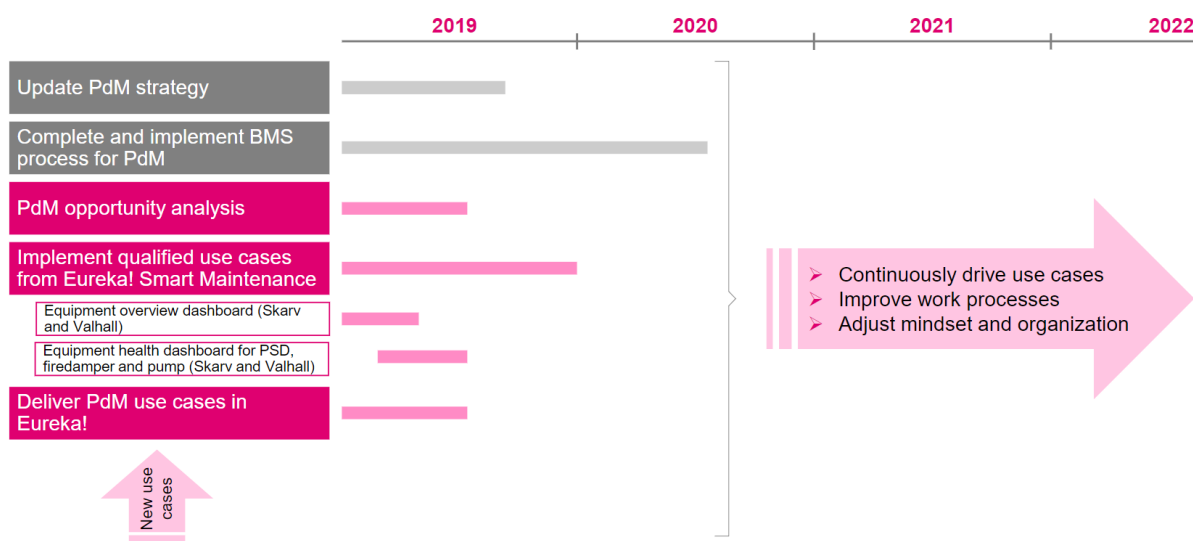
2.6 Planer og visjoner

2.6.1 Aker BPs plan for videre arbeid med prediktivt vedlikehold

Aker BPs team for prediktivt vedlikehold har utarbeidet en plan for prediktivt vedlikehold som strekker seg fra 2019 til 2022. I denne planen beskrives konkrete steg de skal gjennom på veien mot å implementere prediktivt vedlikehold i Aker BP. Planen innebærer blant annet å oppdatere Aker BPs strategi for prediktivt vedlikehold og ferdigstille en BMS-prosess (Business Management System) for prediktivt vedlikehold.

I tillegg vil de fortsette å utvikle use caser fra Eureka / Smart Maintenance, tilføre nye use caser til Eureka og videre drive kontinuerlig forbedring og utvikling av nye use caser. De vil også forbedrede arbeidsprosesser og utvikle et mindset og en organisasjonsstruktur som legger til rette for å kunne utvikle og opprettholde det prediktive vedlikeholdet i Aker BP. (*Pdm team [intervju] 2019*) Under følger en illustrasjon av planen i figur 2.8:

Analytics & PdM Team – Plan



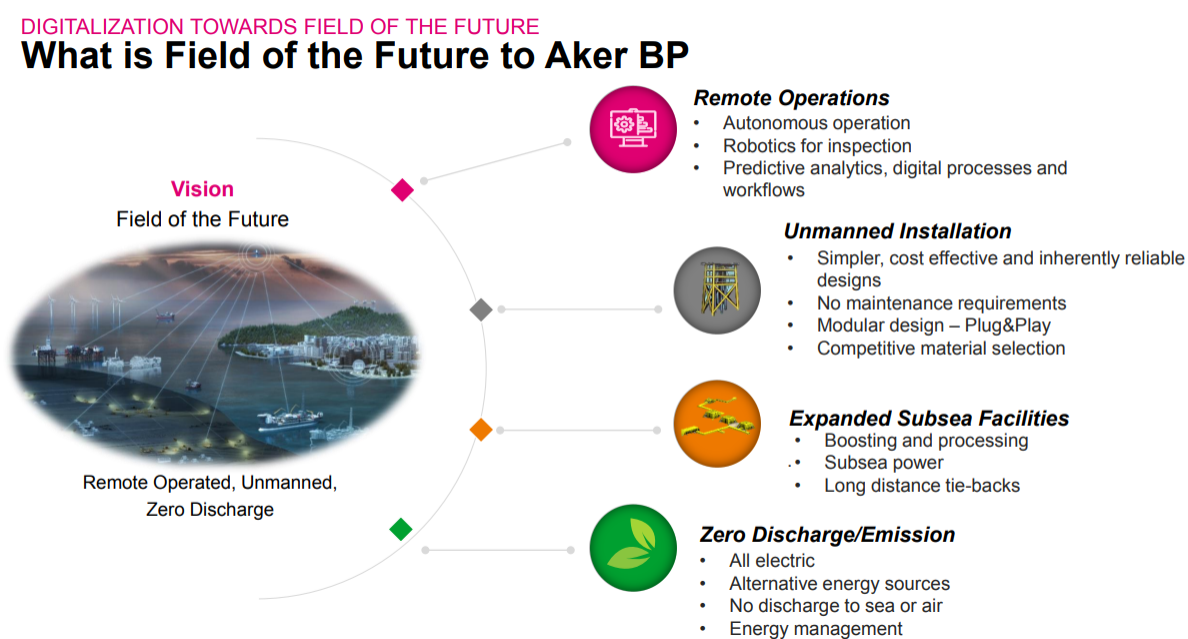
Figur 2.8: Plan (PdM-Team 2019)

2.6.2 Overordnet visjon

Det overordnede målet for arbeidet med prediktiv vedlikehold i Aker BP er å komme på et nivå der utstyret selv forteller når, hva og hvordan vedlikehold skal utføres. Dette er en del av den overordnede visjonen ”Field of the Future”. (PdM-Team 2019) (*Pdm team [intervju] 2019*)

”We develop, implement and support in sustaining data-driven maintenance solutions, to increase the business value for the installation and enable Aker BPs ambition of designing the field of the future.” (PdM-Team 2019)

Field of the Future



Figur 2.9: Field of the Future (Leon 2018)

Aker BPs visjon for fremtidens felt er preget av høy teknologisk kompleksitet med stor grad av digitalisering og automatisering. Dette er illustrert i figur 2.9. De ønsker en mer autonom drift der plattformene styres fra land, der roboter og droner kan utføre inspeksjoner. Dette krever en helintegrert og optimal kommunikasjon mellom offshore og land. Dette skal blant annet prediktivt vedlikehold og digitale verktøy og prosesser bidra til. Ved å utnytte prediktiv og preskriptiv analyse til drift og vedlikehold ønsker man ha full kontroll på installasjonens

tilstand både i nåtid og frem i tid. Dette vil legge til rette for autonom drift. (Leon 2018)

De ser for seg ubemannede plattformer som styres fra land. (Leon 2018) I mai 2019 skal den ubemannede brønnhodeplattformen Valhall Flanke Vest settes i drift. Plattformen skal være ubemannet og kobles opp til Valhall Feltsenter. (Energidepartementet 2018) Plattformen er nå under bygging ved alliansepartner for brønnhodeplattformer, Kværners verft på Verdal. (*Byggestart Valhall Flanke Vest* 2019)

Å styre en plattform fra land har Aker BP allerede begynt med, da de flyttet kontrollrommet til Ivar Aasen-plattformen fra Nordsjøen til torget i Trondheim i starten av 2019. (*Ivar Aasen styres nå fra land* 2019)

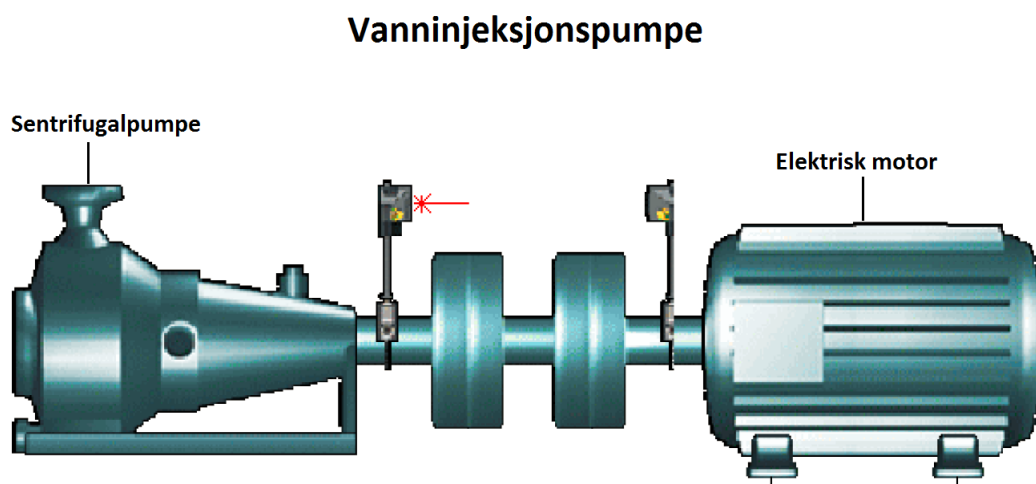
For å kunne realisere en fullstendig ubemannet plattform er de avhengig av å ha en høy pålitelighet på utstyret. Prediktivt vedlikehold er et viktig aspekt for å oppnå dette. De ser også for seg et optimalisert design som legger til rette for en enklere og mer kostnadseffektiv drift. Gode materialvalg vil også være essensielt for å redusere vedlikeholdsbehovet til det minimale. (Leon 2018) De ser også for seg utvidede subsea-fasiliteter der for eksempel prosessering foregår på havbunnen. De ønsker å ha større avstander for tie-backs, altså at man kan ha flere felt med større avstander koblet til en plattform. (Leon 2018)

De ønsker at fremtidens felt skal være helelektrisk og ha null utslipp til luft og sjø. Dette skal de oppnå ved bruk av alternative energikilder som offshore vind, bølgekraft og solenergi. (Leon 2018)

2.7 Beskrivelse av vanninjeksjonspumpen

Dette kapittelet inneholder en beskrivelse av teknisk oppbygging og tilhørende vedlikeholdsprogram for vanninjeksjonspumpen på Ivar Aasen. Vanninjeksjonspumpen er illustrert i figur 2.10 og består av:

- Én Sulzer sentrifugalpumpe
- Én ABB elektrisk motor
- Én John Crane spacer kobling
- Diverse komponenter og instrumenter



Figur 2.10: Illustrasjon vanninjeksjonspumpe (*Water Injection Pump Operation Manual 2016*)

Vanninjeksjonspumpen består som nevnt over av en sentrifugalpumpe, en elektrisk motor og en spacer kobling. (*Water Injection Pump Operation Manual 2016*) Vi har i oppgaven valgt å se bort fra koblingen, da den ikke er sensorert for datainnsamling i dag, og oppgaven ser på hvordan tilgjengelig tilstands- og driftsdata kan benyttes.

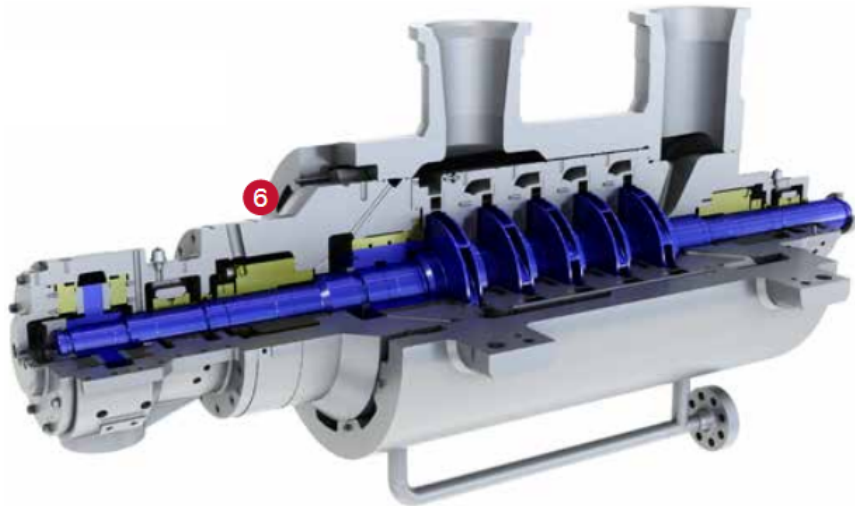
Sentrifugalpumpen er produsert i henhold til standarden NS-EN ISO 5199 (*Tekniske spesifikasjoner for sentrifugalpumper - klasse II*) og opererer i henhold til kravene satt i standarden NS-EN ISO 13709.

Vanninjeksjonspumpen har til hensikt å injisere vann for å opprettholde trykket i oljereservoaret. Ivar Aasen-plattformen har kun en vanninjeksjonspumpe. Dersom pumpen får en svikt som fører til at den ikke kan injisere vann, vil trykket i reservoaret avta og dette vil få konsekvenser for oljeproduksjon. Dette medfører at vanninjeksjonspumpen er en kritisk del av *System 29 Vanninjeksjon*. I følge Aker BPs dokumentasjon om vanninjeksjonspumpen er konsekvensklassifisering for produksjon ”medium”, sikkerhet og miljø ”liten”, og kostnad ”høy”, noe som gir vanninjeksjonspumpen den samlede konsekvensklassifiseringen ”høy”. (Lindrupsen og Sandbakk 2019) (Aker BP 2019a)

Vanninjeksjon på oljefeltet Ivar Aasen har imidlertid vist seg å være viktigere for reservoaret enn først antatt, og Aker BP ønsker derfor en oppdatert konsekvensklassifisering for vanninjeksjonspumpen. Muligens vil dette gi vanninjeksjonspumpen en høyere konsekvens enn det den ligger med i dag. (Sandbakk 2019a) Se definisjon av ordet ”konsekvens” hentet fra NORSOK Z-008 under definisjoner i starten av oppgaven.

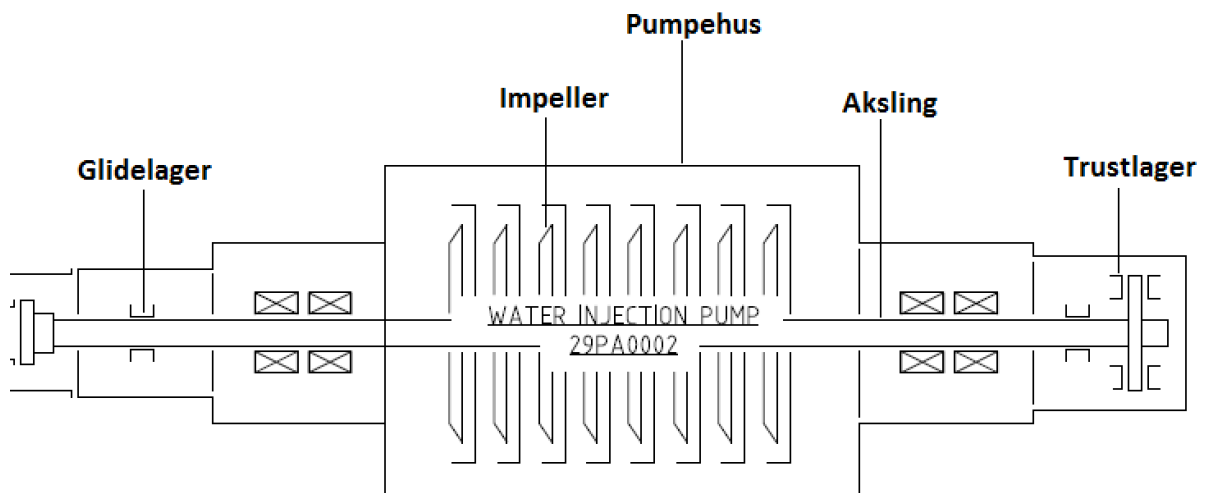
2.7.1 Sentrifugalpumpe

Pumpen for vanninjeksjon på Ivar Aasen er en horisontal sentrifugalpumpe levert av Sulzer. En sentrifugalpumpe er en enhet som brukes til forflytning av gasser eller væsker. Hovedkomponentene i en sentrifugalpumpe er pumpehuset. Fluidene kommer inn i pumpen med høy fart nær senter av impellerene og kastes mot skovlene. Trykket fra sentrifugalpumpen forskyver fluidene igjennom en åpning på pumpehuset. Sentrifugalpumpen produserer en kontinuerlig strømning av fluider ved høyt trykk. Dette trykket kan økes ved å koble til flere impellere i et system. (Britannica Academic 2019) Figur 2.11 er et eksempel på en sentrifugalpumpe fra Sulzer.



Figur 2.11: Illustrasjon sentrifugalpumpe fra Sulzer (*HPcp Barrel Casing Pump* 2016)

Pumpen består hovedsaklig av et pumpehus, to glidelager, to trustlager, en pumpeaksling og åtte impellere, vist i figur 2.12. Pumpen har glidelager i hver ende og to trustlager mot sluttenden. Glidelagrene har til hensikt å redusere friksjon på pumpeakselen, og forhindre radial forflytning. Trustlagrene forhindrer spenninger i aksial retning.

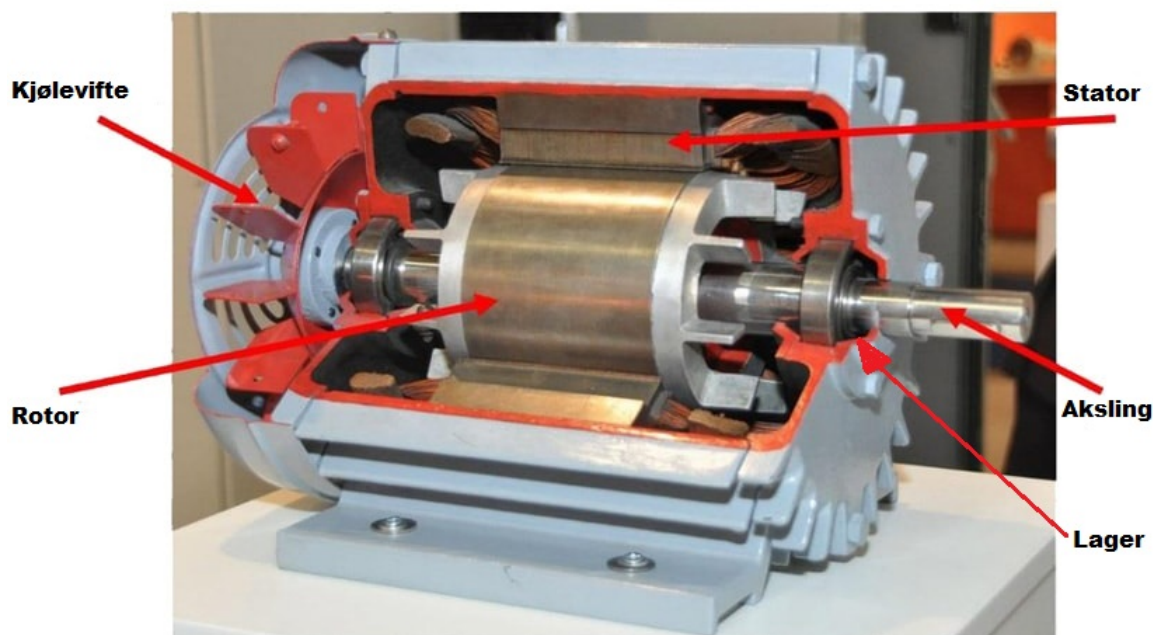


Figur 2.12: Sentrifugalpumpe hovedkomponenter (*Water Injection pump - Condition monitoring P&ID* 2018)

2.7.2 Elektrisk motor

Den elektriske motoren er levert av ABB og går under kategorien "Squirrel cage motor". En elektrisk motor omformer elektrisk energi til mekanisk rotasjonskraft. Måten dette skjer på er at rotoren, som har strømførende ledere, utsettes for et elektromagnetisk moment fra statoren. Momentet forårsaker at rotoren dreier rundt. Rotoren har et lager på hver side, som er festet til akslingen. Lageret sikrer rotasjon med minst mulig friksjon og forhindrer vibrasjon og varmeutvikling på rotoren og motorhuset. En aksling er koblet til rotoren, og overfører rotasjonskraften fra motoren via koblingen som er sammenkoblet til arbeidsmaskinen med kile og kilespor. Arbeidsmaskinen er i dette tilfellet sentrifugalpumpen. For å avkjøle komponenter og motorhus er elektromotoren utstyrt med kjølevifte i enden av rotoren. (*Elektrisk motor* 2019) (*Kulelager* 2018)

Figur 2.13 viser en generell elektrisk motor med henvisning til hovedkomponentene rotor, stator, lager, aksling og kjølevifte.



Figur 2.13: Elektrisk motor (*Electric motor* 2019)

2.8 Eksisterende vedlikeholdsprogram

Det eksisterende vedlikeholdet på vanninjeksjonspumpen i dag baserer seg i stor grad på inspeksjon og kontinuerlig tilstandsovervåking i form av sensorer som overvåker utstyret. En sensor er definert som ett eller flere element tilkoblet en transmitter. Inspeksjoner utføres etter forhåndsbestemte intervaller, men vedlikeholdet utføres kun når det anses som nødvendig ut fra resultater fra inspeksjon og tilstandsovervåking. Man kan derfor si at det eksisterende vedlikeholdet på vanninjeksjonspumpen i stor grad utføres som tilstandsbasert vedlikehold. Det de ikke gjør i dag er å benytte prediktive analyser for å forsøke å forutse vedlikeholdsbehov frem i tid. (Sandbakk og Åkergren 2019)

For styring, planlegging og organisering av vedlikehold og oppretting av arbeidsordre på Ivar Aasen bruker Aker BP vedlikeholdsstyringssystemet SAP. En oversikt over forhåndsbestemte aktiviteter som utføres på vanninjeksjonspumpen hentet fra SAP, kan ses i tabell 2.1.

Tabell 2.1: Oversikt over forhåndsbestemte aktiviteter på vanninjeksjonspumpen (Aker BP 2019b)

Operasjonsbeskrivelse	Intervall	Beskrivelse
Oljeprøver	1 mnd	Oljeprøver analyseres for partikkelinnhold og vanninnhold av labteknikker på Ivar Aasen
Visuell inspeksjon av akkumulator	3 mnd	
Oljeprøver	6 mnd	Oljeprøver sendes inn til Invicta for full smøreoljeanalyse
Kontroll motor av ABB	12 mnd	ABB gjennomfører årlig ettersyn på motor. Ettersyn gjennomføres i henhold til ABB sine retningslinjer for vedlikehold av motor. Inspeksjonsnivå bestemmes fra forrige års tilstand.
Visuell inspeksjon pumpe	12 mnd	Sjekk for unormale lyde, lukter og vibrasjoner Sjekk at tag- og navneskilt er hele og lesbare Se etter oljelekkasjer samt sjekk oljenivå Hvis mulig: sjekk tilstand på gir og kobling Sjekk skruer og bolter, og etterstram ved behov
Verifikasjon av ST, PST og TST	12 mnd	ST (Speed transmitter) PST (Pressure switch transmitter) TST (Temperature switch transmitter)
Funksjonstest av spjeld	12 mnd	
Kontroll motor, ink vis. EX	12 mnd	Kontroll på stator og rotor viklinger, Luft-vann kjøling tilbehør, Luft-luft kjøling tilbehør, fundament og skruerkoblinger EX kontroll, EX (Eksplisjon)
Rengjøring av strainer SI-3007.01	12 mnd	
Funksjonskontroll space heater	12 mnd	
EX-kontroll detaljert	12, 36 mnd	Noe er 12 mnd og annet er 36 mnd. EX-kontroll utføres på alt som er EX-klassifisert. Intervall avhenger av klassifisering.
Isolasjonstest	36 mnd	Gjeller for pumpemotor og viftemotor.
Inspeksjon av starteskuffe	36 mnd	
Funksjonstest av nødstop	36 mnd	
Funksjonskontroll av purgeunit Exp	36 mnd	Dette er EX-beskyttelsen på pumpemotoren.
Verifikasjon av FT, PDT, PT/PT remote, TT og VT	36 mnd	FT (Flow transmitter) PDT (Pressure differential transmitter) PT (Pressure transmitter) TT (Temperature transmitter) VT (Vibrasjon transmitter)
Prosessklargjøring og tilbakestilling remote seal	36 mnd	Sette isolasjonsplan Tilbakestille isolasjonsplan

2.9 Eksisterende tilstandskontrollsystemer/metoder

2.9.1 Introduksjon

På vanninjeksjonspumpen utføres tilstandskontrollmetodene visuell inspeksjon, analyse av smøreolje, vibrasjonsovervåking, og overvåking av prosessparametrene trykk og temperatur, samt hastighet på roterende elementer og strømforbruk på motoren.

2.9.2 Oversikt over tilstandskontrollmetoder

Periodisk tilstandsovervåking

Visuell inspeksjon utføres periodisk og rutinene er beskrevet i tabell 2.1 over.

Overvåking av smøreolje utføres ved periodisk tilstandskontroll i form av prøver som tas av operatører på plattformen. Det finnes gode prosedyrer som er lett tilgjengelig for personell for hvordan oljeprøvene skal utføres. Det er her spesifisert TAG-nr på prøvepunkt, at oljen skal være i henhold til ISO 4406 og at oljen skal ha driftstemperatur når prøven tas. (Aker BP 2019b) (International Standard 2017)

Hver måned tas det oljeprøver som analyseres lokalt på plattformen, der det sjekkes for vann- og partikkelinnhold. Hver 6. måned sendes det prøver til oljeanalyse-selskapet Invicta for utvidede prøver. Invicta utfører en standard analyse, som består av spektrografisk analyse og bestemmelse av viskositet, syretall og vanninnhold. De utfører også partikkelanalyse, som teller og bestemmer størrelsen på partiklene i smøreoljen. Resultatene av oljeanalysene tilgjengeliggjøres for Aker BP i rapporter som sendes via epost og sendes til en rekke mottakere. I tillegg tilgjengeliggjøres resultatene via en nettportal som Aker BP kan logge seg på. (Invicta 2019)

At rapportene sendes til en rekke mottakere og tilgjengeliggjøres i nettportalen skaper problemer når det ikke eksisterer tydelige retningslinjer for hvem som

har ansvaret for å følge opp resultatene fra rapportene. På grunn av dette blir ikke rapportene behandlet optimalt ved levering. Dette kan forbedres ved at det etableres et tydelig ansvarsforhold for hvem som er ansvarlig og retningslinjer for hvordan disse rapportene skal behandles etter levering. (Sandbakk og Åkergren 2019)

Invicta har nettopp tatt i bruk et nytt datasystem der det legges bedre til rette for at kunder kan gi tilbakemeldinger til Invicta om oljeanalyser de har utført. Informasjon de typisk ønsker fra kunde er om en pumpe har havarert, skade på filter, skade på komponenter osv. Invicta ønsker at dette skal bidra til at de kan knytte funn i oljeanalysene mot svikt på utstyr, og dermed bedre kunne forutsi feilutvikling og forbedre sine tjenester. (Invicta 2019) Dette mener bachelorgruppen har potensiale til å bidra til bedre prediksjoner.

Kontinuerlig tilstandsovervåking

Overvåking av vibrasjon og prosessparametere som temperatur og trykk, samt rotasjonshastighet på vanninjeksjonspumpen utføres som kontinuerlig tilstandskontroll i form av elektroniske målinger ved bruk av sensorer. Informasjon om kontinuerlig tilstandskontroll og lokalisering av sensorer er hentet fra Aker BPs dokumentsystem.

Sensorene som benyttes består av en transmitter og et element. Elementene er montert direkte på komponenten det måles på, og sender informasjon i form av elektroniske signaler til en transmitter som behandler informasjonen. Signalene registreres som analoge signaler, og overføres senere til digitale signaler i plattformens datasystem. Her kan signalene trendes og analyseres for å si noe om tilstanden på utstyret.

Selskapet Karsten Moholt utfører løpende overvåking av maskinparken på Ivar Aasen, deriblant vanninjeksjonspumpen. Dette inkluderer overvåking av vibrasjon- og temperaturmålinger. De foretar periodiske kontrollsjekker av tilstandsovervåkingen som utføres i tillegg til daglige statussjekker. Dersom ustabiliteter

oppstår ser Karsten Moholt nærmere på målingene fra hver enkelt sensor, og benytter blant annet frekvensspekter for å finne årsak til vibrasjonen. Karsten Moholt benytter System 1 kontinuerlig i overvåking av maskinparken på Ivar Aasen.

De har imidlertid ikke full tilgang til System 1. Et eksempel på funksjoner de ikke har tilgang til er ”Event Manager” hvor alle hendelser og alarmer blir logget. Nå er de avhengig av å sjekke trender manuelt for å se etter eventuelle hendelser. Ut fra tilgjengelig data utfører Karsten Moholt enkel analyse med hensyn på levetidsbetraktninger og degradering, og bruker dette til å gi anbefalinger om vedlikehold hvis det er nødvendig. (*Karsten Moholt AS/Kjell Puntervold 2019*)

For å identifisere sviktmoder i systemet sammenligner Karsten Moholt tilstandsdata med tidligere erfaring med liknende maskineri. Det er også basert på spesifikasjoner og leverandørdata for angjeldende maskintype og maskinkomponenter. De har for eksempel informasjon om operasjonelle grenseverdier for glidelager, enten det er i pumper eller motorer. Dette benytter de inntil hver enkelt maskin begynner å produsere sine egne sviktmoder. Selv om det er flere like maskiner på plattformen, vil alle opptre forskjellig over tid. (*Karsten Moholt AS/Kjell Puntervold 2019*)

Hver måned utarbeider Karsten Moholt en *Condition Monitoring* (CM) rapport for hele maskinparken de overvåker, inkludert vanninjeksjonspumpen. Ved oppdagelse av feil varsler de Aker BP via telefon eller mail i tillegg til at det blir beskrevet i CM-rapporten. Her blir feil gradert basert på alvorlighet, og de beskriver hvilken oppfølging feil bør få. (*Karsten Moholt AS/Kjell Puntervold 2019*)

2.9.3 Plassering av sensorer for tilstandsovervåking

Vanninjeksjonspumpen er utstyrt med 14 sensorer på sentrifugalpumpen og 18 sensorer på den elektriske motoren. Sensorene registrerer enten temperatur, vibrasjon eller hastighet. Noen av målepunktene har flere sensorer og fungerer redundant. Dette legger til rette for å gi et riktig bilde av tilstanden på pumpen.

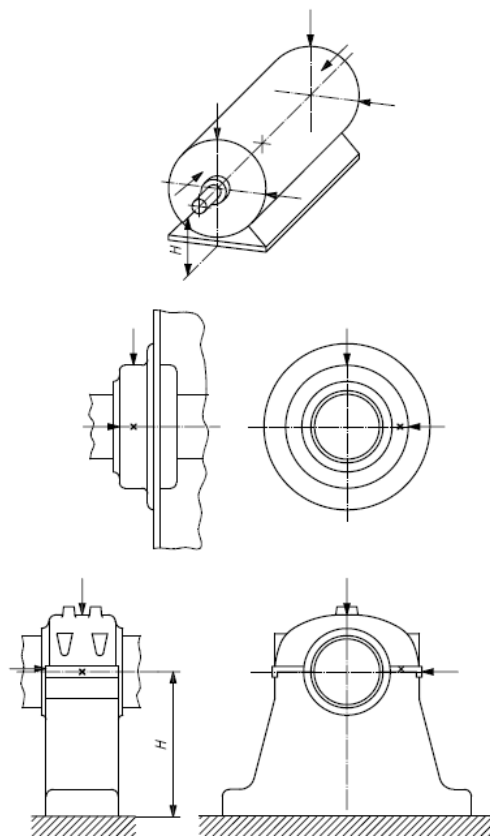
Vibrasjonsovervåking

I følge Aker BPs dokumentasjon er sensorer for overvåking av vibrasjon på vanninjeksjonspumpen på Ivar Aasen plassert i henhold til standarden ISO 10816-3. Under følger en uoffisiell oversettelse utført av bachelorgruppen fra engelsk til norsk av standarden ISO 10816-3, for plasseringene av sensorer for vibrasjonsovervåking på en horisontal maskin:

Overvåking vil vanligvis bli gjort på utsatte deler som er lett tilgjengelig. Det skal bli tatt hensyn til å sikre at målingene er en rimelig representasjon av vibrasjon på lagerhuset, og ikke inkluderer lokal resonans eller amplifikasjon. Plasseringen og retningen av vibrasjonsmålerne skal være slik at de gir tilstrekkelig sensitivitet til maskinens dynamiske krefter. Typisk vil dette kreve to ortogonale radiale måleplasseringer på hvert lagerdeksel eller sokkel, som vist i figur 2.14. [...] Sensorene kan bli plassert i alle vinkler på lagerhuset. Det foretrekkes vertikal og horisontal retning for sensorene på en horisontal maskin. [...]

Merknad: Målinger skal gjøres ved lagerhus eller, dersom utilgjengelig, på posisjoner så nærme lagerhuset som mulig som gir tilstrekkelig sensitivitet til å overvåke maskinens dynamiske krefter.

(International Standard 2009)



Figur 2.14: Lokalisering av vibrasjonssensorer på en horisontal maskin, fra ISO 10816-3 (International Standard 2009)

Alle glidelager på vanninjeksjonspumpen måles for vibrasjon med to vibrasjonssensorer. Den ene sensoren måler vibrasjon i x-retning og den andre i y-retning. I tillegg er to vibrasjonssensorer plassert på enden av akselen som måler aksial forflytning. Alle sensorer for vibrasjonsovervåking er vist i figur 2.15 og 2.16 under.

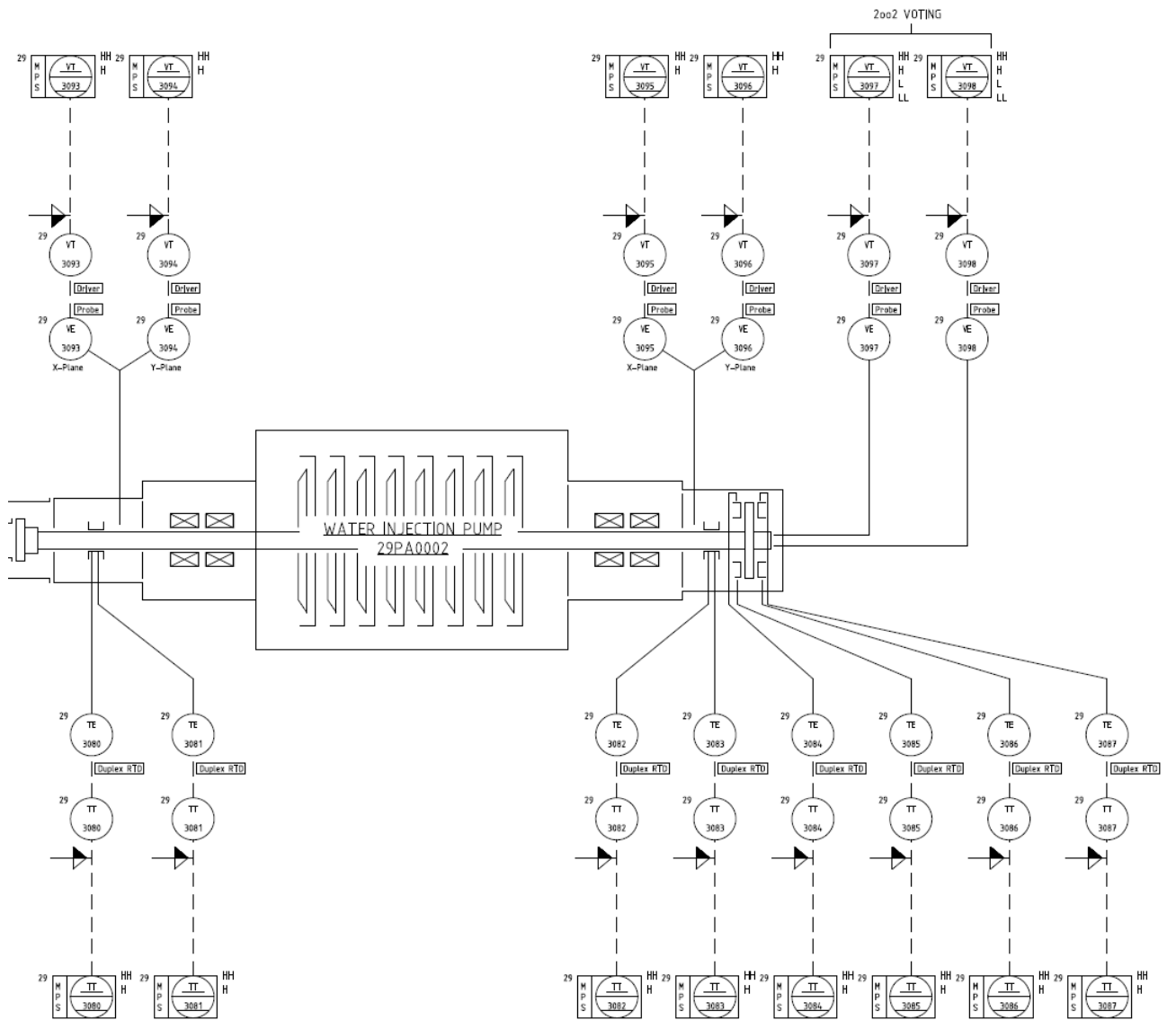
Overvåking av prosessparametre

Alle sensorer for overvåking av prosessparametre på sentrifugalpumpen og motoren er vist i figur 2.15 og 2.16. Bachelorgruppen har ved gjennomgang av Aker BPs dokumenter ikke funnet henvisning til spesifikke standarder som er fulgt for plassering av sensorer for overvåking av prosessparametre. Slik bachelorgruppen har forstått det er plassering av sensorer for temperaturovervåking på glidelager på vanninjeksjonspumpen med tilhørende motor plassert på områder forhåndsbestemt av leverandør ("tapped holes for temperatur measurement").

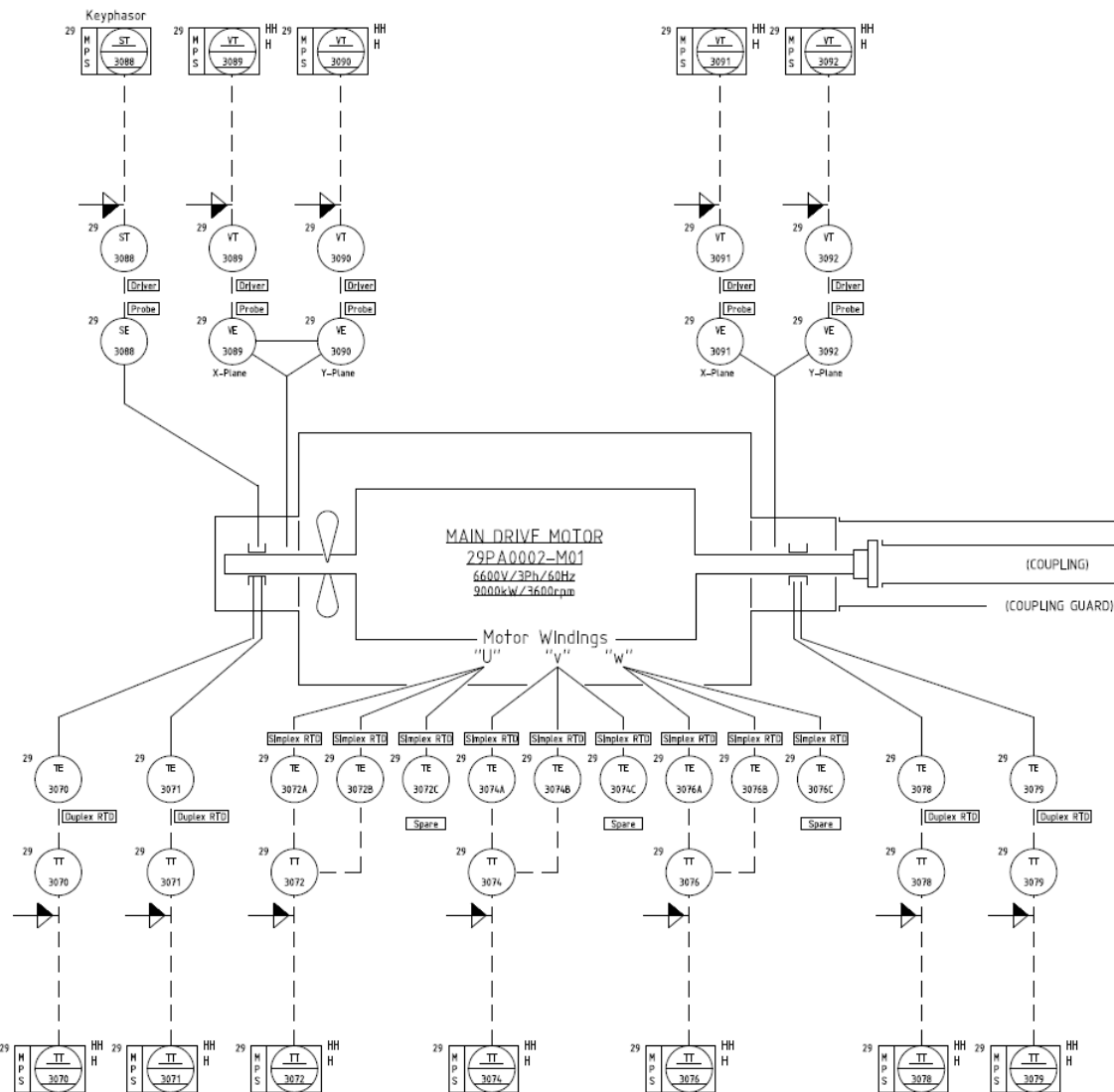
Temperaturen på overflaten av lagrene overvåkes, i tillegg til at temperaturen på kjøleoljen måles når den har gått gjennom lagrene. Temperaturovervåkningen har redundans ved at hver temperatursensor har to element. Det er altså to element koblet til hver transmitter.

På motoren er sensor for rotasjonshastighet plassert på glidelager ved enden av motorakselen. I motoren er det også sensorer som måler temperatur på stator. Disse sensorene er vist i figuren 2.16 som "U", "V" og "W".

Trykk måles ikke direkte på vanninjeksjonspumpen og er derfor ikke vist på figur 2.15 og 2.16. Trykksensorene er plassert før vann går inn i- og etter det har gått gjennom vanninjeksjonspumpen, og på denne måten kan trykket "over" pumpen måles.



Figur 2.15: Tilstandsovervåking på sentrifugalpumpe for vanninjeksjon (*Water Injection pump - Condition monitoring P&ID 2018*)



Figur 2.16: Tilstandsovervåking på elektrisk motor (*Water Injection pump - Condition monitoring P&ID 2018*)

Tabell 2.2: Oversikt over og forklaring på forkortelser i figur 2.15 og 2.16. (Aker BP 2019a)

Forkortelse	Betegnelse	Beskrivelse
VE	Vibrasjons Element	Element er montert direkte på komponent og registrerer vibrasjon.
VT	Vibrasjons Transmitter	Transmitter behandler informasjon fra element.
TE	Temperatur Element	Element er montert direkte på komponent og registrerer temperatur.
TT	Temperatur Transmitter	Transmitter behandler informasjon fra element.
SE	Speed Element	Element er montert direkte på komponent og registrerer hastighet.
ST	Speed Transmitter	Transmitter behandler informasjon fra element.
MPS	Machine Protection System	System stenger ned anlegg for å forhindre kritisk skade ved svikt i anlegget.
2oo2 voting	2 out of 2 voting	2 av 2 sensorer må registrere høye målinger for å trigge nedstenging.
H	"Høy"	Alarm ved høye målinger.
HH	"Høy Høy"	Sensor som trigger nedstengning av anlegget, ved kritisk høye målinger
L	"Lav"	Alarmer ved lave målinger.
LL	"Lav Lav"	Sensor som trigger nedstening av anlegget, ved kritisk lave målinger

2.9.4 Teknisk informasjon om sensorer

Vibrasjonssensorer

Vibrasjonssensorer er av typen proximity probe, altså avstandmåler. Det vil si at sensorene registrerer aksial forflytning. Sensorene har en nøyaktighet på $\pm 6,5\%$ og måler lineær forflytning opptil 2 mm. Sensoren måler et frekvensområde fra 0-10 kHz med en sensitivitet på 7,87 V/mm.

Temperatursensorer

Temperatursensorer er av typen PT100 3-wire. Sensorenes transittere registrerer temperaturer fra $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ og har en nøyaktighet på $\pm 0,05\%$. Hver transmitterne har to sensorer som fungerer redundant.

Trykksensorer

Trykksensorer er av typen diaphragm. Sensorens transmitter kan registrerer trykk fra 0 til 400 bar(g). Trykktransmitteren før vanninjeksjonspumpen er kalibrert fra 0-35 bar(g) og etter er kalibrert fra 0 til 300 bar(g). Sensorene har en nøyaktighet på 0.25% av kalibrert området.

2.10 Målekjeden

Målekjeden for tilstandsovervåking kan beskrives enkelt på følgende måte: Et element står på en komponent og overvåker tilstand. Informasjon fra elementet går via en forlengelseskabel til en signalforsterker/transmitter. Fra transmitter går informasjon via en feltkabel, for så å gå gjennom ulike barrieresystemer og inn til monitor / datarack. (*Karsten Moholt AS/Kjell Puntervold 2019*)

Analog rådata fra sensorer på vanninjeksjonspumpen går til dataracket som er levert av Bently Nevada. System 1 er som tidligere beskrevet et digitalt system hvor tilstandsdataen hentes inn. De analoge signalene digitaliseres i System 1 og tilgjengeliggjøres for avlesning via Remote Desktop for Karsten Moholt og

andre aktører innen vedlikeholdsstøtte. Tilstandsdata som i dag lagres i Cognites plattform hentes fra Pi Vision, som igjen henter data fra Bently Nevada datarack. Pi Vision har ikke kapasitet til å laste inn data med høy loggehastighet og sampler derfor målingene med lavere oppløsning. Tilstandsdataen i Pi Vision lagres uten tidsbegrensninger, altså har Pi Vision historisk data fra første registrering da Ivar Aasen-plattformen var ny.

2.10.1 Sikkerhet i målekjeden

Målekjeden er lukket fra sensor via fire adskilte barrierer før den kommer til Bently Nevada datarack. (Åkergren og Pettersen Sletta 2019) Eksterne aktører har kun tilgang til avlesning av data fra System 1 via Remote Desktop. Det vil altså si at eksterne aktører ikke har mulighet til å koble seg på målekjeden før dataen tilgjengeliggjøres i System 1. Dette er med på å øke sikkerheten for målekjeden.(Aker BP 2019b)

2.10.2 Verifisering av målekjeden

Aker BP har rutiner for kalibrering av transmittere ved gitte intervall. (Sandbakk 2019a) I tillegg utfører Karsten Moholt tilleggsmålinger for tilstandsovervåking med bærbar instrumentering på plattformen. (*Karsten Moholt AS/Kjell Puntervold* 2019) Disse målingene kan sammenlignes med sensordata. Dette kan være med på å kvalitetssikre målekjeden ved å sikre at data som leses av representerer den fysiske tilstanden på utstyret.

Under følger en kort beskrivelse av rutiner for verifikasjon av de ulike sensorene.

Vibrasjonssensorer

Sensorer for overvåking av vibrasjon på vanninjeksjonspumpen verifiseres gjennom flere tiltak. Det er oppført faste arbeidsordrer for verifikasjon av vibrasjonssensorer hver 36. måned. Disse verifikasjonene innebærer inspeksjon for korrosjon og mekaniske skader på sensorene. Elektriske tilkoblinger, kabler og forbindelser blir sjekket for om komponenter sitter løst eller er skadet. Tilstand på prober og proximatorer sjekkes også. Gap spenning testes for å verifisere at sløyfen er i orden. Gap spenning kan sjekkes ved å måle ute på proximator eller på Bently Nevada vibrasjonssystem. Ved feil gap spenning justeres probe til riktig spenning oppnås. Alle avvik blir rapportert i SAP.

Hastighet- og temperatursensorer

Verifikasjon av hastighet- og temperatursensorer innebærer å sjekke måleverdier og kalibrere etter behov. Hvis transmitter gir alarm verifiseres alarmgrenser. Transmitterene og elementene blir sjekket for skader og deformasjoner. Dersom det blir utført vedlikehold skal transmitterene funksjonstestes. Verifikasjon for henholdsvis hastighets- og temperaturtransmitter utføres hver 12. og 36. måned.(Aker BP 2019b)

Trykksensorer

Trykksensorer verifiseres hver 36. måned gjennom en omfattende aksjon. Informasjon fra sensor sammenlignes med resultat fra trykktesting. Hvis transmitter gir alarm i sikkerhetssystemet verifiseres alarmgrenser mot kontrollrommet. Dersom justering må utføres følges leverandørens instruksjoner fra leverandørmanual.

2.11 Computerized Maintenance Management System (CMMS) på Ivar Aasen

SAP er Aker BPs CMMS på Ivar Aasen. CMMS (Computerized Maintenance Management System), eller vedlikeholdsstyringssystem på norsk, er et data-program som inneholder informasjon om bedriftens vedlikeholdsplaner. Dette systemet gir informasjon som lagerstatus og kjøpsordre slik at brukeren kan jobbe på en mer effektiv måte. Dette ved å bestille reservedeler eller det som mangler til de som utfører vedlikehold. Det dokumenteres også i programmet når en del har blitt reparert, byttet og hvem som var ansvarlig for det. (Mobley og Cato 2002).

CMMS behandler informasjon om flere funksjoner, som for eksempel vedlikehold gjort på utstyret, kostnader av utført vedlikehold, jobbhistorikk, lagerstyring, innkjøp og plan for vedlikehold. Programmet er et verktøy som har til hensikt å systematisere informasjon knyttet til vedlikehold. Innenfor dette blir det ført lister om hva som er nødvendig av komponenter for å utføre vedlikehold. Dersom man fokuserer på dette kan kostnadene innenfor vedlikehold til bedriften bli lavere (Mobley og Cato 2002).

2.11.1 Utførelse og rapportering av vedlikehold i SAP

Ved funn av feil eller mangler på utstyr og systemer meldes disse i SAP som en notifikasjon. Ved opprettelse av en notifikasjon i SAP vil en ha valget mellom funnkode (M1) og feilkode (M2). M1 er koden for generelt vedlikehold, mens M2 innebærer utstysrfeil hvor en enhet har tap av- eller feil på funksjon. Dette er avgjørende for hvordan arbeidsorde skal genereres. Det er viktig at det registreres nøyaktig i SAP slik at det kan analyseres hvilken type feil utstyr har, samt iverksette tiltak for å unngå eller utbedre slike feil i form av riktig vedlikehold.

Notifikasjoner knyttes mot tagnummer på det utstyret som har en feil. Arbeidsordre genereres i SAP basert på notifikasjoner. Videre distribueres arbeidsordre

med beskrivelse av jobben til utførende personell. Når jobben er gjennomført rapporteres den som utført i SAP. (Interndokument Aker BP 2019)

Det er knyttet endel utfordringer til det å rapportere på en entydig måte i SAP. Det eksisterer kriterier for hvordan rapportering skal utføres, men det er ikke alltid dette blir fulgt i praksis. Det er viktig at det utføres god opplæring og standardisering for å legge til rette for stabil kvalitet på rapportene i SAP.

For at Aker BP skal kunne forbedre bruken av SAP er det viktig å evaluere rapporteringen. Hver enkel rapport blir ikke evaluert, men vedlikeholdsingeniørene som jobber med Ivar Aasen har periodevis en gjennomgang av innholdet i rapportene for å se om dette utføres riktig i henhold til BMS (Business Management System). Videre samarbeider brukerne av SAP om å øke kvaliteten på rapportering. Bakgrunnen for evaluering er å oppnå kontinuerlig forbedring i henhold til mål for lean på Ivar Aasen. (Sandbakk 2019c)

I henhold til vedlikeholdsstrategien for Ivar Aasen skal rapportering, tilstandskontroll, nøkkeltall og endringsmåling være en del av et vurderingsgrunnlag for kontinuerlig forbedring av helse, miljø, sikkerhet, produksjon og kostnader. (*Vedlikeholdsstrategi Ivar Aasen - 0013* 2016)

2.11.2 Muligheter i SAP

SAP er en innholdsrik plattform og kan brukes til alt fra timeføring til rekvisisjon for innkjøp og arbeidsordre, men oppleves som treg og ikke spesielt brukervennlig. (Sandbakk 2019a) Bachelorgruppen har utforsket brukerflaten i SAP og opplever som ny bruker at systemet er vanskelig å navigere seg i og at det kreves opplæring for å forstå og anvende. Selv om terskelen for effektiv bruk av SAP er høy, er det likevel systematisk og gir et informativt grensesnitt til kompetente brukere.

Aker BP er imidlertid med og utvikler ”apper” som henter SAP-data og presenterer dette på en langt mer brukervennlig måte. Tanken er at ikke alle på plattformen trenger å være ”superbrukere” som jobber i selve SAP, men klarer seg med de funksjonene appene gir. Dette kan være funksjoner som å registrere feil, se arbeidsordre, ferdigmelde vedlikeholdsoperasjoner, se relevant historikk og detaljer om et utstyr osv. Noen apper er utviklet og tatt i bruk, andre er snart klare for utrulling. (Sandbakk 2019b)

Det finnes også funksjoner i SAP som er høyst aktuelle for innføring av prediktivt vedlikehold. Et eksempel på en slik funksjon er muligheten for timetelling på utstyr i drift og automatisk ”triggering” av vedlikeholdsaksjoner knyttet til timetellingen. (Sandbakk 2019a) Dette åpner for muligheter for å knytte RUL-beregninger fra andre programmer mot automatisk triggering av vedlikeholdsaksjoner i SAP etter en gitt driftstid.

Bachelorgruppen har også undersøkt om SAP tilbyr andre relevante tjenester for prediktivt vedlikehold. Vi fant ut at SAP tilbyr et tilleggsprogram som de kaller SAP ”Intelligent Asset Management” . I følge SAPs egen informasjon om dette systemet kan det utvides med tilleggsfunksjoner som kan håndtere Big Data fra IoT og utføre prediktive analyser av Big Data.

Dersom dette stemmer vil SAP potensielt kunne utføre prediktive analyser for beregning av RUL, og utnytte funksjoner som allerede er tilgjengelig i SAPs CMMS til å trigge arbeidsordrer. Dette er en spennende mulighet som burde undersøkes nærmere. Gruppen fant imidlertid den tilgjengelige informasjonen om ”Intelligent Asset Management” som mangelfull og at den bærer preg av at systemet ikke er helt klart for implementering i prediktivt vedlikehold. Dette spesielt fordi nøkkelfunksjoner som maskinlæring manglet og SAP i liten grad forklarte hvordan CMMS-plattformen skal kunne integrere IoT og datalagring. (SAP Help Portal 2019) (*SAP Predictive Maintenance and Service* 2019)

Resultater og diskusjon

I dette kapitlet har bachelorgruppen først kommentert utvalgte funn fra ståstedsanalysen. Videre har gruppen diskutert hvordan Aker BP kan nyttiggjøre seg av tilgjengelig tilstands- og driftsdata fra vanninjeksjonssystemet i innføring av prediktivt vedlikehold på vanninjeksjonspumpen på oljeplattformen Ivar Aasen.

For å gjøre dette har vi valgt flere tilnærminger. Først har vi gått gjennom en case for vanninjeksjonspumpen, der vi har forsøkt å vise hvordan tilgjengelig tilstands- og driftsdata kan inngå i vedlikeholdstekniske analysemetoder, og hvordan denne informasjonen videre kan brukes i prediktivt vedlikehold.

Deretter har vi diskutert potensielle gevinster og ulemper ved innføring av prediktivt vedlikehold.

Til slutt i kapitlet har vi sammenlignet resultater fra ståstedsanalysen med de generelle suksessfaktorene for innføring av prediktivt vedlikehold, definert fra litteraturstudie av relevant teori. Dette for å vise hvordan nåstatus for prediktivt vedlikehold i Aker BP er i dag.

Bachelorgruppens meninger og diskusjoner som kommer frem i dette kapitlet er forankret i teorikapitlet, som er basert på en kildeført litteraturstudie. Kunnskap bachelorgruppen har oppnådd gjennom denne studien, vil derfor normalt ikke kildeføres igjen.

3.1 Utvalgte funn fra ståstedsanalysen

For å løse denne oppgaven har bachelorgruppen foretatt en ståstedsanalyse der vi har kartlagt utvalgte områder for Ivar Aasen-organisasjonen. Vi har gjennomført flere intervjuer, møter og uformelle samtaler med forskjellige personer i Ivar Aasen-organisasjonen. Vi har i dette kapittelet kommentert utvalgte funn vi har gjort og kommet med forslag og kommentarer til disse funnene.

Gruppen har under gjennomføring av bacheloroppgaven sittet på Aker BPs kontor i Trondheim. I løpet av denne tiden har vi gjennomført en rekke intervjuer, møter og uformelle samtaler med forskjellige personer i organisasjonen til oljeplattformen Ivar Aasen. Bachelorgruppen har som resultat av dette har fått et overblikk over hvordan situasjonen for organisasjonen for Ivar Aasen er. Bachelorgruppen vil i dette kapittelet dra frem utvalgte funn vi har gjort i løpet av oppgavegjennomføringen, relatert til prediktivt vedlikehold.

3.1.1 Behandling av rapporter

Som nevnt tidligere er det mange aktører som yter vedlikeholdsstøtte på Ivar Aasen. Selskapet Invicta utfører som nevnt oljeanalyser og Karsten Moholt overvåker for eksempel vibrasjonsnivå på komponenter. Resultatene fra disse undersøkelsene sendes på epost til en rekke mottakere. Det er ikke i alle tilfeller klart definert hvem som har ansvaret for å følge opp disse rapportene og hvilke aksjoner som skal utføres på grunnlag av dem. Det kan med fordel defineres klarere hvem som er ansvarlig for å følge opp rapporter og i hvor stor grad resultater fra slike rapporter skal vektlegges i planlegging av vedlikehold.

3.1.2 Utnyttelse av tilgjengelige ressurser

Som nevnt i ståstedsanalysen satser Aker BP på prediktivt vedlikehold. Det er etablert ulike arbeidsgrupper som jobber med dette. Eksempler er teamet for prediktivt vedlikehold, teamet for Smart Maintenance og Eureka-gruppen. Disse gruppene er nærmere beskrevet i ståstedsanalysen i kapittel 2.4.1 og 2.5.2.

Bachelorgruppen har inntrykk av at arbeidet disse arbeidsgruppene gjør ikke er så kjent for driftsorganisasjoner som Ivar Aasen-organisasjonen. Det kunne derfor vært lagt bedre til rette for at ressurser som er tilgjengelig blir bedre utnyttet. Bachelorgruppen mener det kunne vært hensiktsmessig at disse arbeidsgruppene jobbet nærmere driftsorganisasjonene for å sørge for at arbeidet som gjøres er mer "spot on".

Bachelorgruppen har inntrykk av at Ivar Aasen-organisasjonen kunne hatt nytte av å samarbeide nærmere arbeidsgruppen for prediktivt vedlikehold i arbeidet som gjøres for å gå mot mer tilstandsbasert vedlikehold, slik at arbeidet er i tråd med Aker BPs team sin overordnede plan for prediktivt vedlikehold i selskapet.

Teamet for prediktivt vedlikehold er litt i startgropa og dette kan være noe av grunnen til at arbeidet de gjør ikke er så kjent enda. (Sandbakk 2019a) Bachelorgruppen anbefaler at det etableres et nærmere samarbeid når det er klart, slik at arbeidet mot prediktivt vedlikehold i Aker BP er helhetlig koordinert mot en vellykket implementering.

Når det er klart foreslår bachelorgruppen at det etableres mer kommunikasjon og bedre samarbeid mellom Ivar Aasen-organisasjonen, teamet for prediktivt vedlikehold, gruppen for Smart Maintenance og Eureka-gruppen. Det bør også i større grad bli meldt inn behov fra Ivar Aasen-organisasjonen om hva de ønsker at feks teamet for prediktivt vedlikehold skal arbeide med for å løse konkrete utfordringer de har på Ivar Aasen. Vi mener dette kan bidra til mer kunnskap om hvilket arbeid som gjøres med prediktivt vedlikehold, slik at det som kommer ut fra dette arbeidet kan utnyttes i større grad enn i dag.

Arbeidsgruppen for Smart Maintenance har nylig gjennomført en turné rundt om i driftsorganisasjonene for de ulike assetene Aker BP opererer, for å informere og tydeliggjøre hva de jobber med, og ta imot innspill til hvilke behov assetene har. (Sandbakk 2019a) Dette er veldig positivt, og kan bidra til et bedre samarbeid.

3.1.3 Tilgjengeligjøring av data

Gjennom intervjuer bachelorgruppen har utført av personer i vedlikeholdsorganisasjon på Ivar Aasen, som er beskrevet i ståstedsanalysen, har det kommet frem at vibrasjonsdata med høy loggehastighet fra System 1 per dags dato ikke er tilgjengelig i Cognites dataplattform. (Lindrupsen og Sandbakk 2019) Bachelorgruppen mener det er viktig at vibrasjonsdata med høy loggehastighet kan tilgjengeliggjøres i Cognites dataplattform, da tilgang på denne typen data er beskrevet som en viktig suksessfaktor for prediktivt vedlikehold.

Gjennom intervjuer bachelorgruppen har utført av personer i Cognite, har vi fått innsyn i at Cognites dataplattform kommer til å støtte dataoverføring fra Bently Nevada System 1 veldig snart. Dette vil i første omgang omfatte den dataen som er logget med høy frekvens i System 1 over korte intervaller. (*Intervju Cognite 2019*)

I dag lagres data med høy loggehastighet i System 1 kun inn når det trigges av systemet. Dette gjelder i tilfeller der systemet oppfatter unormale nivåer. Det blir da logget data en tidsperiode før hendelsen og en lengre tidsperiode etter. Dette for å få med seg en lengre ”utrulling” til full stopp. (*Karsten Moholt AS/Kjell Puntervold 2019*)

Derfor er mulighetene som nå åpnes for å lagre data med høy loggehastighet over korte intervaller i Cognites dataplattform tilstrekkelig for å lagre dataen fra System 1 slik systemet i dag er satt opp. Cognite informerte under intervju om at de nå jobber med en ny struktur for lagring av store mengder data (Big Data) i plattformen. Dette innebærer at de på litt lengre sikt vil være i stand til å lagre data med høy loggehastighet ikke bare over korte intervaller, men også live. (*Intervju Cognite 2019*) Dette er veldig positive nyheter med tanke på muligheten for innføring av prediktivt vedlikehold på Ivar Aasen.

Dette åpner også muligheten for at Aker BP kan tilgjengeliggjøre data med høy loggehastighet på andre måter, for eksempel ved å inngå samarbeid for data-

deling med leverandører. Bachelorgruppen anbefaler Aker BP å utforske mulighetene som ligger i å inngå såkalte smartkontrakter for datadeling med henholdsvis Sulzer som har levert sentrifugalpumpen og ABB som har levert den elektriske motoren til vanninjeksjonspumpen. Et slikt samarbeid kan gi Aker BP tilgang på historisk vibrasjonsdata med høy loggehastighet over lengre perioder, som kan samles i Cognites dataplattform.

3.2 Case for prediktivt vedlikehold på vanninjeksjonspumpen

Vi vil i dette kapitlet vise et forenklet eksempel på hvordan prediktivt vedlikehold på vanninjeksjonspumpen kan utføres i praksis på en utvalgt case. Hensikten er å vise et konkret og forenklet eksempel på hvordan innsamlet tilstands- og driftsdata kan inngå i vedlikeholdstekniske analysemetoder, og hvordan info som kommer ut fra disse kan anvendes for å predikere utvalgt fremtidig funksjonssvikt. Vi vil ikke gå i dybden av hvordan de prediktive analysene fungerer i praksis, men ta det for oss på en forenklet måte.

For å gjøre det har vi gjennomgått sviktmoder fra FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) for sentrifugalpumper og elektriske motorer, utarbeidet i forbindelse med prosjektering av oljeplattformen Ivar Aasen. Disse FMEA inkluderer sentrifugalpumpen og den elektriske motoren som oppgaven tar for seg.

3.2.1 FMEA for sentrifugalpumpe og elektrifsk motor

FMEA er en systematisk metode for å analysere svikt på komponenter i et teknisk system. Målet med en FMEA er å:

- Identifisere mulige sviktmoder til hver enkelt komponent i et teknisk system
- Bestemme årsakene til sviktmodene
- Bestemme sviktmodenes innvirkning på systemet som helhet

Hvis analysen i tillegg tar for seg kritikaliteten til de ulike sviktmodene blir analysen kalt FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis). (Bye 2009)

FMEA på sentrifugalpumpe

I tabell 3.1 vises et utdrag fra Aker BPs FMEA for sentrifugalpumpe på Ivar Aasen, oversatt fra engelsk til norsk av bachelorgruppen.

Tabell 3.1: Utdrag fra FMEA for sentrifugalpumpe (Aker BP 2018b)

Funksjonssvikt	Sviktmode	Svikteffekt	Sviktårsak	Sviktutvikling	
Pumper ikke injeksjonsvann.	Starter ikke på etterspørsel	Moment levert på pumpen er lik 0	Svikt på girkasse/kobling eller motor	Tilfeldig svikt	
			Drivereim/kjede knekt	Tilfeldig svikt	
	Strukturell mangel		Aksel bøyd	Tilfeldig svikt	
Pumper injeksjonsvann ved redusert strømnings-hastighet / trykk.	Lav output	Redusert utladningsstrømning eller trykk og økt vibrasjon	Pumpeimpeller skadet (slitasje, erosjon, korrosjon)	Alder, Uforutsigbar	
			Utslitt slitasjering	Alder, Uforutsigbar	
			Drivkobling/-gir degradert. Redusert moment overført til pumpe	Alder, Uforutsigbar	
			Tettet filter	Alder, Uforutsigbar	
	Vibrasjon	Vibrasjon i lager	Lagersvikt på grunn av mangel på smøreolje. økt temperatur og vibrasjon	Alder, Uforutsigbar	
			Lagersvikt på grunn av mekanisk skade/slitasje (Fretting/brinelling)	Alder, Uforutsigbar	
	Overoppheting	Økt temperatur i lager eller gir	Økt temperatur i lager eller gir	Lager/gir skadet på grunn av forurensning	Alder, Uforutsigbar
			Økt temperatur i girboks	Svikt i kjøler til girboks	
	Tilstopping	Ikke tilstrekkelig strømning	Innløpsfilter tett	Alder, Uforutsigbar	

FMEA på HV (High Voltage) motor

I tabell 3.2 vises et utdrag fra Aker BPs FMEA for HV(*High Voltage*) -motor. Innholdet i tabellen er oversatt fra engelsk til norsk av bachelorgruppen.

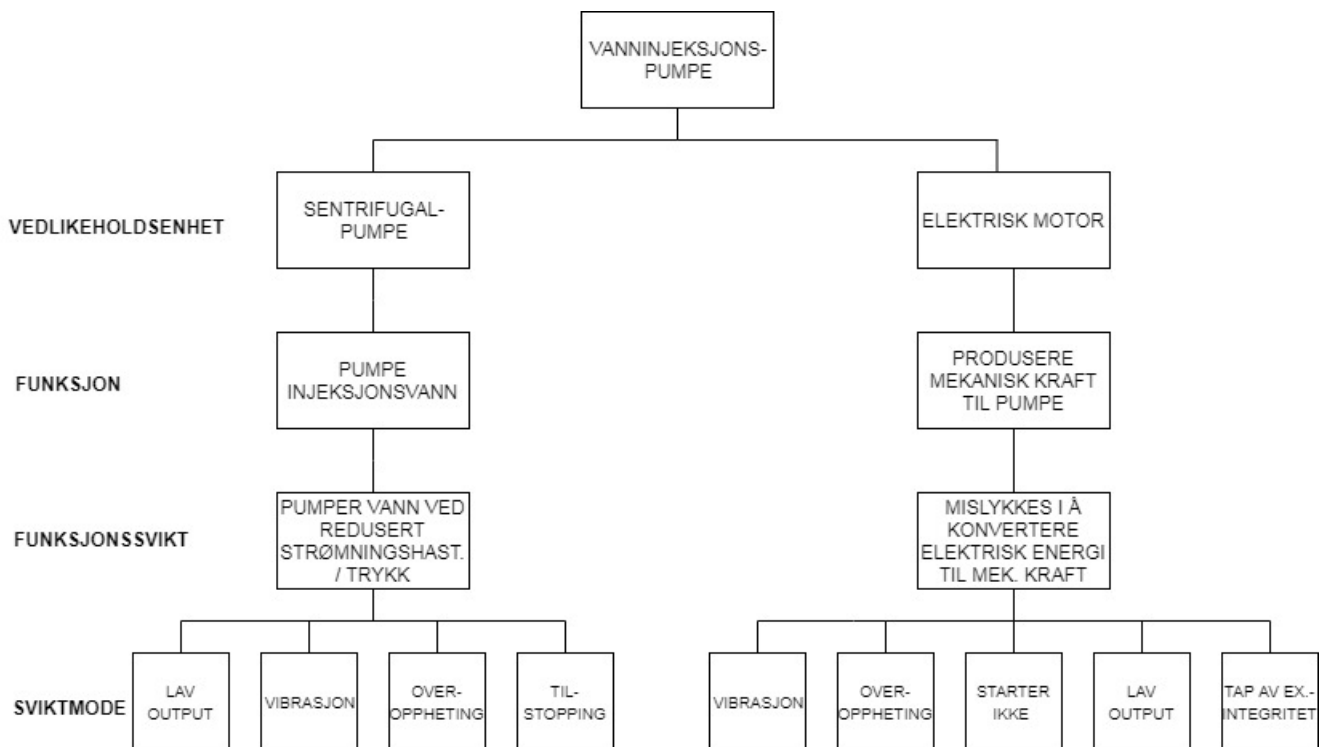
Tabell 3.2: Utdrag fra FMEA for elektrisk HV (*High voltage*) motor (Aker BP 2018a)

Funksjonssvikt	Sviktmode	Svikteffekt	Svikårsak	Svikutvikling
Mislykkes i å konvertere elektrisk energi til mekanisk kraft	Vibrasjon	Forskyvning resulterer i vibrasjon. Økt slitasje i lager, lagerkollaps	Monteringsboltene til motor er løse grunnet korrosjon og vibrasjon	Alder, Forutsigbar
		Foringelse av lager fører til lagerkollaps og motorsvikt	Lager slites på grunn av mangel på smøring	Alder, Forutsigbar
			Lager slites på grunn av for høy belastning	Alder, Uforutsigbar
			Lagersvikt på grunn av jordfeil i rotor	Alder, Uforutsigbar
			Andre feil på motorlager (Metallegering, gnidningskorrosjon, varmgang som kan gi korrosjon)	Alder, Uforutsigbar
		Tilstanden på rotoren forverres på grunn av sentrifugalkraften som kan gi svikt, vibrasjon kan oppstå.	Rotoren forverres i form av sprekker/ødelagte deler, et resultat av vibrasjon	Alder, Uforutsigbar
	Vibrasjon på grunn av bøyd skaft og sentrifugalkraft.	Svikt/bøy på skaftet på grunn av overbelastning	Alder, Uforutsigbar	
	Overoppheting	Forverring og svikt på lager fører til lagerkollaps, og resulterer svikt på motor	Svikt på lager på grunn av manglende smøring	Alder, Uforutsigbar
		Nedbryting av isolasjon fører til svikt på motor	Degradering av isolasjon på grunn av overoppheting	Tilfeldig svikt
		Overoppheting	Overoppheting på grunn av feil strømming og/eller trykk i kjølesystem	Alder, Forutsigbar
		Overoppheting på grunn av manglende kjøling	Overoppheting på grunn av svikt på vifter	Tilfeldig svikt
	Starter ikke	Motoren starter ikke	Motor starter ikke på grunn av løse deler / feil på kabler	Tilfeldig svikt
			Motor starter ikke på grunn av svikt på temperaturelement	Tilfeldig svikt
	Lav output	Lav effekt på motoren	Viklingene forverres av miljøfaktorer (Vibrasjon, støy, fuktighet)	Alder, Uforutsigbar
		Redusert effekt på motoren	Børster og sleperinger svikter på grunn av slitasje	Alder, Uforutsigbar
	Tap av EX-integritet	Degradering av isolasjon resulterer i motorsvikt	Elektrisk feil i koblingsboks til jord	Tilfeldig svikt

Hierarkisk fremstilling av FMEA

Bachelorgruppen har utformet hierarkiske fremstillinger av Aker BPs FMEA for å gi leseren et oversiktlig bilde av disse. Ut fra disse hierarkiske fremstillingene av FMEA har bachelorgruppen valgt ut konkrete caser der vi vil gå i dybden og se på hvordan utvalgte funksjonssvikt kan predikeres og dermed se på mulighetene for prediktivt vedlikehold.

Figur 3.1 under viser hierarkisk fremstilling av FMEA på vanninjeksjonspumpe, delt inn i sentrifugalpumpe og elektrisk motor.



Figur 3.1: Hierarkisk fremstilling av FMEA på vanninjeksjonspumpe.

3.2.2 Utvalgte caser på vanninjeksjonspumpen

Bachelorgruppen har ut fra hierarkisk fremstilling av FMEA i figur 3.1 sett på en funksjonssvikt for sentrifugalpumpe og en for elektrisk motor. Videre i dette kapittelet skal vi se på hvordan den innsamlede tilstands- og driftsdataen kan anvendes for å predikere disse funksjonssviktene.

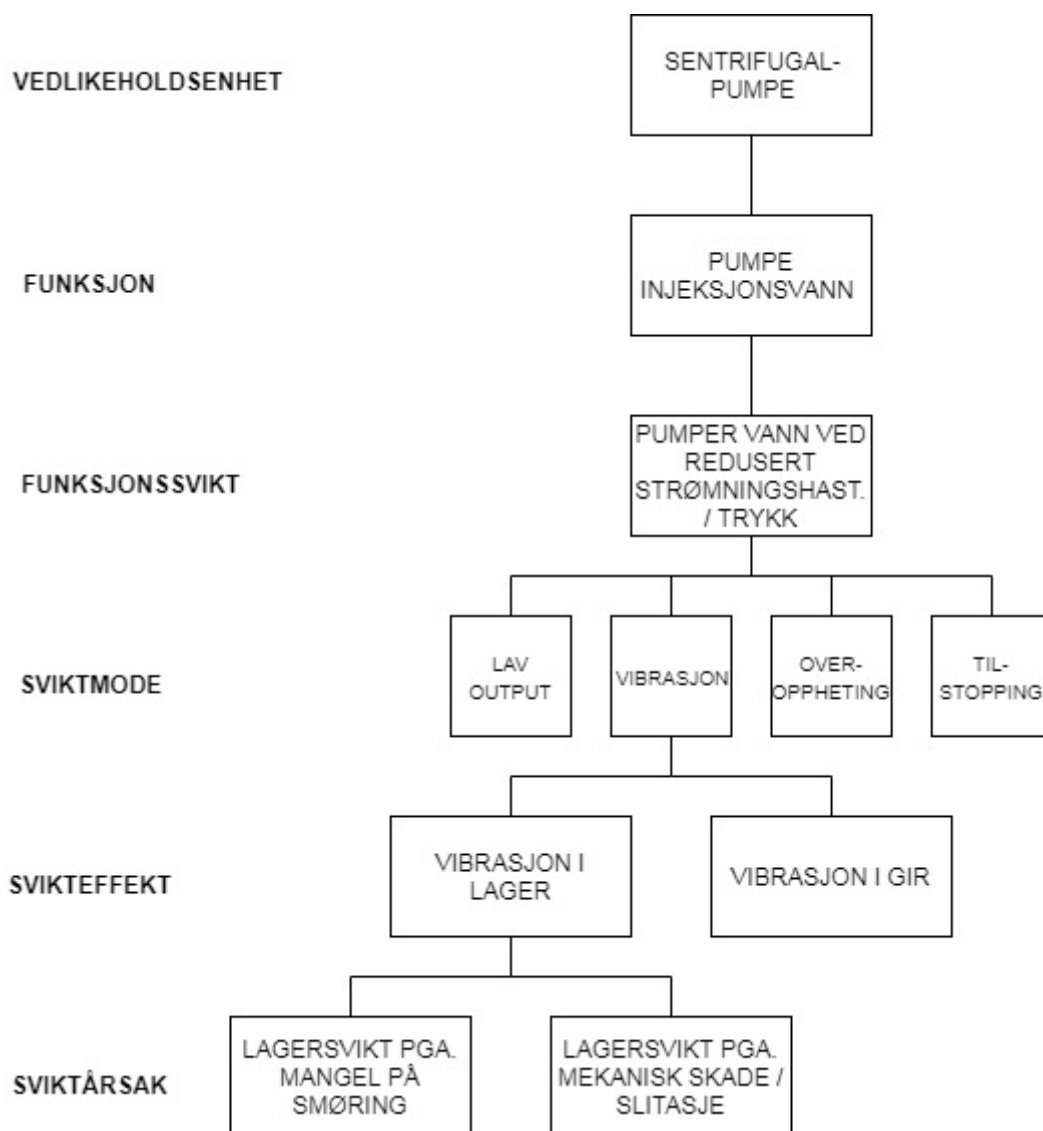
Vi vil se på eksempler på vedlikeholdstekniske analysemetoder den innsamlede dataen kan inngå i, med hensikt å bruke informasjon som fremkommer i et prediktivt analyseprogram. Som nevnt tidligere vil vi ikke gå i dybden av sistnevnte, men forholde oss til det på en forenklet måte.

Vi har valgt å se på konkrete funksjonssvikt på vanninjeksjonspumpen, for å kunne uttale oss på et så nøyaktig nivå som mulig, og for å vise et konkret eksempel som forhåpentligvis vil være av verdi for Aker BP.

Sentrifugalpumpe

For sentrifugalpumpen har vi sett på funksjonssvikten ”Pumper injeksjonsvann ved redusert strømningshastighet / trykk”. Vi har videre ut fra FMEA valgt å fokusere spesifikt på sviktmode ”vibrasjon” og svikteffekt ”vibrasjon i lager”, spesifikt glidelager.

Se figur 3.2 av hierarkisk fremstilling av FMEA under.

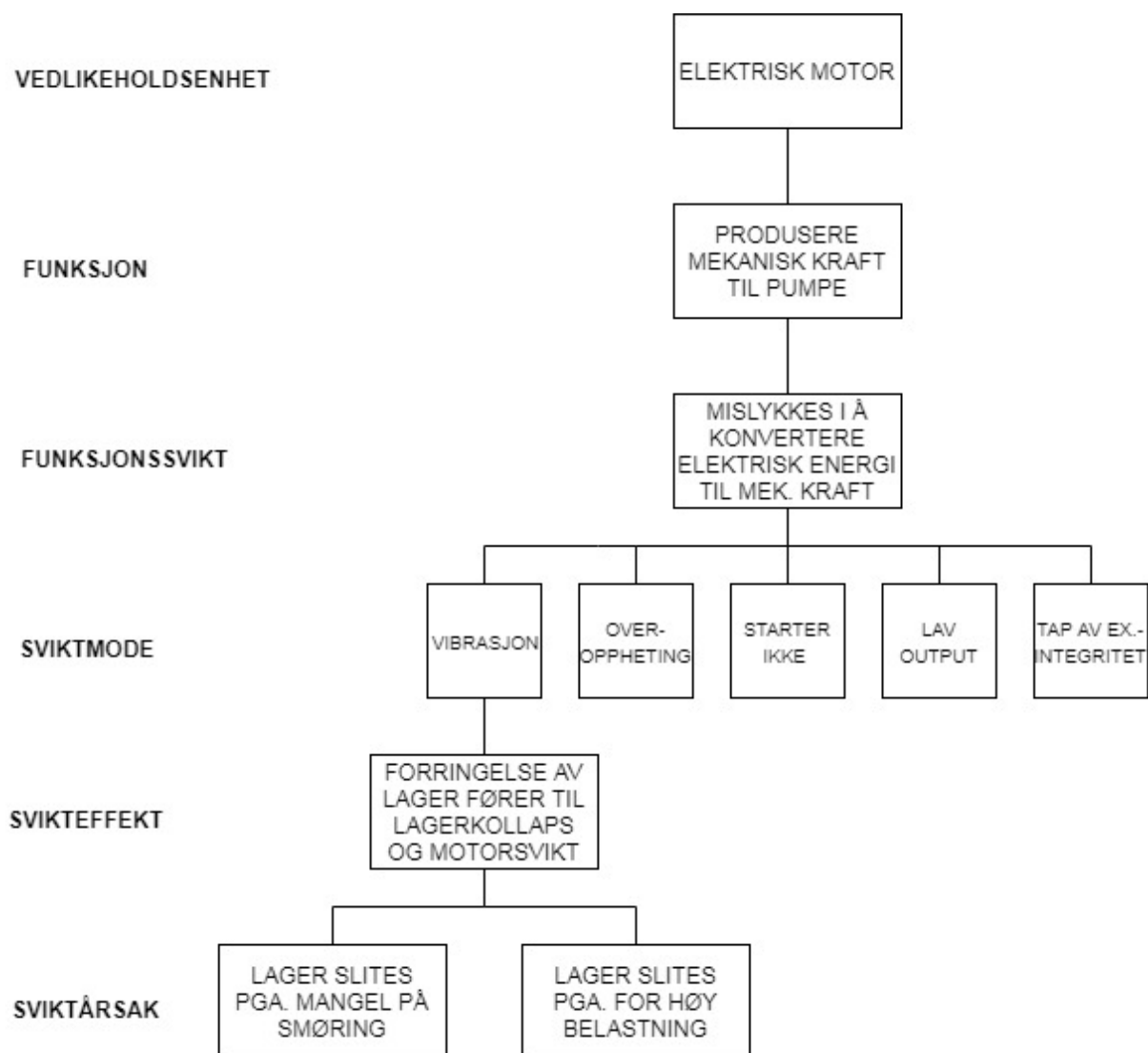


Figur 3.2: Hierarkisk fremstilling av FMEA på sentrifugalpumpe.

Elektrisk motor

For elektrisk motor har vi valgt funksjonssvikten ”Mislykkes i å konvertere elektrisk energi til mekanisk kraft”. Vi har videre ut fra FMEA valgt å fokusere spesifikt på sviktmode vibrasjon og svikteffekt ”Forringelse av lager fører til lagerkollaps og motorsvikt”, spesifikt glidelager.

Se figur 3.3 av hierarkisk fremstilling av FMEA under.



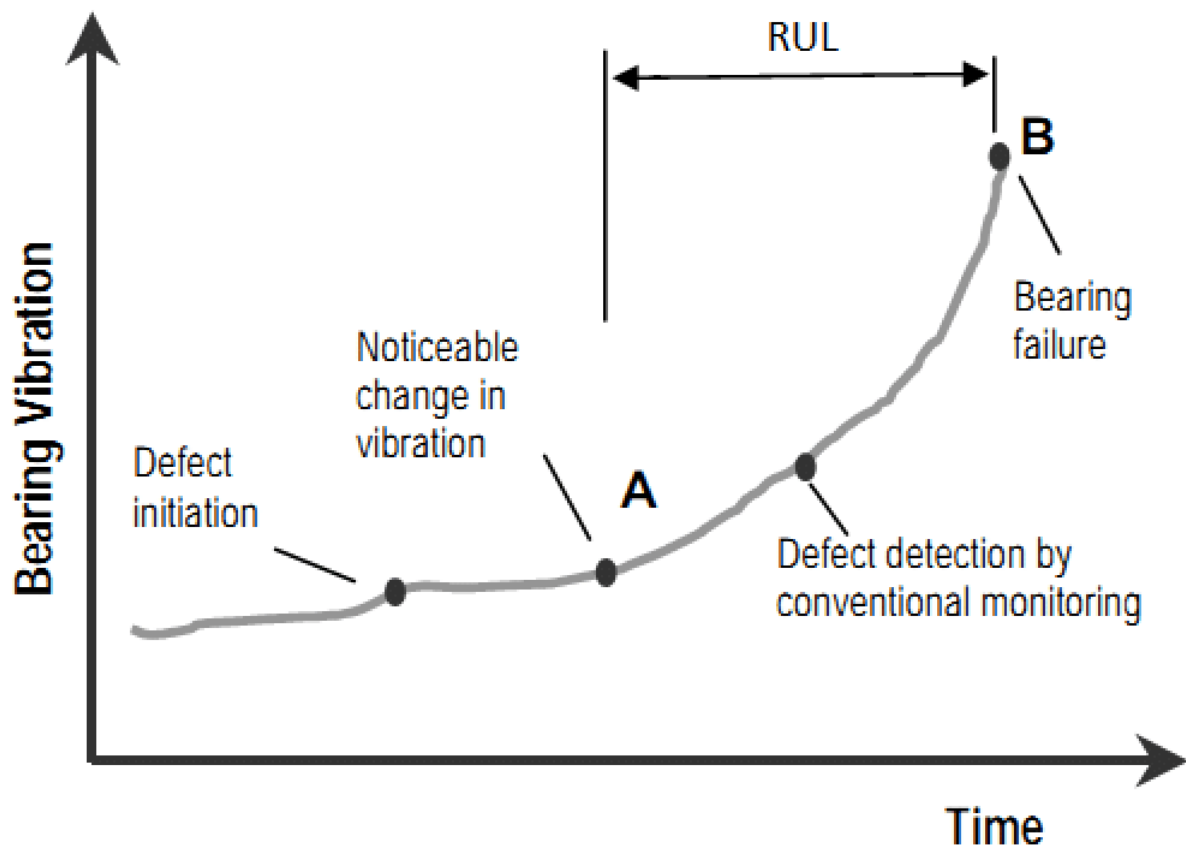
Figur 3.3: Hierarkisk fremstilling av FMEA på elektrisk motor.

3.2.3 Prediksjon av funksjonssvikt med fokus på vibrasjon i glidelager

Felles for de utvalgte funksjonssviktene på sentrifugalpumpen og den elektriske motoren er at vi har valgt å fokusere på sviktmoden vibrasjon og svikteffekten vibrasjon i lager (se figur 3.2 og 3.3). Vi har spesifikt valgt å se på glidelager. Vibrasjon i glidelager på sentrifugalpumpen vil knyttes til prediksjon av funksjonssvikt på sentrifugalpumpen, og vibrasjon i glidelager på den elektriske motoren vil knyttes til prediksjon av funksjonssvikt på den elektriske motoren. Men måten analysene foregår på vil være lik for både sentrifugalpumpa og den elektriske motoren. Den videre utredningen vil derfor være felles for både sentrifugalpumpen og den elektriske motoren.

Vi har valgt å se på vibrasjon, da det er ansett som en av de tidligste tilstandsindikatorene. Dette er vist i kapittel 1.4.1. (Vibrasjonsovervåking). I kapittel 1.5.3 (Sammenheng mellom tilstandskontroll, prediktivt vedlikehold og remaining useful life (RUL)) er det forklart at vibrasjonsdata med høy loggehastighet er spesielt egnet for å predikere funksjonssvikt. Grunnen til dette er at vibrasjon er en av de tidligste tilstandsindikatorene, og ved å overvåke vibrasjonsnivå med høy loggehastighet, vil man kunne oppdage små endringer i vibrasjonsnivå på et tidlig stadie.

Ved korrekt kalibrert vibrasjonsovervåkningsutstyr, der uviktig støy filtreres ut, vil en økning i vibrasjonsnivå være en indikasjon på at noe er i ferd med å skje i maskinen. Dette er illustrert i figur 3.4, der vi ser at vibrasjonsnivå endrer seg etter en begynnende skade i lageret. Vi ser også at vibrasjonsnivå stiger før konvensjonell overvåking oppdager det. Det vil i praksis si at man ved å overvåke vibrasjon med høy loggehastighet vil få en tidligere forvarslingstid enn konvensjonelle overvåkingsmetoder, som for eksempel kun temperaturovervåking.



Figur 3.4: Økt vibrasjon indikerer sviktutvikling (*ResearchGate 2019*)

Vi har valgt å se på komponenten glidelager da dette er en vibrasjonsutsatt komponent og fordi det er disse komponentene som har vibrasjonsovervåking både i sentrifugalpumpa og den elektriske motoren. Ved innføring av prediktivt vedlikehold på vanninjeksjonspumpen, mener vi derfor det er mest fornuftig å starte med å utforske mulighetene for å predikere funksjonssvikt på vanninjeksjonspumpen ved å se på vibrasjon i glidelager. Vi mener man her vil få tidligst og best prediksjon "for pengene". Når man har fått mer erfaring med det prediktive vedlikeholdet bør man inkludere flere tilstandsindikatorer som oljeanalyse og prosessparametre som trykk, temperatur, rotasjonshastighet og strømforbruk i den prediktive datamodellen, for å få en mer nøyaktig prediksjon.

Bachelorgruppen mener også generelt at tilstandsovervåking som utføres på vanninjeksjonspumpen gjør at glidelagene er spesielt egnet for prediktivt vedlikehold. Tilstandsovervåking som utføres på vanninjeksjonspumpen er beskrevet under kapittel 2.9 "Eksisterende tilstandskontrollsystemer/metoder" og 2.9.3

”Plassering av sensorer for tilstandsovervåking”. Lagrene er en viktig komponent i både sentrifugalpumpen og den elektriske motoren. Hvis det oppstår større motstand i lagrene vil pumpen måtte bruke mer strøm for å levere nok vann til reservoaret. Hvis lagrene til slutt skjærer seg, vil vanninjeksjonspumpen potensielt ikke klare å gå rundt, og de utvalgte funksjonssviktene vil inntreffe. Tidlig identifikasjon på økt vibrasjonsnivå vil derfor være en tidlig indikator på at funksjonssviktene vil inntreffe.

Gjennom utredning av muligheten for prediksjon av funksjonssvikt på vanninjeksjonspumpen drøftes muligheten for innføring av prediktivt vedlikehold på vanninjeksjonspumpen slik forholdene ligger til rette i dag. Her kommer også bachelorgruppen med forslag til konkrete tiltak Aker BP kan gjøre for å gjennomføre dette i praksis. Bachelorgruppen har kvalitetssikret anbefalingene gjennom dialog med veileder og nøkkelpersoner i vedlikeholdsorganisasjonen til Ivar Aasen. Anbefalingene er basert på kunnskap fra teorikapittelet og ståstedsanalysen i bacheloroppgaven.

3.2.4 Tilstandsovervåking av glidelager på sentrifugalpumpe og elektrisk motor

Både sentrifugalpumpen og den elektriske motoren har to glidelager. Hvert glidelager er utstyrt med to vibrasjonssensorer som beskrevet i kapittel 2.9.3 og 2.9.4. Vibrasjonssensorene er plassert i henhold til ISO 10816-3. Den ene sensoren måler forflytning i x-retning og den andre i y-retning. Sensorene har en nøyaktighet på $\pm 6,5\%$ og måler lineær forflytning opptil 2 mm.

Under intervju bachelorgruppen har utført med vedlikeholdssjef på Ivar Aasen og med Karsten Moholt som utfører vibrasjonsanalyse på Ivar Aasen, har bachelorgruppen fått informasjon om at vibrasjonssensorene på glidelagrene er i stand til å måle vibrasjon med høy loggehastighet på vanninjeksjonspumpen. (Lindrupsen og Sandbakk 2019) (Karsten Moholt AS/Kjell Puntervold 2019) Bachel-

orgruppen anser lagrene for å være utstyrt med tilstrekkelig vibrasjonsovervåking i henhold til standarden ISO 10816-3 for vibrasjonsovervåking.

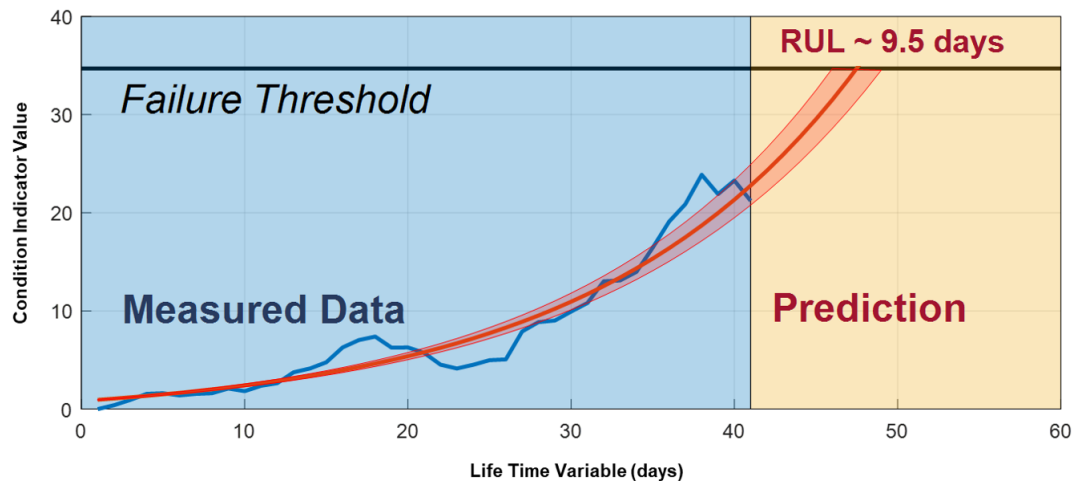
3.2.5 Vibrasjonsanalyse på glidelager

Data som samles inn av vibrasjonsensorene som vanninjeksjonspumpen er utstyrt med i dag kan best mulig utnyttes i en vibrasjonsanalyse basert på Fouriertransformasjon av signalene som sensorene registrerer. Denne metoden er beskrevet i teorikapittelet under kapittel 1.4.1 under overskrift Fouriertransformasjon. Denne metoden går i korte trekk ut på en omforming av analoge bølgesignaler i et tidsdomene til harmoniske komponenter i et frekvensdomene. Etter hvert som glidelageret utsettes for slitasje eller mangel på smøring vil dette avgi vibrasjon i bestemte frekvensområder. Ulike komponenter og feil avgir distinkte frekvenser. Selve analysen vil gå ut på å kartlegge disse frekvenssignaturene og diagnostisere hvilke feil frekvensene antyder og hvilke komponenter de er knyttet til. Flere typer tilstandsdata kan med fordel ses i sammenheng med hverandre for å kunne analysere seg frem til en bestemt restlevetid (RUL). Relevante verktøy en slik analyse kan være maskinlæring og/eller digital tvilling, som vist i kapittel 1.5.1 og 1.5.2.

Overvåking og analyse av vibrasjonsdata utføres i dag av selskapet Karsten Moholt. Selskapet har personer med over 30 års erfaring innen vibrasjonsanalyse som leverer en månedlig rapport som inkluderer vibrasjonsanalyse på vanninjeksjonspumpen. (*Karsten Moholt AS/Kjell Puntervold 2019*) Bachelorgruppen mener det er hensiktsmessig at aktører med slik domenekunnskap spiller en sentral rolle i innføringen av prediktivt vedlikehold. Denne kunnskapen kan med fordel brukes til å utvikle datamodeller som analyserer tilstandsdata for å si noe om restlevetid, i samarbeid med dataeksperter som utvikler selve datamodellene.

Informasjon som fremkommer fra vibrasjonsanalyse vil inkluderes i et prediktivt analyseprogram, med algoritmer og datamodeller som er trent med historisk

og simulert vibrasjonsdata fra tilsvarende komponenter og forskjellige funksjonssvikter. Disse modellene vil analysere historisk data, og på grunnlag av det kunne gi en beregning av remaining useful life (RUL). Et eksempel på en slik analyse er illustrert i figur 3.5 under. Den blå linjen viser overvåket tilstandsdata.



Figur 3.5: Prediksjon av RUL (Manners 2018)

Fremgangsmåten for utvalgt case kan også kan benyttes på andre områder, for eksempel for analyse av svikt i kulelager. Da kan med fordel SPM-metoden anvendes, som beskrevet i kapittel 1.4.1 ved underoverskrift “Støtpulsmetoden (SPM)”, i tillegg til nevnte analysemetoder for vibrasjon.

Som forklart over er vibrasjon en av de viktigste tilstandsindikatorene. Ved å i tillegg inkludere flere indikatorer vil man kunne få en enda mer nøyaktig prediksjon. Under kommer noen eksempler på andre aktuelle tilstandsindikatorer og vedlikeholdstekniske analysemetoder.

3.2.6 Tribologi på glidelager i prediktivt vedlikehold

Oljeanalyse er en tilstandskontrollmetode som også gir en tidlig indikasjon på begynnende svikt. (Dale 2013) Derfor kan oljeanalyser spille en viktig rolle i et prediktivt vedlikeholdsprogram på glidelagrene i vanninjeksjonspumpen. Dette forutsetter at det eksisterer gode rutiner for prøvetaking slik at oljeprøvene representerer faktisk tilstand på oljen og oljeprøvene analyseres på samme stabile grunnlag hver gang. Aker BPs prosedyrer for oljeprøvetaking er beskrevet i ståstedsanalysen under kapittel 2.9.2. I prosedyrene for prøvetaking av olje som bachelorgruppen har fått innsyn i, later selskapet til å ha tydelige og gode føringer for utførelsen av oljeprøven og for hvordan prøven videre skal håndteres.

Analyser av historisk tribologidata kan kobles mot slitasjemønstre, vibrasjonsnivå og forestående svikt, som kan inngå i den prediktive analysen for å si noe om restlevetid. For at oljeanalyser skal kunne brukes som et diagnostisk og analytisk verktøy i prediktivt vedlikehold mener bachelorgruppen at det er hensiktsmessig å bruke de fremste metodene innen dette feltet. Ferrografisk analyse utføres ikke i dag fordi det er kostbart og tidkrevende. (Hughes 2019) Denne analysen, i tillegg til dagens metoder, kan være med på å gi mer detaljerte rapporter over den totale oljeforurensningen da den tar for seg et større spekter av partikkelstørrelser. (Moblely 2002)

Dersom prediktivt vedlikehold skal innføres på glidelagrene i sentrifugalpumpe og tilhørende elektrisk motor, foreslår bachelorgruppen at Aker BP kan vurdere å få utført ferrografisk analyse med faste intervaller i tillegg til de allerede eksisterende analyserapportene fra Invicta. Faglitteraturen bachelorgruppen har gjennomgått støtter opp om dette forslaget fordi man i prediktivt vedlikehold og fastslåelse av RUL er avhengig av mest mulig detaljert og nøyaktig informasjon. Økt oppetid prioriteres over vedlikeholdskostnader, da dette gir bedre produksjons- og økonomisk gevinst enn eventuelle innsparinger. (Aune 2019)

3.2.7 Prosessparametre

For å oppnå ytterligere forbedring i prediksjon av funksjonssvikt kan flere parametre inkluderes i den prediktive analysemodellen. Bachelorgruppen foreslår derfor at prosessrelatert data som trykk og temperatur, men også strømforbruk inngår i en slik analyse. Ståstedsanalysen viser at slik data overvåkes i dag.

Temperatur overvåkes på lagerkroppen og kjøleoljen som har gått gjennom glidelagrene. Dette kan bidra til å verifisere hvor temperaturøkning på glidelagrene kommer fra på følgende måte: Hvis det oppdages økt temperatur på lagerkroppen, uten at lageroljens temperatur har økt, tyder det enten på at temperaturøkningen akkurat har oppstått, i og med at oljen enda ikke har økt temperatur. Alternativt kan det bety at sensoren for overflatetemperatur på lagerkroppen viser feil verdier, om oljetemperaturen ikke øker etter en viss tid. Det kan også indikere at sensoren som måler temperaturen på oljen ikke fungerer. Slik informasjon kan ved å inngå i den prediktive analysemodellen bidra til nyttig informasjon om tilstand på glidelageret.

Ved å overvåke strømforbruk og sammenligne det mot pumpens ytelse, vil man også kunne få en god indikasjon på pumpens tilstand. Hvis strømforbruket stiger, uten at pumpens ytelse (mengde vann) øker, tyder det på at noe er galt i pumpen eller motoren. Det kan for eksempel tyde på økt motstand i lager. Hvis man i tillegg har økt temperatur og vibrasjonsnivå i motoren gir det en solid indikasjon på en forestående svikt, og dermed at de utvalgte funksjonssviktene er i ferd med å inntreffe.

Ved analyse av anlegg der komponenter oppnår høy overflatetemperatur, som for eksempel en trafo, kan med fordel tilstandskontrollmetoden termografi, beskrevet i kapittel 1.4.4 benyttes.

Som vist i eksemplene over er det nyttig at mye informasjon inngår i en prediktiv analysemodell. Det er derfor krevende å utføre i praksis, og krever at man har gode datamodeller og algoritmer for å kunne høste frukter fra tilgjengelig data. Dette er illustrert gjennom suksessfaktorer tidligere i oppgaven.

3.2.8 Organisering av prediktivt vedlikehold

Som vist i teorikapittelet er det komplisert og ressurskrevende å etablere og opprettholde prediktivt vedlikehold. Bachelorgruppen har sett på flere ulike måter å organisere prediktivt vedlikehold på i Aker BP. Vi begynte med å se på mulighetene for at Aker BP selv skulle etablere det prediktive vedlikeholdet og rekruttere de nødvendige ressursene inn i egen organisasjon.

Som vi har forklart i teorikapittelet krever prediktivt vedlikehold dyp domene-kunnskap om komponenter og hvilke tilstandsparametere som har innvirkning på ulike sviktmoder. Det krever også dyp kunnskap innen data science og bygging av dataplattformer og algoritmer. Det vil derfor kreve mange ressurser.

Etter en rekke intervjuer med forskjellige personer i Aker BP mener bachelorgruppen at den mest hensiktsmessige organiseringen av prediktivt vedlikehold i Aker BP er en kombinasjon av å bruke egne ressurser og å samarbeide med leverandører og eksterne aktører som yter vedlikeholdsstøtte. (*Pdm team [intervju]* 2019) (Lindrupsen og Sandbakk 2019) (Aune 2019) (Moholt 2019).

Bachelorgruppen mener at det er mest hensiktsmessig å benytte leverandører og eksterne ressursers kompetanse innenfor områdene de ulike aktørene jobber i. For eksempel vil en pumpeleverandør kunne få tilgang på historisk data fra mange pumper på en enklere måte enn for eksempel Aker BP, ved at leverandøren får tilgang på historisk data fra kunder de leverer pumper til. Leverandøren vil da kunne bygge opp en mer nøyaktig algoritme for maskinlæring og beregning av restlevetid for pumper enn Aker BP kan.

Vi mener altså at leverandører og eksterne aktører kan bidra med spisskompetanse innenfor de domene de tilhører, og at dette kan representere en bedre ressursutnyttelse enn å inneha all nødvendig kunnskap i eget selskap.

Aker BPs rolle i denne prosessen vil likevel være viktig, da de representerer domenekunnskapen som trengs fra oljebransjen. Et tilfredsstillende prediktivt vedlikehold skal også gi anbefalinger til optimalt tidspunkt for vedlikehold ut fra et økonomisk- og produksjonsperspektiv. Her kommer Aker BP selv inn som en viktig ressurs. I tillegg vil vedlikeholdsorganisasjon fra Ivar Aasen være en viktig ressurs for å fasilitere et samarbeid mellom ulike leverandører og aktører innen vedlikeholdsstøtte, og bidra med informasjon om driftsmessige hensyn som må tas. De vil også være en viktig bidragsyter i arbeidet med å bygge opp det prediktive vedlikeholdet fordi de skal være brukere av det.

Bachelorgruppen mener også at det ligger et uutnyttet potensiale i Aker BP når det kommer til å utnytte interne ressurser i selskapet. Dette inkluderer for eksempel mer samarbeid med arbeidsgrupper ved Aker BPs hovedkontoret på Fornebu, driftsorganisasjonene i Trondheim, Harstad og Sandnessjøen, samt prediktivt vedlikeholdsteam i Stavanger.

3.2.9 Aktører i organisering av prediktivt vedlikehold på utvalgt case

Vi vil her diskutere hvordan prediktivt vedlikehold på utvalgt case, *Funksjonssvikt på vanninjeksjonspumpen på grunn av vibrasjon i lager*, kan organiseres. Vi har her vist et konkret eksempel på hvordan aktører som yter vedlikeholdsstøtte for Aker BP på Ivar Aasen kan samarbeide for å oppnå synergieffekt og på denne måten bygge opp og fasilitere analyseprogram som kan predikere funksjonssvikt på vanninjeksjonspumpen grunnet vibrasjon i glidelager.

Bachelorgruppen mener Aker BP bør vurdere et samarbeid med følgende aktører i dette arbeidet:

Sulzer: Leverandør av sentrifugalpumpen.

Sulzer kan bidra med ekspertkompetanse om sentrifugalpumpen de har levert. Dette kan inkludere historiske drifts- og vedlikeholdsdata fra flere tilsvarende pumper som sentrifugalpumpen på Ivar Aasen. Dette vil være viktig informasjon i den prediktive analysen ved at man kan knytte historisk utvikling av svikt i tilsvarende pumper til forskjellige vibrasjonsnivåer.

ABB: Leverandør av elektrisk motor på vanninjeksjonspumpe.

ABB kan bidra med ekspertkompetanse på den elektriske motoren de har levert, i tillegg til historiske data fra tilsvarende motorer som kan knyttes mot vibrasjonsnivåer i den prediktive analysen.

Bently Nevada: Leverandør av vibrasjonstransmittere på vanninjeksjonspumpe og en del av kontrollsystemet på Ivar Aasen kalt System 1.

Historisk tilstandsdata fra System 1 kan samles og tilgjengeliggjøres i Cognites dataplattform for videre utnyttelse i prediktive analyser.

Karsten Moholt: Utfører av vibrasjonsovervåking og vibrasjonsanalyse på vanninjeksjonspumpen.

Karsten Moholt bidrar med sin domenekunnskap om vedlikehold og fysiske maskiner i oppbyggingen av den prediktive analysemodellen og algoritmer for behandling av tilstandsdata.

Invicta: Utfører av oljeanalyser på vanninjeksjonspumpen.

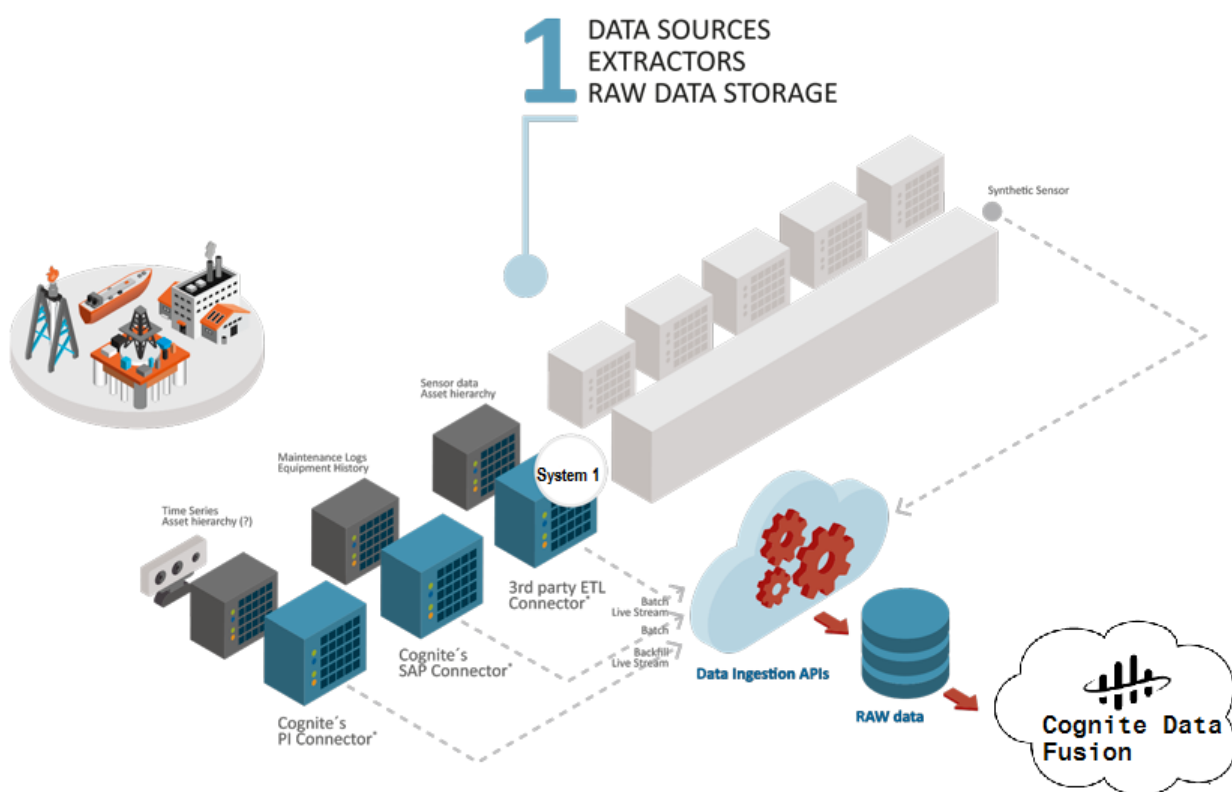
Invicta kan bidra med ekspertkompetanse når det kommer til å knytte sviktmoder til resultater fra oljeanalyser.

Cognite: Leverandør av dataplattform for samling av data fra ulike program og aktører.

Cognite kan samle data fra Aker BP, leverandører og aktører innen vedlikeholdstøtte i sin plattform Cognite Data Fusion (CDF). I figur 3.6 vises hvordan data fra PI, SAP og System 1 kan samles i CDP. Dette vil gjøre dataen tilgjengelig for utnyttelse i prediktive analyser. Cognites dataplattform må kommunisere og samarbeide med SAP slik at resultater fra de prediktive analysene kan tilgjengeliggjøres og trigge arbeidsordre i SAP. Bachelorgruppen mener at det ikke skal genereres arbeidsordre automatisk i SAP før man har kvalitetssikret at systemet fungerer optimalt.

SAP: Leverandør av vedlikeholdsstyringsprogrammet på Ivar Aasen.

SAP kan videreutvikle sitt CMMS-program slik at det mer effektivt kan kommunisere med Cognite Data Fusion. Det bør for eksempel kunne genereres automatiske arbeidsordre på grunnlag av resultater fra prediktive analyser i andre program/plattformer, som for eksempel Cognite Data Fusion.



Figur 3.6: Illustrasjon av hvordan data fra PI, SAP og System 1 kan inngå i Cognite Data Fusion (Rå design studio 2019)

Organisasjonsbehov i dag

Gjennom informasjon som har kommet frem under intervjuer av personer fra vedlikeholdsorganisasjonen på Ivar Aasen ser gruppen at det på kort sikt er behov for et arkiv der rapporter fra oljeanalyser og vibrasjonsanalyser samles. Disse rapportene må være lett tilgjengelig for vedlikeholdsorganisasjonen for Ivar Aasen (Sandbakk 2019b). Bachelorgruppen mener at disse rapportene kan med fordel ses i sammenheng og det kan etableres et samarbeid mellom disse aktørene. Dette samarbeidet kan i praksis etableres ”i dag”.

Bachelorgruppen mener også ut fra informasjon fra intervjuer at det trengs en klarere og mer strømlinjeformet informasjonsflyt mellom slike eksterne aktører som Invicta, Karsten Moholt og Aker BP. Dette inkluderer en entydig og definert ansvarsfordeling for hvem som har ansvar for- og hvordan rapporter fra disse aktørene skal behandles. (Sandbakk 2019b)(Åkergren og Pettersen Sletta 2019)

Som ledd i utviklingen mot prediktivt vedlikehold foreslår bachelorgruppen at vedlikeholdsstrategien for Ivar Aasen oppdateres til å inkludere prediktivt vedlikehold i henhold til den overordnede strategien for prediktivt vedlikehold i selskapet. Dette vil bidra til å institusjonalisere denne vedlikeholdsformen på Ivar Aasen.

3.2.10 Utførelse av prediktivt vedlikehold

Gjennom intervjuer med veileder i bedriften, Katrine Dretvik Sandbakk, har gruppen fått forståelse for at det er mest hensiktsmessig for Aker BP å selv organisere vedlikeholdsaksjonene sine. Det vil altså si at prediktive analyser og RUL-beregninger ikke skal utløse automatiske vedlikeholdsaksjoner, men heller være beslutningsgrunnlag i planlegging av vedlikeholdsaktiviteter. Dette spesielt på kort sikt før et prediktivt vedlikeholdsprogram er ferdig utprøvd.

Som tidligere forklart mener bachelorgruppen at det på lengre sikt er realistisk at prediktive analyser og RUL-beregninger kan generere automatiske vedlike-

holdsaksjoner og arbeidsordre. Dette med forbehold om at tilstandsovervåkning representerer den faktiske tilstand og at de prediktive analysene også tar med informasjon om produksjon og drift for å finne et hensiktsmessig tidspunkt for vedlikeholdsaksjoner. Alternativt kan analyseprogrammet foreslå vedlikeholdsaksjoner og arbeidsordre, men at en vedlikeholdsingeniør kvalitetssikrer og godkjenner disse før de genereres og sendes ut til en vedlikeholdsoperatør for utførelse.

3.3 Gevinster og potensielle ulemper ved innføring av prediktivt vedlikehold

Dette kapittelet tar for seg gevinster og potensielle ulemper ved innføring av prediktivt vedlikehold.

3.3.1 Gevinster ved innføring av prediktivt vedlikehold

Hensikten med å innføre prediktivt vedlikehold på vanninjeksjonspumpen er å bidra til å opprettholde den høye oppetiden vanninjeksjonspumpen har i dag, gjennom økt bruk av informasjon fra tilstandsovervåkingen som utføres. I dette kapittelet vises eksempler på hvordan suksesskriteriene fremlagt i teorikapittelet under kapittel 1.9.4 kan oppfylles ved implementering av prediktivt vedlikehold.

Selv om vanninjeksjonspumpen har høy oppetid i dag, behøver ikke dette å være tilfellet i fremtiden. Det er viktig å ta i betraktning at Ivar Aasen er en relativt ny oljeplattform (2016) og at oppetiden på komponenter som vanninjeksjonspumpen bærer preg av dette. Etter hvert som utstyret blir eldre er det rimelig å anta at det vil oppstå flere svikt som følge av slitasje på komponenter. Et prediktivt vedlikeholdsprogram kan bidra til å forhindre svikt på vanninjeksjonspumpen da prediktive analyser kan gi en mer nøyaktiv og detaljert kartlegging av sviktutvikling og tilhørende vedlikeholdsaksjoner for å forhindre svikt. Slik vil oppetid og driftssikkerhet forbedres, ved å utføre nødvendig vedlikehold til riktig tid.

På grunnlag av informasjon som fremkom i teorikapittel under kapittel 1.7 (Helse, miljø og sikkerhet) mener bachelorgruppen også at prediktivt vedlikehold vil kunne bidra til forbedret sikkerhet ved redusert vedlikeholdsbehov. Det vil potensielt være behov for færre vedlikeholdsaksjoner og inspeksjoner. Dette vil bidra til å minke sannsynligheten for at operatører skader seg mens de utfører vedlikehold / inspeksjoner. Det kan også potensielt føre til et redusert behov for bemanning på plattformen. Tanken er at man ikke skal bruke personell til å utføre unødvendige arbeidsoppgaver. Ressurser i form av mannskap og verktøy vil dermed kunne disponeres mer effektivt. Dette kan dermed bidra til å oppfylle suksesskriteriet "Forbedret sikkerhet".

I utgangspunkt er det sannsynlig at innføring av prediktivt vedlikehold vil medføre økte utgifter knyttet til utvikling og implementering av nye systemer. Fordi innføring av prediktivt vedlikehold må foregå gradvis, slik som beskrevet i suksessfaktorer, vil utgiftene løpe over lengre tid. Samtidig vil man gradvis se innsparinger knyttet til reduksjon av overflødige vedlikeholdsaksjoner, samt bedre bruk av mannskap og ressurser. Det største potensialet for innsparinger ligger likevel i den potensielle forhøyede oppetiden, og tilsvarende reduserte produksjonskostnader. Dette er spesielt aktuelt for oljebransjen der nedetid representerer stort tap. Dette inkluderer oppfyllelse suksesskriteriene "Økt oppetid for komponent / anlegg", "Reduserte produksjonskostnader" og "Reduserte vedlikeholdskostnader".

3.3.2 Potensielle ulemper ved innføring av prediktivt vedlikehold

Vi har i denne oppgaven hovedsakelig vektlagt fordeler og gevinster knyttet til prediktivt vedlikehold. Dette kommer hovedsaklig av at faglitteratur om prediktivt vedlikehold ofte setter temaet utelukkende i positivt lys. Til tross for det mener vi at det er viktig å diskutere både fordelene, som vi har utredet grundig i oppgaven, men også de potensielle ulempene prediktivt vedlikehold kan

medføre.

I kapittel 1.9.5 ”Fallgruver ved implementering og opprettholdelse av prediktivt vedlikehold” tok vi for oss utfordringer og potensielle feil som kan oppstå under innføring av prediktivt vedlikehold. I dette kapitlet vil vi diskutere hvilke konsekvenser disse fallgruvene kan få, og hvilke ulemper prediktivt vedlikehold kan føre med seg til tross for god innføring. Dette er hovedsaklig basert på gruppens egne refleksjoner og informasjon fra teorikapitlet (Kapittel 1).

Prediktivt vedlikehold er ikke den beste vedlikeholdsformen for alt utstyr. Ved å innføre prediktivt vedlikehold kan én konsekvens være at man ikke oppnår forbedring fra dagens praksis. Dette gjelder særlig utstyr med lavere kritikalitet fordi det kan innebære en unødvendig utgift å utruste slikt utstyr med dyre sensorer og ressurskrevende tilstandsovervåking.

Prediktivt vedlikehold er en ressurskrevende, og muligens dyr vedlikeholdsform i den forstand at vedlikeholdsobjekter må utstyres med sensorer som representerer utgift til innkjøp og montering, i tillegg til at det må utvikles avanserte analyseverktøy for innsamlet data fra utstyret. Det er altså en risiko for at den potensielle innsparingen ikke overgår utgiftene knyttet til innføring av denne vedlikeholdsformen. Dette gjelder som sagt spesielt på utstyr med lav kritikalitet og kompleksitet.

Man kan også oppleve at selskap ikke tørr å stole på resultatene fra de prediktive analysene og fortsetter å utføre vedlikehold på samme måte som før innføring. Dette representerer potensielt drastisk økte utgifter knyttet til vedlikehold.

Et annet viktig aspekt i prediktivt vedlikehold er feilslåtte prediksjoner. Dersom tilstandsdataen som samles inn ikke representerer faktisk tilstand på utstyr, man har dårlige modeller, algoritmer og analyseverktøy eller at dataen ikke møter kravene for en god prediktiv analyse, risikerer man å predikere feil. Dette kan igjen føre til uforutsette svikt, til tross for et dyrt og komplisert vedlikeholdsprogram. Det representerer potensielt store tap og skade på utstyr og mennesker.

Suksessfaktorene for prediktivt vedlikehold, definert i kapittel 1.9.3, har til hensikt å unngå disse negative følgene ved innføring av prediktivt vedlikehold. Derksom Aker BP lykkes i å oppfylle alle suksessfaktorene, vil sannsynligheten være større for en vellykket implementering av prediktivt vedlikehold på vanninjeksjonspumpen og ellers i selskapet.

3.4 Sammenligning av ståstedsanalysen og suksessfaktorer for prediktivt vedlikehold

Bachelorgruppen har valgt å gjennomføre en omfattende sammenligning av ståstedsanalysen og de suksessfaktorene for prediktivt vedlikehold, utledet av gruppen gjennom litteraturstudie. Vi vil først gå gjennom sammenligningen i form av en figur, der man enkelt kan se hvordan selskapet ligger an i forhold til hver suksessfaktor.

Vi vil videre gå dypere inn å tolke og diskutere disse funnene og gå nærmere inn på hvorfor selskapet oppfyller eller ikke oppfyller suksessfaktorene og diskutere mulige løsninger.

Dette har vi gjort for å legge til rette for å gi leseren en god forståelse for hvordan mulighetene er for å innføre prediktivt vedlikehold på vanninjeksjonspumpen på Ivar Aasen.

3.4.1 Kort sammenligning

Under følger en figur der suksessfaktorene for prediktivt vedlikehold definert fra litteraturstudiet sammenlignes med nåstatus i Aker BP.

Suksessfaktorer prediktivt vedlikehold	Nåstatus Aker BP
Organisasjonen må gjennomgå et kulturelt skifte fra den gamle vedlikeholdsformen til prediktivt vedlikehold hvor innføringen er et langsiktig og felles mål for alle ansatte	Hele selskapet er i en prosess der det blir mer fokus på ny teknologi og nye digitale hjelpemidler. Det er et mål om mer prediktivt vedlikehold, som er forankret på toppen og blant de ansatte vi har intervjuet.
Operatører som utfører rapportering og vedlikeholdsarbeid må ha god opplæring på alle nye systemer, metoder og rutiner som innføres.	Rutinene for rapportering er tydelige. Det trengs bedre fokus på det hele veien for å forhindre at det tas snarveier. Vi har inntrykk av at operatører har god opplæring og forståelse av hvorfor man skal rapportere.
En samlet CMMS-plattform hvor også datalagring og dataanalyser implementeres. Plattformen er brukervennlig og kommuniserer med andre vedlikeholdsrelaterte programmer og IoT	Aker BP kan vurdere å implemtere flere funksjoner fra Intelligent Asset Management i SAP. SAPs brukersnitt har noen utfordringer. SAP bør kunne kommunisere med Cognite Datafusion for å hente ut analyseresultater.
Tilstandssensorer og tilstandsmåling med stor nøyaktighet og data med høy loggehastighet på kritisk utstyr som skal inngå i prediktive analyser.	Det eksisterer sensorer som logger vibrasjonsdata med høy loggehastighet på aktuelt utstyr. Den generelle nøyaktigheten på sensorer bør gjennomgås.
Analyseverktøy har kapasitet til å behandle store datamengder (Big Data), herunder data med høy loggehastighet.	Vibrasjonsanalyseverktøy håndterer data med høy loggehastighet. Cognite Data Fusion (CDF) håndterer per dags dato ikke data med høy loggehastighet. Vi har imidlertid informasjon fra Cognite om at plattformen straks er klar for dette. (Intervju Cognite 2019)
Datasystemer og analyseverktøy må implementeres og behandles av personer med kompetanse om eller erfaring med dataanalyse, maskinlæring og prediktivt vedlikehold.	Analyse av data eksisterer. Det er tilgang på den riktige kunnskapen, f.eks. dataanalytikere i Cognite og domenekunnskap i Karsten Moholt. Disse aktørene bør i større grad samarbeide for å oppnå synergieffekt.
Sikre validiteten på dataanalyser gjennom kontroll av tilstandsmålinger og datainnsamlingspunkter.	Selskapet kan vurdere å utføre hyppigere kontroll av datainnsamlingspunkter, og mer detaljerte rutiner for verifikasjon av tilstandsovervåking og datainnsamlingspunkter.
Målekjeden er kontrollert og kvalitetssikret av kvalifisert personell. Det eksisterer gode rutiner for kontroll på målekjeden.	Ulike deler av målekjeden kontrolleres ulikt. Enkelte deler kontrolleres årlig og andre deler hvert tredje år. Rutiner eksisterer men gruppen mener man bør vurdere å utføres det oftere. Behov for bedre arbeidsbeskrivelser for gjennomføring og dokumentasjon.
Handle ut i fra prediktive analyser og stole på teknologien som implementeres.	Det utføres per dags dato ikke prediktive analyser knyttet til vedlikehold på Ivar Aasen.
Utdanne ledere i organisasjonen innen prediktivt vedlikehold slik at ledelsen kan institusjonalisere praksisen med hensyn på en bærekraftig videreføring av programmet.	Vi har ikke innsyn i om ledere er utdannet innen prediktivt vedlikehold, men har inntrykk av at ledelsen i Aker BP satser på ny teknologi og at prediktivt vedlikehold er i fokus.

■ Tilfredsstillende ikke suksessfaktor
■ Tilfredsstillende delvis suksessfaktor
■ Tilfredsstillende suksessfaktor

Figur 3.7: Suksessfaktorer for prediktivt vedlikehold sammenlignet med nåstatus i Aker BP.

3.4.2 Utdypende sammenligning av ståstedsanalyse og suksessfaktorer

Under følger en utdyping av punktene fra figur 3.7 over. Vi har tatt utgangspunkt i de generelle suksessfaktorene for prediktivt vedlikehold beskrevet i teorikapittelet av bachelorgruppa, og sammenlignet dette med hvordan status er i Aker BP i dag. Innholdet i kapittelet vil bestå av en kombinasjon av kunnskap gruppen har tilegnet seg gjennom intervjuer, studier av interne dokumenter, litteraturstudier, ståstedsanalyse og egne meninger.

Kulturelt skifte

For å kunne implementere prediktivt vedlikehold på en vellykket måte er det nødvendig at organisasjonen gjennomgår et kulturelt skifte der de går fra den gamle vedlikeholdsformen og over til prediktivt vedlikehold. Det er viktig at innføringen er langsiktig og at det etableres felles mål for alle ansatte. Aker BP befinner seg midt i en prosess der de tar i bruk ny teknologi og nye digitale hjelpemidler i hele organisasjonen. Vårt inntrykk er at dette er forankret i hele organisasjonen fra toppledelsen i selskapet til ingeniører som jobber med vedlikehold på for eksempel Ivar Aasen. Denne prosessen innebærer fokus på å forbedre vedlikeholdsarbeidet ved bruk av ny teknologi.

Aker BP har opprettet en arbeidsgruppe som kalles Smart Maintenance, som jobber med å utvikle "use cases" der man tester ut nye måter å organisere vedlikeholdet på. Dette for å i praksis teste ut hva som fungerer bra og hva som fungerer dårlig. I dette arbeidet står innføring av prediktivt vedlikehold sentralt. (*Pdm team [intervju] 2019*) Gruppens inntrykk er at vedlikeholdsorganisasjonen for Ivar Aasen gjennomgår et kulturelt skifte der de ønsker å gå fra den vedlikeholdsformen de har i dag til en mer tilstandsbasert og prediktiv vedlikeholdsform. (Lindrupsen og Sandbakk 2019) Vi mener derfor at det kulturelt sett ligger godt til rette for å kunne innføre prediktivt vedlikehold på Ivar Aasen.

God opplæring

Det er viktig at operatører som utfører rapportering og vedlikeholdsarbeid har god opplæring i nye systemer, metoder og rutiner som innføres. Vi har inntrykk av at det generelt eksisterer gode rutiner for opplæring av personell som anveder tekniske systemer i Aker BP. (Sandbakk 2019b) Ved innføring av prediktivt vedlikehold bør det være stort fokus på å innføre dette gradvis, der det gis god opplæring både i nye systemer men også om hvorfor man gjør det man gjør, og hva som er den potensielle gevinsten ved dette. Det bør være fokus på hva hver enkelt får ut av den nye formen for vedlikehold, for å motivere og stimulere til en vellykket implementering for alle parter.

Det bør etableres bedre, standardiserte arbeidsbeskrivelser og standardiserte måter å rapportere arbeid på, slik at disse rapportene enklere kan anvendes til kontinuerlig forbedring. Det er viktig at jobber utføres på en mest mulig lik måte hver gang, og standardiserte arbeidsbeskrivelser og måter å utføre en jobb på vil bidra til dette. Det er også viktig at rapportering utføres på et stabilt høyt nivå, slik at rapportene kan anvendes som et verktøy for videre bruk av prediktivt vedlikehold.

Samlet dataplattform

En av suksessfaktorene for prediktivt vedlikehold er at bedriften har en samlet CMMS plattform hvor også datalagring og dataanalyse implementeres. Plattformen må være brukervennlig og kommunisere med andre vedlikeholdsrelaterte programmer og støtte IoT. Aker BP anvender datasystemet SAP som CMMS på Ivar Aasen. Andre assets anvender andre datasystemer, men alle assets skal over på SAP ved årsskiftet 2019/2020. (Lindrupsen og Sandbakk 2019)

Det å ha et felles system er bra med tanke på at man kan lære av hverandre og utnytte synergieffekten dette gir. Aker BP har et nært samarbeid med det norske IT-selskapet Cognite, som har levert en dataplattform der all data skal samles. Cognite kaller plattformen for "Cognite Data Fusion" (CDF). Denne plattfor-

men legger til rette for at data fra forskjellige assets tilgjengeliggjøres på en bedre måte, og kan utnyttes mer enn det gjør i dag. Cognites dataplattform har svakheter da den ikke kan hente data fra Bently Nevada System 1 i dag. (Lindrupsen og Sandbakk 2019) Det bør etterstrebes at CDF takler store mengder data med høy loggehastighet (big data) for å kunne anvende denne i prediktiv analyse.

Bachelorgruppen har utført intervjuer med Cognite og fått bekreftet at Cognite Data Fusion er klar for å ta inn data fra Bently Nevada System 1 veldig snart. De informerte også om at plattformen på litt lengre sikt er i stand til å ta imot live data med høy loggehastighet (Big Data). (*Intervju Cognite 2019*) Dette er positive nyheter med hensyn på muligheten for å implementere prediktivt vedlikehold på Ivar Aasen.

Bachelorgruppen mener Cognites dataplattform bør kommunisere sømløst med SAP for at prediktivt vedlikehold skal kunne utføres i det daglige. Grunnen til at vi mener det er at resultater fra analysert tilstandsdata fra CDF bør komme opp i SAP slik at arbeidsordre kan genereres og arbeidsoppgaver kan planlegges og deles ut på en enkel måte. Bachelorgruppen kjenner ikke til om SAP kommuniserer med Cognites dataplattform i dag. Funksjoner for Intelligent Asset Management og prediktivt vedlikehold i SAP bør utforskes og tas i bruk der det er aktuelt.

Tilstandsovervåking med høy loggehastighet

En annen viktig suksessfaktor for å kunne innføre prediktivt vedlikehold er at man har tilgang på tilstrekkelig tilstandsdata, og spesielt vibrasjonsdata med høy loggehastighet samt verktøy som kan håndtere dette. Aker BP har kontinuerlig tilstandsovervåking i form av sensorer på de viktigste komponentene på vanninjeksjonspumpen. Det er også installert sensorer som håndterer høy loggehastighet for vibrasjon på pumpe for vanninjeksjon. I dag logges vibrasjonsdata fra vanninjeksjonspumpen i System 1 med høy hastighet kun når vibrasjons-

nivå når et visst punkt (*Karsten Moholt AS/Kjell Puntervold 2019*). Man bør undersøke potensielle muligheter og gevinster ved å logge vibrasjonsdata med høy hastighet kontinuerlig. Dette kan legge til rette for å oppdage historiske trender og om mulig lære opp algoritmer til å detektere feilutvikling på et tidligere stadie. (Carroll mfl. 2019)

All historisk data med høy loggehastighet lagret over korte intervall er lagret i System 1. (*Karsten Moholt AS/Kjell Puntervold 2019*) Ellers er all annen data fra hele Ivar Aasens levetid lagret i programmet Pi Vision. Dette er imidlertid ikke data med høy loggehastighet. (Lindrupsen og Sandbakk 2019) Det at Cognite nå åpner muligheten for å kunne ta inn data fra Bently Nevada System 1 gjør at man vil få tilgang på data med både høy og lav loggehastighet i samme plattform. Det er veldig positivt og åpner mange muligheter med tanke på innføring av prediktivt vedlikehold.

Kompetanse, analyse, modeller, maskinlæring

For å kunne implementere og drive med prediktivt vedlikehold er det viktig å ha tilgang på riktig kompetanse. Datasystemer og analyseverktøy må implementeres og håndteres av personer med kompetanse om eller erfaring med dataanalyse, maskinlæring og prediktivt vedlikehold. Som nevnt tidligere samarbeider Aker BP med IT-selskapet Cognite. Gjennom dette samarbeidet har de tilgang på personell med kompetanse innen oppbygging av dataprogrammer, algoritmer og maskinlæring.

Aker BP samarbeider også med selskapet Karsten Moholt, og har gjennom dette samarbeidet tilgang på ekspertkompetanse innenfor tilstandsovervåking og vibrasjonsanalyse. (*Karsten Moholt AS/Kjell Puntervold 2019*) For å kunne lykkes i innføringen av prediktivt vedlikehold mener bachelorgruppen at det er hensiktsmessig at aktører som disse samarbeider og sammen med Aker BP bygger opp dataprogrammer, algoritmer og maskinlæring for prediktivt vedlikehold.

Når man driver med prediktivt vedlikehold er sensorer som registrerer tilstands- og driftsdata viktige. For at man skal kunne basere vedlikeholdet på informasjon fra sensorer er man prisgitt at sensorene forteller den faktiske tilstanden på utstyret. Hvis sensorene leser av feil / unøyaktig informasjon får man det som kaller ”shit in, shit out”.

Valid datainnsamling, og kontroll på målekjeden

Når man skal gå fra forhåndsbestemt til prediktivt vedlikehold kan det være nødvendig å oppdatere rutinene for verifisering av sensorer og tilstands- overvåking som foretas. Slik gruppa har oppfattet det er ikke arbeidsbeskrivelser for verifisering av sensorer på Ivar Aasen på et ”prediktivt vedlikeholdsnivå” i dag. Det kan med fordel etableres standardiserte arbeidsbeskrivelser for kontroller av datainnsamlingspunkt med gode beskrivelser for hvordan dokumentasjon av jobbene skal utføres. Sensorer bør kontrolleres av bærbare enheter for å sikre at riktig informasjon leses av. På samme måte er det viktig at målekjeden kontrolleres, slik at man unngår at dataen som samles inn av sensorer ”forurenses” på veien til datasystemene der dataen leses og behandles. Man må også sjekke at det ikke foregår filtrering der viktig informasjon endres / fjernes. For å lykkes med prediktivt vedlikehold bør bedre rutiner for dette innføres på Ivar Aasen. Gevinsten i dette ligger i at oppetiden og påliteligheten kan forbedres.

Handle ut fra prediktive analyser

Et annet aspekt ved prediktivt vedlikehold er at man faktisk må tørre å stole på den informasjon man får fra de prediktive analysene. Før man kommer dit må man gjennom en innkjøringsfase der man gir god opplæring, blir kjent med nye systemer og ikke minst sikrer at informasjon som leses av sensorer representerer faktisk tilstand. Aktuelle algoritmer og maskinlæring trenger en innkjøringsfase for å fungere på riktig måte. Etter denne prosessen er gjennomført må man gradvis fase bort det gamle vedlikeholdet og tørre å stole på resultater

fra de prediktive analysene. Klarer man ikke dette vil man få høyere kostnader knyttet til vedlikehold uten at pålitelighet og oppetid nødvendigvis bedres, og dette er ikke hensikten med å innføre prediktivt vedlikehold.

Vedlikeholdsregimet på pumpe for vanninjeksjon på Ivar Aasen består i dag av forhåndsbestemt vedlikehold (kalenderbasert) og tilstandsbasert vedlikehold. Selskapet Karsten Moholt foretar tilstandsovervåking og gir råd basert på dette, men det eksisterer ikke prediktive analyser og maskinlæring for vanninjeksjons-pumpen i dag. Aker BP har derfor ikke prediktive analyser å stole på i dag, og må derfor forholde seg til forhåndsbestemte intervaller eller ikke-prediktivt tilstandsbasert vedlikehold i dag.

Prediktivt vedlikehold forankret i ledelsen

For å lykkes i implementeringen av prediktivt vedlikehold er det viktig at hele organisasjonen er med i prosessen, og spesielt ledelsen. Det er viktig at ledelsen i organisasjonen har kunnskap om prediktivt vedlikehold, slik at de kan institusjonalisere praksisen med hensyn på en bærekraftig videreføring av programmet. Bachelorgruppen har inntrykk av at den generelle kunnskapen om ny, digital teknologi er god blant ledelsen i Aker BP. Det er stor fokus på ny teknologi i selskapet, noe som kommer frem gjennom mye omtale i media. Det kan imidlertid bli litt for visjonære taler i media, uten at det gjenspeiler seg i det som gjennomføres i praksis. Det er viktig at det er sammenheng mellom det man uttaler i media at man skal gjøre, og det de ansatte opplever at man gjør. Dette for å skape troverdighet og tillitt blant de ansatte i hele organisasjonen.

Prediktivt vedlikehold er ikke nevnt under forebyggende vedlikehold i vedlikeholdsstrategien for Ivar Aasen. Bachelorgruppen anbefaler en oppdatering av strategien der prediktivt vedlikehold inkluderes i henhold til standard ISO NS-EN 13306:2017, for å møte Aker BP sin fremtidsvisjon om økt grad av prediktivt vedlikehold på sine assets.

3.4.3 Suksesskriterier

I følge resultatmål 4 skal bachelorgruppen sammenligne funn gjort i ståstedsanalysen opp mot både suksesskriterier og suksessfaktorer. Som definert i teori-kapittelet er suksesskriterier parametre og indikatorer som kan måles og undersøkes for å avgjøre om et prosjekt er suksessfullt eller ikke. Etter som prediktivt vedlikehold enda ikke er innført på vanninjeksjonspumpen, mener gruppen at de definerte suksesskriteriene først blir aktuell å sammenligne med status i selskapet etter at prediktivt vedlikehold er innført.

Vi anbefaler at Aker BP tar fram suksesskriteriene definert av bachelorgruppen i kapittel 1.9.2 og 1.9.4 etter at prediktivt vedlikehold er innført, for sammenligne disse med status for vedlikehold og dermed kunne identifisere om den nye vedlikeholdsfilosofien har ført til ønskede gevinster.

Besvarelse av resultatmål og konklusjon

Dette kapitlet inneholder en oppsummert besvarelse av alle resultatmål i oppgaven og til slutt en konklusjon av problemstillingen for oppgaven.

4.1 Oppsummert besvarelse av resultatmål

Under følger en oppsummering av alle resultatmål besvart i oppgaven, der det henvises til hvilke kapitler resultatmålene er besvart og kommer en kort oppsummering av besvarelsen av resultatmålet.

Tabell 4.1: Besvarelse av resultatmål 1

1.	Beskrivelse av prediktivt vedlikehold		
Nr.	Resultatmål	Kapittel	Oppsummert svar
1.1	Definisjon og kort beskrivelse av prediktivt vedlikehold	1.2 1.5.3	Tilstandsbasert vedlikehold som utføres etter en prognose utledet av gjentatt analyse eller kjente egenskaper og evaluering av de vesentlige parameterne for degradering av enheten
1.2	Sammenheng mellom tilstandskontroll, prediktivt vedlikehold og RUL	1.5.3	Data samles inn ved tilstandsovervåking og logging. Denne dataen analyseres slik at man kan regne ut den gjenværende brukbare levetiden til en komponent (RUL). Denne tiden gir en indikasjon på når komponenten vil slutte å utføre krevd funksjon og man kan dermed regne når vedlikehold vil være nødvendig.
1.3	Kort beskrivelse av relevante analyseverktøy/ -metoder	1.4 3.2.1 1.8	Vedlikeholdstekniske analysemetoder: Vibrasjon (Fourier), Tribologi (Partikkel, spektro- og ferrografi). FMEA Dataanalyse: Fire metoder for dataanalyse: deskriptiv-, diagnostisk-, prediktiv- og preskriptiv analyse.
1.4	Generelle suksesskriterier og suksessfaktorer for innføring av prediktivt vedlikehold	1.9.3 1.9.4	Hvor suksessfullt et prediktivt vedlikeholdsprogram blir avhenger av hvordan programmet er definert, tilvirket og lansert. Suksesskriteriene for innføring av prediktivt vedlikehold vil være fremtredende etter innføring av programmet.

Tabell 4.2: Besvarelse av resultatmål 2.

2.	Utarbeide en ståstedsanalyse med beskrivelse av:.		
Nr.	Resultatmål	Kapittel	Oppsummert svar
2.1	Selskapets vedlikeholdsstrategi med spesielt fokus på prediktivt vedlikehold	2.1 2.2	Aker BP har en overordnet strategi for prediktivt vedlikehold som er utviklet av selskapets team for prediktivt vedlikehold.
2.2	Hvordan selskapet forstår prediktivt vedlikehold	2.3	Aker BP definerer prediktivt vedlikehold som en kontinuerlig eller periodisk tilstandsovervåking av komponenter på utstyr for å indikere nåtilstand og predikere degradering av ytelse og tilstand over tid.
2.3	Med tanke på prediktivt vedlikehold beskrive:		
2.3.1	Hvilke ressurser som finnes.	2.4	Selskapet har flere ressurser som kan utnyttes til innføring av prediktivt vedlikehold, både innad i selskapet og i form av ekstern vedlikeholdsstøtte.
2.3.2	Hva som er gjort	2.5	Det er gjort en rekke tiltak for å muliggjøre prediktivt vedlikehold. Blant annet har selskapet inngått allianser og utviklet strategier som skal legge til rette for innføring av prediktivt vedlikehold.
2.3.3	Hva som er planlagt.	2.6	Aker BPs team for prediktivt vedlikehold har utarbeidet en plan med konkrete steg på veien mot å implementere prediktivt vedlikehold i Aker BP. Denne planen strekker seg fra 2019 til 2022.

Tabell 4.3: Besvarelse av resultatmål 3.

3.	Kort beskrivelse av vanninjeksjonspumpen, herunder:		
Nr.	Resultatmål	Kapittel	Oppsummert svar
3.1	Eksisterende vedlikeholdprogram	2.8	Vedlikeholdsprogrammet på vanninjeksjonspumpen er i dag ikke-prediktivt, hovedsaklig tilstandsbasert men også kalenderbasert.
3.2	Eksisterende tilstandskontrollsystemer/-metoder	2.9	Det utføres visuell inspeksjon, analyse av smøreolje, vibrasjonsovervåking, prosessmonitorering, herunder overvåking av temperatur, trykk, strømforbruk og hastighet på roterende elementer på vanninjeksjonspumpen.
3.3	Oversikt over tilstands- og driftsdata som samles inn (Type, format, egnet for videre analyse)	2.9.2	Det samles inn tilstands- og driftsdata fra alle metodene nevnt ovenfor. Data samles inn analogt og overføres til digitale signaler.
3.4	Vedlikeholdsstyringssystemet som berører vanninjeksjonspumpen	2.11	Vanninjeksjonspumpen er underlagt vedlikeholdsstyringssystemet SAP.

Tabell 4.4: Besvarelse av resultatmål 4.

4.	Sammenligne funn gjort i ståstedsanalysen opp mot beskrivelser av suksesskriterier og suksessfaktorer for prediktivt vedlikehold fra resultatmål 1.		
Nr.	Resultatmål	Kapittel	Oppsummert svar
4.1	På bakgrunn av dette gi anbefalinger om:		
4.1.1	Hvordan eksisterende tilstandsmålinger, -data og systemer kan utnyttes på en bedre måte for å kunne innføre prediktivt vedlikehold på vanninjeksjonspumpen på Ivar Aasen	3.1 3.2	Ved å utvikle tilstands- og driftsdata og samle dette på en digital plattform kan Aker BP i samarbeid med aktører innen vedlikeholdsstøtte utføre prediktiv analyse av tilstandsdata, med hensyn på innføring av prediktivt vedlikehold. Vi har utført en case der vi viser konkrete eksempler på hvordan eksisterende tilstandsdata kan utnyttes på en bedre måte.
4.1.2	Eventuelt tiltak som bør iverksettes.	3.2.8 3.2.9 4.2	Råd for organisering og relevante aktører. Videreutvikle bruken av Cognite Data Fusion, en digital plattform hvor tilstand- og driftsdata kan lagres og analyseres. Aker BP kan legge til rette for økt datadeling med leverandører og aktører innen vedlikeholdsstøtte på vanninjeksjonspumpen gjennom bruk av Cognite Data Fusion. Det bør etableres datamodeller og algoritmer for analyse av innsamlet data.

4.2 Konklusjon

Bachelorgruppen vil på bakgrunn av resultatene fra bacheloroppgaven konkludere med at tilgjengelig tilstands- og driftsdata fra vanninjeksjonssystemet på Ivar Aasen kan nyttiggjøres i innføring av prediktivt vedlikehold på vanninjeksjonspumpen.

Funnene fra ståstedsanalysen viser at Aker BP er på god vei mot å tilfredsstille suksessfaktorene for prediktivt vedlikehold definert av bachelorgruppen. Det må likevel jobbes videre for å tilfredsstille suksessfaktorene fullstendig. Det bør spesielt jobbes med å etablere datamodeller og algoritmer som kan behandle den innsamlede tilstands- og driftsdataen, med hensikt å beregne Remaining Useful Life (RUL) og dermed kunne innføre prediktivt vedlikehold på vanninjeksjonspumpen.

Ved å vise en case for hvordan tilgjengelig tilstands- og driftsdata kan nyttiggjøres for å predikere utvalgte funksjonssvikt på vanninjeksjonspumpen, har bachelorgruppen vist eksempler på hvordan Aker BP kan nyttiggjøre seg av tilgjengelig tilstands- og driftsdata fra vanninjeksjonssystemet i innføring av prediktivt vedlikehold på oljeplattformen Ivar Aasen, og dermed besvart problemstillingen for oppgaven.

Resultater fra ståstedsanalysen viser at den mest hensiktsmessige måten å innføre prediktivt vedlikehold på vanninjeksjonspumpen på Ivar Aasen, er via samarbeid med aktører og leverandører som yter vedlikeholdsstøtte. Bachelorgruppen anbefaler Aker BP å undersøke mulige fordeler en såkalt "Smartkontrakt" med Cognite, Sulzer og ABB kan gi for innføringen av prediktivt vedlikehold på vanninjeksjonspumpen på Ivar Aasen.

Bachelorgruppen mener Aker BP kan anvende fremgangsmåten for den utvalgte casen i oppgaven på andre områder og dermed at bacheloroppgaven kan brukes som et eksempel på hvordan en innføring av prediktivt vedlikehold på andre komponenter på Ivar Aasen-plattformen.

Referanser

- ABB, Norge (2019). Om ABB i Norge. URL: <https://new.abb.com/no/om-oss> (sjekket 25.03.2019).
- Agnisarman, Sruthy mfl. (2019). A survey of automation-enabled human-in-the-loop systems for infrastructure visual inspection. *Automation in Construction* 97, s. 52–76. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.10.019. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580518303248> (sjekket 16.05.2019).
- Aker BP (2018a). Maintenance and test concept for electrical motors.
- (2018b). Maintenance and test concept for positive displacement pumps.
- (2019a). AVEVA.
- (2019b). SAP.
- Aker BP Digitalization (2019). URL: <https://akerbp.sharepoint.com/sites/BU-IMP/SitePages/Digit.aspx?web=1> (sjekket 25.03.2019).
- Aker BP signs “data liberation contract” (2018). URL: <https://www.akerbp.com/aker-bp-signs-data-liberation-contract/> (sjekket 25.03.2019).
- Aune, Oddbjørn (2019). Intervju 04.10.
- Barrett, Michael og Matt McMahon (2019). Analytical Ferrography - Make It Work For You. URL: </Read/5/analytical-ferrography> (sjekket 18.05.2019).
- Beebe, Raymond S. (2004). Predictive Maintenance of Pumps Using Condition Monitoring. Elsevier. 200 s. ISBN: 978-1-85617-408-4.

-
- Bently Nevada (2019). Measurement & Controls. URL: <https://www.industrial.ai/bently-nevada> (sjekket 25.03.2019).
- Bhushan, Bharat (2013). Introduction to Tribology. Google books. John Wiley & Sons. 672 s. ISBN: 978-1-118-40322-8.
- Bhuyan, Manabendra (2017). Intelligent Instrumentation: Principles and Applications. URL: <https://www.crcpress.com/Intelligent-Instrumentation-Principles-and-Applications/Bhuyan/p/book/9781138114357> (sjekket 21.03.2019).
- Bogue, Robert (2013). Sensors for condition monitoring: a review of technologies and applications. Sensor Review; Bradford 33.4, s. 295–299. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/SR-05-2013-675>. URL: <https://search.proquest.com/docview/1427381320/abstract/623BEA94496A4E08PQ/1> (sjekket 14.03.2019).
- Britannica Academic (2019). centrifugal pump. URL: <https://academic.eb.com/levels/collegiate/article/centrifugal-pump/22101> (sjekket 29.04.2019).
- Brown, D. E., A. Abbasi og R. Y. K. Lau (2015). Predictive [Guest editors' introduction]. IEEE Intelligent Systems 30.2, s. 6–8. ISSN: 1541-1672. DOI: 10.1109/MIS.2015.32.
- Bua, Svein, Magnus Dalva og Olav Thorsen (2019). Nasjonalbiblioteket. URL: https://www.nb.no/items/URN:NBN:no-nb_digibok_2014050805163?page=9 (sjekket 26.03.2019).
- Buntz, Brian (2019). Of Predictive Maintenance, AI and Industrial Revolutions. URL: <https://www.iiotworldtoday.com/2019/04/18/predictive-maintenance-and-predicting-industrial-revolutions/> (sjekket 09.05.2019).
- Bye, Per I. (2009). Vedlikehold og driftssikkerhet.
- Byggestart Valhall Flanke Vest (2019). URL: <https://www.akerbp.com/byggestart-for-valhall-flanke-vest/> (sjekket 25.03.2019).
- Cambridge Dictionary (2019). URL: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/best-practice> (sjekket 18.05.2019).
- Carroll, James mfl. (2019). Wind turbine gearbox failure and remaining useful life prediction using machine learning techniques. Wind Energy 22.3,

-
- s. 360–375. ISSN: 1099-1824. DOI: 10.1002/we.2290. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/we.2290> (sjekket 11.05.2019).
- Cognite homepage (2019). Cognite. URL: <https://www.cognite.com/> (sjekket 25.03.2019).
- Dale, Blann (2013). Maximizing P-F Interval Through Condition-Based Maintenance. URL: <https://www.maintworld.com/Applications/Maximizing-the-P-F-Interval-Through-Condition-Based-Maintenance> (sjekket 08.03.2019).
- Databases theory and applications (2016). New York, NY: Springer Berlin Heidelberg.
- Do van, Phuc mfl. (2012). Remaining useful life (RUL) based maintenance decision making for deteriorating systems. IFAC Proceedings Volumes. 2nd IFAC Workshop on Advanced Maintenance Engineering, Services and Technology 45.31, s. 66–72. ISSN: 1474-6670. DOI: 10.3182/20121122-2-ES-4026.00029. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667015338970> (sjekket 11.05.2019).
- Duran-Ros, M. mfl. (2008). Definition of a SCADA system for a microirrigation network with effluents.
- Eagle Burgman (2019). Sealing Solutions. URL: <http://eagleburgmann.no/mechanical-seals> (sjekket 25.03.2019).
- Electric motor (2019). Wikipedia. Page Version ID: 895994321. URL: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Electric_motor&oldid=895994321 (sjekket 08.05.2019).
- Elektrisk motor (2019). Wikipedia. Page Version ID: 19237347. URL: https://no.wikipedia.org/w/index.php?title=Elektrisk_motor&oldid=19237347 (sjekket 02.04.2019).
- Energidepartementet, Olje-og (2018). Godkjente utbyggingsplaner for Valhall Flanke Vest og Skogul. URL: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/godkjente-utbyggingsplaner-for-valhall-flanke-vest-og-skogul/id2594992/> (sjekket 25.03.2019).
- Eriksen, Linn (2019). Smart Maintenance, s. 1.
-

-
- Espinosa, Edward (2019). Why PdM programs fail and how to keep yours alive. URL: <https://www.plantservices.com/articles/2013/08-why-pdm-programs-fail/> (sjekket 11.03.2019).
- European association of pump manufacturers (2013). Pump vibration standards guidelines. URL: <https://europump.net/uploads/Guidelines%20n%20Pump%20Vibration%20First%20edition%20Final%20July%202013.pdf>.
- Evans, James R. og Carl H. Lindner (2012). Business Analytics. URL: http://www.cbpp.uaa.alaska.edu/afef/business_analytics.htm (sjekket 12.03.2019).
- Åkergren, Tore og Lise Pettersen Sletta (2019). Intervju 04.09.
- Fitch, Jim (2004). The Basics of Used Oil Sampling. URL: <https://www.machinerylubrication.com/Read/650/used-oil-sampling> (sjekket 10.05.2019).
- Framo (2019). Submersible pumps. Framo. URL: <https://www.framo.com/About-Framo/about-us/> (sjekket 25.03.2019).
- Ghosh, Paramita (2017). Limitations of Predictive Analytics: Lessons for Data Scientists. URL: <https://www.dataversity.net/limitations-predictive-analytics-lessons-data-scientists/> (sjekket 09.05.2019).
- Hashemian, H. M. (2011). State-of-the-Art Predictive Maintenance Techniques. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 60.1, s. 226–236. ISSN: 0018-9456. DOI: 10.1109/TIM.2010.2047662.
- Hass, Prof. Jeffrey (2018). Chapter Five: Principles of Digital Audio. URL: http://www.indiana.edu/~emusic/etext/digital_audio/chapter5_nyquist.shtml (sjekket 07.05.2019).
- Høyland, Arnljot og Marvin Rausand (2009). System Reliability Theory: Models and Statistical Methods. John Wiley & Sons. 667 s. ISBN: 978-0-470-31774-7.
- Historien om Aker BP (2019). Historien om Aker BP — Aker BP ASA. URL: <https://www.akerbp.com/historien-om-aker-bp/> (sjekket 19.05.2019).

-
- HPcp Barrel Casing Pump (2016). URL: https://sulzer.com/-/media/files/products/pumps/radial-split-pumps/brochures/hpcp_barrelcasingpump_en_e10177_6_2016_web.ashx.
- Hughes, Kevin (2019). Invicta AS. Invicta. URL: <https://www.invicta.no/invicta-as/> (sjekket 25.03.2019).
- Institute, Mobius (2016). Vibration Analysis Training Manual.
- International Standard (2009). ISO 10816-3 Mechanical vibration. URL: <https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=10816>.
- (2017). ISO 4406: Hydraulic fluid power - Fluids - Method for coding the level of contamination by solid particles. URL: <https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=4406>.
- Interndokument Aker BP (2019). Flytskjema for behandling av notifikasjoner og arbeidsordre på Ivar Aasen.
- Intervju Cognite (2019). I samarb. med Tord Leth-Olsen.
- Intervju Cognite (2019). I samarb. med Cognite.
- Invicta (2019). Smøreoljeanalyse. E-mail.
- Ivar Aasen styres nå fra land (2019). URL: <https://www.akerbp.com/ivar-aasen-styres-na-fra-land/> (sjekket 25.03.2019).
- Karsten Moholt AS/Kjell Puntervold (2019). E-mail.
- Kulelager (2018). Wikipedia. Page Version ID: 18570434. URL: <https://no.wikipedia.org/w/index.php?title=Kulelager&oldid=18570434> (sjekket 02.04.2019).
- Larsen, Jone (2019). Kartlegging av PdM muligheter på Skarv.
- Leon, Camilla (2018). Digitalization in Aker BP, s. 18.
- Lindrupsen, Terje og Katrine D. Sandbakk (2019). Prediktivt vedlikehold [intervju] (06 03 2019).
- Ludeca, Trent Phillips (2019). 11 steps to ensure PdM success. Plant Services. URL: <https://www.plantservices.com/articles/2012/02-11-steps-to-ensure-pdm-success/> (sjekket 13.03.2019).
- Manners, David (2018). MathWorks launches Predictive Maintenance Toolbox. Electronics Weekly. URL: <https://www.electronicsworld.com>.
-

-
- com/news/business/mathworks-launches-2018-06/ (sjekket 18.05.2019).
- Marr, Bernard (2018). What is Industry 4.0? Here's A Super Easy Explanation For Anyone. *Forbes*. URL: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/09/02/what-is-industry-4-0-heres-a-super-easy-explanation-for-anyone/> (sjekket 13.03.2019).
- Martin, Georg mfl. (2018). Methodical Evaluation of Sensor Positions for Condition Monitoring of Gears.
- Mobley, R. Keith (2002). *Introduction to Predictive Maintenance*. Oxford, UNITED STATES: Elsevier Science & Technology. ISBN: 978-0-08-047869-2. URL: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/ntnu/detail.action?docID=293982> (sjekket 13.03.2019).
- Mobley, R. Keith og William W. Cato (2002). *Computer-Managed Maintenance Systems : Effective Management of Maintenance, Labor, and Inventory*. URL: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/ebookviewer/ebook/ZTIzMHh3d19fMjA5MzIwX19BTg2?sid=944543a3-4b76-4185-b7c3-8f7dde34bd7a@pdc-v-sessmgr03&vid=0&format=EB&rid=1> (sjekket 14.03.2019).
- Mobley, R. Keith, Lindley R. Higgins og Darrin J. Wikoff (2008). *Maintenance engineering handbook*. 7th ed. McGraw-Hill handbooks. New York: McGraw-Hill. ISBN: 978-0-07-154646-1.
- Moholt, Karsten (2019). Karsten Moholt service and repair group - Hvem er vi. Karsten Moholt. URL: <https://karsten-moholt.no/karsten-moholt/> (sjekket 25.03.2019).
- Mustakerov, I. og D. Borissova (2013). An intelligent approach to optimal predictive maintenance strategy defining. 2013 IEEE INISTA. 2013 IEEE INISTA, s. 1–5. DOI: 10.1109/INISTA.2013.6577666.
- Myrset, Ola (2018). Slik skal Røkkes oljeselskap halvere kostnadene. URL: <https://sysla.no/offshore/onsdag-60-ansatte-aker-bp-jobber-bare-med-digitalisering/> (sjekket 25.03.2019).
- Negri, Elisa mfl. (2019). FMU-supported simulation for CPS Digital Twin. *Procedia Manufacturing*. 7th International conference on Changeable, Agi-

-
- le, Reconfigurable and Virtual Production (CARV2018) 28, s. 201–206. ISSN: 2351-9789. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.12.033. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918313763> (sjekket 11.03.2019).
- Nguyen, Ho (2018). What is Predictive Maintenance (PdM)? Its Pros and Cons. URL: <https://blog.trginternational.com/introduction-to-predictive-maintenance-techniques> (sjekket 09.05.2019).
- Om Aker BP (2019). Om oss — Aker BP ASA. URL: <https://www.akerbp.com/om-oss/> (sjekket 19.05.2019).
- Pdm team [intervju] (2019). I samarb. med Qian Chang.
- PdM-Team (2019). Analytics & PdM Team Presentation.
- Pedersen, Viggo (2012). Vedlikehold av oljer på oljetrykkanlegg og generator/trubinlager.
- Pratt, Mary K. (2014). 5 Things You Need to Know. CIO 28.4, s. 20–20. ISSN: 08949301. URL: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=100197351&site=ehost-live> (sjekket 13.03.2019).
- Predictive maintenance strategy (2018).
- Prosyn (2018). Pros and Cons of Predictive Maintenance in the Cloud. Prosyn. URL: <https://www.prosyn.co.uk/it-blog/pros-cons-predictive-maintenance-cloud/> (sjekket 10.05.2019).
- Pump vib. test (2013). URL: <https://www.inspection-for-industry.com/pump-vibration-testing.html> (sjekket 07.05.2019).
- Ravnå, Ruben (2016). Industry 4.0 and Maintenance.
- ResearchGate (2019). Remaining useful life from point A to point B In [10]... ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/figure/remaining-useful-life-from-point-A-to-point-B-In-10-machines-RUL-prediction-is_fig1_323684528 (sjekket 18.05.2019).
- Rå design studio (2019). Cognite – visualisering av dataprosessering. rå design studio. URL: <https://radesignstudio.no/new-gallery> (sjekket 18.05.2019).
-

-
- Rienecker, Lotte og Peter Stray Jørgensen (2013). Den gode oppgaven. Fagbokforlaget.
- Rolstadås, Asbjørn (2014). Praktisk prosjektledelse: fra idé til gevinst. Bergen: Fagbokforl. xiv+420. ISBN: 978-82-450-1690-1.
- Rouse, Margaret (2018). What is big data? - Definition from WhatIs.com. SearchDataManagement. URL: <https://searchdatamanagement.techtarget.com/definition/big-data> (sjekket 13.03.2019).
- (2019). What is internet of things (IoT)? - Definition from WhatIs.com. IoT Agenda. URL: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT> (sjekket 13.03.2019).
- Roylance, B. J. (2005). Ferrography—then and now. Tribology International. Ferrography and Friends - Pioneering Developments in Wear Debris Analysis 38.10, s. 857–862. DOI: 10.1016/j.triboint.2005.03.006. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301679X05000897> (sjekket 19.04.2019).
- Sandbakk, Katrine D. (2019a). Intervju 03.28.
- (2019b). Intervju 04.11.
- (2019c). Notifikasjoner og arbeidsordre - rutiner.
- Sandbakk, Katrine D. og Tore Åkergren (2019). Intervju 04.05.
- SAP Help Portal (2019). What's New: SAP Predictive Maintenance and Service, on-premise edition Feature Pack 05. URL: <https://help.sap.com/viewer/0f781a828d7e404bbe6ee981b354b963/1.0.5/en-US/0ca7b62d21a8424a9289594272fcbe00.html> (sjekket 08.05.2019).
- SAP Predictive Maintenance and Service (2019). SAP. URL: <https://www.sap.com/products/predictive-maintenance/features.html> (sjekket 08.05.2019).
- Scheffer, Cornelius og Paresh Girdhar (2004). Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance. Google-Books-ID: tAvTO1t2mwkC. Elsevier. 263 s. ISBN: 978-0-08-048022-0.
- Shao, G., S. Shin og S. Jain (2014). Data analytics using simulation for smart manufacturing. Proceedings of the Winter Simulation Conference, s. 2192–2203. DOI: 10.1109/WSC.2014.7020063.

-
- Sheila Kennedy CMRP, contributing (2019). 7 critical success factors that keep strong PdM programs on track. Plant Services. URL: <https://www.plantservices.com/articles/2016/pdm-7-critical-success-factors-that-keep-strong-pdm-programs-on-track/> (sjekket 13.03.2019).
- Siemens (2018). Wikipedia. Page Version ID: 18863890. URL: <https://no.wikipedia.org/w/index.php?title=Siemens&oldid=18863890> (sjekket 25.03.2019).
- Slevin, Bob (2018). Addressing the data challenges in the Digital Twin. Open-Text Blogs. URL: <https://blogs.opentext.com/addressing-the-data-challenges-in-the-digital-twin/> (sjekket 08.05.2019).
- Sofronas, Anthony (2012). Case Histories in Vibration Analysis and Metal Fatigue for the Practicing Engineer. Somerset, UNITED STATES: John Wiley & Sons, Incorporated. URL: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/ntnu/detail.action?docID=894406> (sjekket 13.03.2019).
- spectral (2018). Industry 4.0 and how smart sensors make the difference. URL: <https://www.spectralengines.com/whats-new/industry-4-0-and-how-smart-sensors-make-the-difference> (sjekket 06.05.2019).
- Standard Norge (2002). NS-EN ISO 5199 Tekniske spesifikasjoner for sentrifugalpumper klasseII. URL: <https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=5199&subscr=1>.
- (2017). NORSOK Z-008 Risk based maintenance and consequence classification. URL: <https://www.standard.no/nettbutikk/soke%20resultater/?search=z-008>.
- (2019). NS-EN 13306 Vedlikehold - Vedlikeholdsterminologi. Den europeiske standardiseringsorganisasjonen. URL: <http://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=13306&subscr=1>.
- Steele, Carmen (2018). The Pros and Cons of Digital Divide. Digital Divide Council. URL: <http://www.digitaldividecouncil.com/digital-divide-the-pros-and-cons/> (sjekket 10.05.2019).
-

-
- Steria Sopra, Julie Dahl og Martin Hettervik (2017). Maskinlæring: Neste steg etter Big Data. Computerworld. URL: <http://www.cw.no/artikkel/kronikk/kronikk-maskinlaering-neste-steg-etter-big-data> (sjekket 09.05.2019).
- Strategic partnerships and alliances (2019). URL: <https://akerbp.share%20point.com/sites/The-Alliance-Concept/SitePages/Alliances-and-strategic-partners.aspx?web=1> (sjekket 25.03.2019).
- Studios, Remi (2019). Remaining Useful Life in Predictive Maintenance. Remi Studios. URL: <https://medium.com/@RemiStudios/remaining-useful-life-in-predictive-maintenance-ffc91d7e4a97> (sjekket 18.05.2019).
- Sulzer (2019). Our company. URL: <https://www.sulzer.com/en/about-us/our-company> (sjekket 25.03.2019).
- Tjenester (2019). MainTech. URL: <http://www.maintech.no/tjenes%20ter/> (sjekket 25.03.2019).
- Trana, Martin D. mfl. (2018). Prediktivt vedlikehold –muligheter i NTEs kraftverk.
- Tyagi, Ashish og Jay Rajagopal (2017). Predictive Analytics. Midstream Business; Houston 7.3, s. 65–66, 68–69. ISSN: 23290692. URL: <https://search.proquest.com/docview/1899688769/abstract/A21921DE7434DE1PQ/1> (sjekket 13.03.2019).
- Vasilyevich, Evgeny (2018). Problems of Economic Security for Digital Society in the Context of Globalization.
- Vedlikeholdsstrategi Ivar Aasen - 0013 (2016). Dokumentnummer: DN02-DN-Z-KA-0013.
- Vedlikeholdsstrategi Ivar Aasen - 0017 (2016). Dokumentnummer: DN02-DN-Z-KA-0017.
- Vedlikeholdsstrategi Ivar Aasen - 0018 (2016). Dokumentnummer: DN02-DN-Z-KA-0018.
- Veiledning (2019). I samarb. med Viggo Pedersen.
- Water Injection pump - Condition monitoring P&ID (2018). Dokumentnummer: DN02-S10460-P-XB-2901-05.

Water Injection Pump Operation Manual (2016).

World Economic Forum (2017). Oil and gas industry white paper. URL: <http://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/dti-oil-and-gas-industry-white-paper.pdf> (sjekket 11.03.2019).

Wortmann, Felix (2015). Internet of Things.

Xi, Wenkui mfl. (2018). Restoration of online video ferrography images for out-of-focus degradations. EURASIP Journal on Image and Video Processing; New York 2018.1, s. 1–11. ISSN: 16875176. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/s13640-018-0270-1>. URL: <https://search.proquest.com/docview/2039197887/abstract/144502C1E63D4E1DPQ/1> (sjekket 19.04.2019).

Xu, Y. mfl. (2019). A Digital-Twin-Assisted Fault Diagnosis Using Deep Transfer Learning. IEEE Access 7, s. 19990–19999. ISSN: 2169-3536. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2890566.

Yan, J. mfl. (2017). Industrial Big Data in an Industry 4.0 Environment: Challenges, Schemes, and Applications for Predictive Maintenance. IEEE Access 5, s. 23484–23491. ISSN: 2169-3536. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2765544.

Yang, Z. mfl. (2006). A Fault Prediction Approach for Process Plants using Fault Tree Analysis in Sensor Malfunction. 2006 International Conference on Mechatronics and Automation. 2006 International Conference on Mechatronics and Automation, s. 2415–2420. DOI: 10.1109/ICMA.2006.257729.

Vedlegg

Vedlegg 1: Populærvitenskapelig artikkel

Vedlegg 2: Forprosjekt

Digitalisering – hva kan det brukes til i praksis?

Skrevet av:

Martin Dahlen Trana, Simon Folkman Hedland, Robin Rolfsen og Joachim Olsen



Figur 1: Ivar Aasen-plattformen [1]

Sammendrag

En gruppe på fire NTNU-studenter har sett på hvordan oljeselskapet Aker BP kan utnytte såkalt tilstands- og driftsdata til å forutse når de bør utføre vedlikehold. Denne formen for vedlikehold kalles prediktivt vedlikehold, og benytter såkalt prediktiv analyse for å spå fremtidig vedlikeholdsbehov.

Introduksjon

Det er mye snakk om digitalisering for tiden. Det har dog en tendens til å bli litt høytflyvende og lite konkret. Vi er en gruppe på fire NTNU-studenter som har gjennomført en studie der vi ønsker å vise et eksempel på hva denne såkalte digitaliseringen kan bety i praksis.

Vanninjeksjon er et vanlig fenomen i oljeproduksjon. Sjøvann pumpes ned i oljereservoaret for å presse opp oljen og opprettholde trykket i reservoaret. Etter at Ivar Aasen-plattformen i Nordsjøen (Figur 1) ble satt i drift på julaften 2016, har injisering av vann i oljereservoaret vist seg å være viktigere enn først antatt. Derfor har pumpen som sørger for denne vanninjeksjonen vist seg å være en veldig viktig komponent på plattformen. [2] Vi har derfor utført en studie der vi ønsker å se på hvordan data som samles inn fra pumpen kan

bidra til å sikre at pumpen ikke får et uforutsett havari.

Mål

Målet med denne studien har vært å vise konkrete eksempler på hvordan innsamlet tilstands- og driftsdata fra vanninjeksjonssystemet kan utnyttes for å bidra til å forutse når det er behov for å utføre vedlikehold på vanninjeksjonspumpen.

Metode

For å gjøre dette har vi gjennomført en såkalt litteraturstudie, der vi har lest oss opp på mange ulike tema som denne formen for vedlikehold omfatter. Dette har lagt et godt grunnlag for hva vi har måttet sett nærmere på når vi skal utføre denne studien. Videre har vi gjennomført en ståstedsanalyse der vi har kartlagt det tekniske systemet som omfatter vanninjeksjon. Vi har

spesielt sett på tilstandsovervåking og data som samles inn fra vanninjeksjonspumpen, for å få en oversikt over hvilke data vi har å jobbe med. Vi har også gjennomført en rekke intervjuer av personer i Aker BP, for å få en oversikt over hvordan Aker BP utfører vedlikehold av vanninjeksjonspumpen på Ivar Aasen i dag.

Prediktiv analyse

I prediktivt vedlikehold benyttes prediktiv analyse for å forutse et vedlikeholdsbehov. Prediktiv analyse er bruk av statistiske- eller maskinlæringsmetoder for å gjøre spådommer om fremtidig eller ukjente utfall. Prediktive modelleringsteknikker har blitt brukt for datautvinning i samfunnet i flere tiår, men har de senere år blitt mer aktuelt på grunn av utviklingen innen digital teknologi. [3]

Resultater

På vanninjeksjonspumpen på Ivar Aasen overvåkes vibrasjonsnivå og temperatur på lagrene, hastighet på bevegelige deler og det utføres oljeanalyser. [4] På bakgrunn av den utførte ståstedsanalysen mener vi det utføres tilstrekkelig tilstandsovervåking for å kunne bruke denne dataen i prediktivt vedlikehold. Vi mener det ligger godt til rette for at Aker BP kan nyttiggjøre dataen de samler inn til å forutse når de bør utføre vedlikehold på vanninjeksjonspumpen.

Diskusjon

Det holder imidlertid ikke å ha masse data. Man må også vite hvordan man skal bruke dataen. Vi har i vår oppgave vist eksempler på vedlikeholdstekniske analysemetoder som den innsamlede dataen kan anvendes i. Dette inkluderer forskjellige typer vibrasjonsanalyse, oljeanalyse og eksempler på hvordan dataen bør ses i sammenheng. Videre kreves det kompetanse for å bygge opp datamodeller og algoritmer som skal analysere denne dataen videre. Det kreves også at man har god kontroll på målekjeden, slik at data som samles inn faktisk representerer den fysiske tilstanden på utstyret.

Konklusjon

Vi har også sett på hvordan prediktivt vedlikehold på vanninjeksjonspumpen kan organiseres. Resultatene fra ståstedsanalysen viser at den mest hensiktsmessige måten å innføre prediktivt vedlikehold på, er via et samarbeid med leverandører og eksterne aktører som yter vedlikeholdsstøtte på Ivar Aasen. Prediktivt vedlikehold er ressurskrevende. Det krever at man har ekspertkompetanse innen mange felt. [5] Vi mener derfor at det er hensiktsmessig å samarbeide med aktører som er eksperter på sitt felt. Leverandører av utstyret har ofte bedre kunnskap om det utstyret de leverer enn det brukerne av utstyret klarer å ha.

Det er imidlertid viktig at man har en forretningsmodell som legger opp til at begge parter skal tjene på et slikt samarbeid. Aker BP har den siste tiden inngått såkalte «smartkontrakter» med ulike leverandører. Disse kontraktene går kort forklart ut på at leverandørene får tilgang til data fra utstyret de leverer, slik at de kan bruke denne til å forbedre produktene og tjenestene sine. I stedet for at Aker BP kjøper en pumpe, kjøper de oppetid. Denne forretningsmodellen legger opp til at begge parter skal tjene på at utstyret fungerer best mulig. [6] Vi mener derfor at dette kan være en god måte å organisere det prediktive vedlikeholdet på. Det er dog viktig at leverandørene som yter vedlikeholdsstøtte samarbeider både med Aker BP og seg mellom. Prediktivt vedlikehold krever at man ser på all relevant data i et helhetsperspektiv. Vi mener derfor det er essensielt at det etableres et godt samarbeid mellom aktørene som skal bidra i det prediktive vedlikeholdet.

Referanser

- [1] Cognite
- [2] Terje Lindrupsen, Aker BP, 2019 Intervju.
- [3] Brown, D. E., A. Abbasi og R. Y. K. Lau. (2015) Predictive [Guest editors' introduction]. IEEE Intelligent Systems.
- [4] Katrine D. Sandbakk, Aker BP, 2019 Intervju.
- [5] Pratt, Mary K. (2014) 5 Things You Need To Know URL: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=100197351&site=ehost-live>
- [6] (2019) Pumpe-data fra Framo skal booste Ivar Aasen. URL: <https://petro.no/nyheter/pumpe-data-framo-booste-ivar-aasen>

FORPROSJEKT

ET FORARBEID OG PLANLEGGING AV BACHELOROPPGAVEN ”INNFØRING AV PREDIKTIVT VEDLIKEHOLD PÅ
VANNINJEKSJONSPUMPEN TIL IVAR AASEN”.

Av

ROBIN ROLFSEN

JOACHIM OLSEN

MARTIN DAHLEN TRANA

SIMON FOLKMAN HEDLAND

*Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Trondheim*

Innhold

1	Mål og rammer	3
1.1	Orientering	3
1.2	Problemstilling	3
1.3	Resultatmål	3
1.4	Effekt mål	4
1.5	Rammer	4
2	Organisering	5
2.1	Aktører som er med	5
3	Gjennomføring	5
3.1	Hovedaktiviteter	5
3.2	Metode	5
3.3	Milepæler	5
4	Oppfølging og kvalitetssikring	6
4.1	Kvalitetssikring	6
4.2	Følgende dokumenter brukes for å kvalitetssikre arbeidet underveis	6
4.3	Rapportering	6
4.4	Interessentanalyse	7
5	Risikovurdering	8
5.1	Risikomatrise	8
6	Vedlegg	9
6.1	Adresseliste	9
6.2	Gruppeavtale	10
6.3	Gantt diagram	12

6.4 Aksjonsliste 13

7 Referanser **15**

Dette forprosjektet er basert på ”mal forprosjekt” (*Håndbok for bacheloroppgaven ved ingeniørutdanningen NTNU*(2018))

1 Mål og rammer

1.1 Orientering

Denne gruppen består av fire bachelor ingeniørstudenter fra NTNU. En studerer maskiningeniør med spesialisering i drift og vedlikehold og tre studerer olje- og gassteknologi. Vi ønsket å ha en bacheloroppgave om drift og vedlikehold i oljeindustrien og syns tanken på en tverrfaglig bacheloroppgave med flere studieretninger hørtes spennende ut. Vi diskuterte flere mulige tema og landet til slutt på at vi ønsket en oppgave om prediktivt vedlikehold.

Gruppen tok kontakt med Aker BPs avdeling i Trondheim for å undersøke muligheten for å skrive en oppgave om valgt tema med bedriften. Vi hadde et møte med Aker BP og ble enig om at vanninjeksjonssystemet på oljeplattformen Ivar Aasen var et aktuelt område å undersøke mulighetene for prediktivt vedlikehold på.

1.2 Problemstilling

Hvordan kan AkerBP nyttiggjøre seg av tilgjengelig tilstands- og driftsdata fra vanninjeksjonssystemet i innføring av prediktivt vedlikehold på vanninjeksjonspumpen på oljeplattformen Ivar Aasen?

1.3 Resultatmål

Utarbeide en rapport som inneholder, men ikke begrenser seg til følgende:

1. Beskrivelse av prediktivt vedlikehold
 - 1.1. Definisjon og kort beskrivelse av prediktivt vedlikehold
 - 1.2. Sammenheng mellom tilstandskontroll, prediktivt vedlikehold og remaining useful life.
 - 1.3. Kort beskrivelse av relevante analyseverktøy/-metoder.
 - 1.4. Generelle suksesskriterier og suksessfaktorer for innføring av prediktivt vedlikehold.
2. Utarbeide en ståstedsanalyse med beskrivelse av:
 - 2.1. Selskapets vedlikeholdsstrategi med spesielt fokus på prediktivt vedlikehold
 - 2.2. Hvordan selskapet forstå prediktivt vedlikehold.
 - 2.3. Med tanke på prediktivt vedlikehold beskrive:
 - 2.3.1 Hvilke ressurser som finnes.
 - 2.3.2 Hva som er gjort.

2.3.3 Hva som er planlagt.

3. Kort beskrivelse av vanninjeksjonspumpen, herunder:
 - 3.1. Eksisterende vedlikeholdsprogram.
 - 3.2. Eksisterende tilstandskontrollsystemer/-metoder.
 - 3.3. Oversikt over tilstands- og driftsdata som samles inn (type, format, egnethet for videre analyse).
 - 3.4. Vedlikeholdsstyringssystemene som berører vanninjeksjonspumpen.
4. Sammenligne funn gjort i ståstedsanalysen opp mot beskrivelser av suksesskriterier og suksessfaktorer for prediktivt vedlikehold fra resultatmål 1.
 - 4.1. På bakgrunn av dette gi anbefalinger om:
 - 4.1.1 Hvordan eksisterende tilstandsmålinger, -data og systemer kan utnyttes på en bedre måte for å kunne innføre prediktivt vedlikehold på vanninjeksjonspumpen på Ivar Aasen.
 - 4.1.2 Eventuelt tiltak som bør iverksettes.

1.4 Effektmål

1. Produsere en bacheloroppgave som kan gi bedriften økt kunnskap og innsikt. Kunnskapen som avdekkes i oppgaven skal ideelt sett kunne anvendes til å effektivisere vedlikeholdet av vanninjeksjonspumpen på Ivar Aasen.
2. Heve den faglige kompetansen til gruppe medlemmene om olje- og gasssektoren og vedlikehold, samt opparbeide relevant industrierfaring.
3. Kunne søke jobb eller videre utdanning med god karakter og positive erfaringer fra bacheloroppgaven.

1.5 Rammer

1. Gruppen har behov for kontorplass hos Aker BP og NTNU.
2. Det er behov for å anvende Aker BP sine tekniske systemer.
3. Hvert medlem skal jobbe omtrent 500 arbeidstimer.
4. Oppgaven skal ferdigstilles 20. mai.

2 Organisering

2.1 Aktører som er med

Marte Sørtveit Mørkve - Veileder fra olje og gass, NTNU

Viggo Gabriel Borg Pedersen - Veileder fra drift og vedlikehold, NTNU

Katrine Dretvik Sandbakk - Kontaktperson og veileder hos Aker BP

Bachelorgruppe 3

3 Gjennomføring

3.1 Hovedaktiviteter

Vi ser på resultatmålene som hovedaktiviteter med tilhørende underaktiviteter. Vi arbeider med aktivitetene ved bruk av aksjonsliste. I aksjonslisten nummereres aktivitetene med tilhørende beskrivelse, ansvarlig person og tidsfrist for aktiviteten. I tillegg har vi utarbeidet en mal for strukturering av møter, der vi diskuterer de ulike aktivitetene før de føres inn i aksjonslisten. Her vil vi gå gjennom de nødvendige forutsetningene for at aktivitetene skal gjennomføres. Vi planlegger å foreta en idémyldring om hver aktivitet i plenum før aktivitetene tildeles ansvarlig person, for å utnytte kunnskapen gruppen besitter og kartlegge hvem som har best forutsetninger for å utføre aktiviteten.

3.2 Metode

Gruppen skal innhente litteratur og kunnskap med varsom bedømming av kilder. Hovedsaklig skal vi bruke NTNU sitt trykte og elektroniske bibliotek, Oria. Man kan også bruke google scholar, men hver artikkel må bedømmes individuelt. Artikkelens troverdighet styrkes dersom den har et høyt antall siteringer. Med hensyn til komponenter og maskiner søker man teknisk data hos leverandøren og i Aker BP sine egne tekniske systemer. Disse metodene skal særlig benyttes for å oppnå resultatmål 1.

Under ståstedsanalysen, resultatmål 2, skal kvalitative intervjuer med veileder og avdeling for prediktivt vedlikehold i bedriften utgjøre et viktig grunnlag. Gruppen mener at det er mest hensiktsmessig å intervju flere personer i Aker BPs organisasjon for å dekke flere oppfatninger og mest mulig informasjon både fra et praktisk og teoretisk synspunkt.

3.3 Milepæler

Kritiske tidsfrister fremkommer av Gantt-skjema, se vedlegg 6.3.

4 Oppfølging og kvalitetssikring

4.1 Kvalitetssikring

For å sikre god kvalitet på rapporten ønsker gruppen at bedriften underveis skal evaluere den.

Jevnlig oppfølging av veileder på NTNU skal også være med på å sikre at gruppen er på rett spor og produserer hensiktsmessig innhold.

Hvert medlem har også ansvar for å lese tekstene som produseres av de andre medlemmene med hensyn til kriterier for bacheloroppgave.

4.2 Følgende dokumenter brukes for å kvalitetssikre arbeidet underveis

- Bachelormanual: Et førende dokumenter for studenter som skriver bacheloroppgave ved NTNU.
- Mal for møtereferat: Skal brukes under alle møter for å sikre effektiv og hensiktsmessig struktur under møter, samt registrere møtets innhold.
- Aksjonsliste: Liste med beskrivelse av aktiviteter, ansvarlig person og tidsfrist for aktiviteten. Hensikten er å holde kontroll på forskjellige aktiviteter underveis i arbeidet.

4.3 Rapportering

Det skal leveres statusrapport til veilderne fra NTNU på slutten av hver måned. Statusrapporten skal inneholde status for prosjektarbeidet, samt gjøremål for neste periode. Det skal utarbeides møtereferat under hvert møte. Møtereferater skal tilgjengeliggjøres for gruppen via plattformen Microsoft Teams. Aksjonsliste brukes aktivt under møter. Ved avvik fra aksjonslisten utarbeides avvikskjema og tiltak iverksettes.

4.4 Interessentanalyse

Tabell 1: Interessentanalyse (UiO, 2018)

Interessent	Interesse i prosjektet	Innflytelse (H, M, L)	Muligheter/ trusler
Viggo Gabriel Borg Pedersen	<ul style="list-style-type: none"> - Uteksaminere studenter på vegne av NTNU - Veilede studenter - Akademisk renommé 	Høy	Har mulighet til å påvirke kvaliteten på oppgaven i stor grad i form av hyppig veiledning. Dersom han er fraværende kan kvaliteten svekkes og oppgaven ledes i feil retning.
Marte Sørtveit Mørkve	<ul style="list-style-type: none"> - Bygge erfaring som veileder - Fremme institutt for materialteknologi - Uteksaminere studenter på vegne av NTNU 	Middels	Veileder gruppen i liten grad, men kan bidra som en ekstra ressurs ved å respondere på statusrapporter og innleveringer underveis for å påvirke oppgaven positivt.
Katrine Dretvik Sandbakk	<ul style="list-style-type: none"> - Erfaring som veileder - Arbeidskraft - Inspirasjon 	Høy	Kan veilede studentene til å produsere en oppgave som tilfredsstillende både Aker BP og NTNU. Oppgavens kvalitet kan påvirkes negativt dersom Katrine ikke har kapasitet til å veilede gruppen.
Aker BP	<ul style="list-style-type: none"> - Samfunnsplikt - Økonomi - Arbeidskraft - Renommé - Innovasjon 	Middels	Anvende oppgavens funn og ideer for å få nye perspektiver. Oppgavens kvalitet kan forringes dersom veiledning ikke prioriteres.
NTNU	<ul style="list-style-type: none"> - Prestisje og renommé - Uteksaminere studenter - Offentlig støtte 	Middels	Denne aktøren er ansvarlig for valg av sensor, som igjen påvirker kvaliteten på oppgaveevalueringen.
Bachelorgruppen	<ul style="list-style-type: none"> - Stille bedre rustet til jobbsøking - Oppnå en god karakter - Økt kunnskapsnivå - Opparbeide relevant erfaring 	Høy	Har mulighet til å påvirke oppgaven i meget stor grad i form av arbeidet som legges ned. Uenighet, splid eller sykdom i gruppen kan redusere oppgavens kvalitet.

5 Risikovurdering

5.1 Risikomatrise

Sannsynlighet	Konsekvens				
	Ufarlig	Mindre farlig	Farlig	Kritisk	Katastrofalt
Svært høy					
Høy				10	
Medium			5, 6, 7	1, 2	3
Lav			8	4, 9	
Svært lav					

1.	Veileder fra studiet blir utilgjengelig
2.	Veileder fra bedrift blir utilgjengelig
3.	Vi klarer ikke å få tak i den informasjonen vi trenger for å utføre oppgaven
4.	Uenigheter i gruppa forstyrrer samarbeidet
5.	Gruppemedlemm(er) blir utilgjengelig
6.	Får ikke kontorplass på AkerBP
7.	Får ikke kontorplass på campus
8.	Oppgaven blir for omfattende
9.	Vi blir forsinket
10.	Bedriften har ikke tid til å gi oss veiledning

Figur 1: Risikomatrise (Safetyrisk, 2016)

6 Vedlegg

6.1 Adresseliste

Navn: Simon Folkman Hedland

Firma: NTNU

Telefon: 45276082

Epost: simonfh@stud.ntnu.no

Adresse: Jørgen Bjelkes gate 11, 7016 Trondheim

Navn: Joachim Olsen

Firma: NTNU

Telefon: 90926924

Epost: joachiol@stud.ntnu.no

Adresse: Othilienborgtunet 11, 7033 Trondheim

Navn: Martin Dahlen Trana

Firma: NTNU

Telefon: 47846913

Epost: martindt@stud.ntnu.no

Adresse: klæbuveien 126, 7031 Trondheim

Navn: Robin Rolfsen

Firma: NTNU

Telefon: 95271861

Epost: robiro@stud.ntnu.no

Adresse: Harry Borthens vei 7B, 7040 Trondheim

6.2 Gruppeavtale

Gruppeavtale

Simon F. Hedland. Joachim Olsen. Robin Rolfsen. Martin Dahlen Trana.

21. Januar 2019

1 Bakgrunn

Gruppeavtalen skal være et førende dokument for arbeidet med bacheloroppgaven. Alle gruppens medlemmer har deltatt i utformingen av dette dokumentet. Avtalen skal sikre at hvert medlem og gruppen i sin helhet yter i henhold til føringene for bacheloroppgaven.

2 Gyldighet

Avtalen trer i kraft 21. Januar 2019 og avsluttes ved avlevert oppgave.

3 Møter

Møter i forbindelse med bacheloroppgaven foregår på henholdsvis torsdager og fredager frem til 1. Mars. Fra og med denne datoen kan møter holdes fra mandag til fredag.

Alle gruppens medlemmer skal informeres om møtetider og møteagenda og det skal tilstrebes at alle deltar i planleggingen av møter.

Det skal føres referat av alle møter med bedrift og veileder. Det skal også føres et kort notat om alle avgjørelser som tas på møter som kun er for bachelorgruppen. Referatene skal være tilgjengelig for alle gruppemedlemmene. Det forventes at alle gruppemedlemmer stiller forberedt til møter og til enhver tid utfører oppgaver som er avtalt.

4 Fravær

Gruppens medlemmer skal etterstrebe å møte til avtalt tid, og ved eventuelle avvik som fører til forsinkelser eller forhindrer et medlem i å møte skal det gis beskjed så snart som mulig.

5 Ansvar

Gruppen opererer med flat maktstruktur og ansvaret for arbeidsoppgaver skal fordeles så likt som mulig. Oppgavene har tidsfrister og gruppemedlemmene er pliktige til å levere i henhold til disse. Alle uenigheter om oppgaven avgjøres ved avstemning.

6 Mål for samarbeidet

Gruppens mål og forventning er en hederlig innsats fra hvert medlem slik at vi oppnår et godt resultat på bacheloroppgaven.

Simon F. Hedland 21.1.19 Trondheim

Simon Folkman Hedland
Olje- og gassteknologi

Robin Rolfsen 21.01.2019 Trondheim

Robin Rolfsen
Olje- og gassteknologi

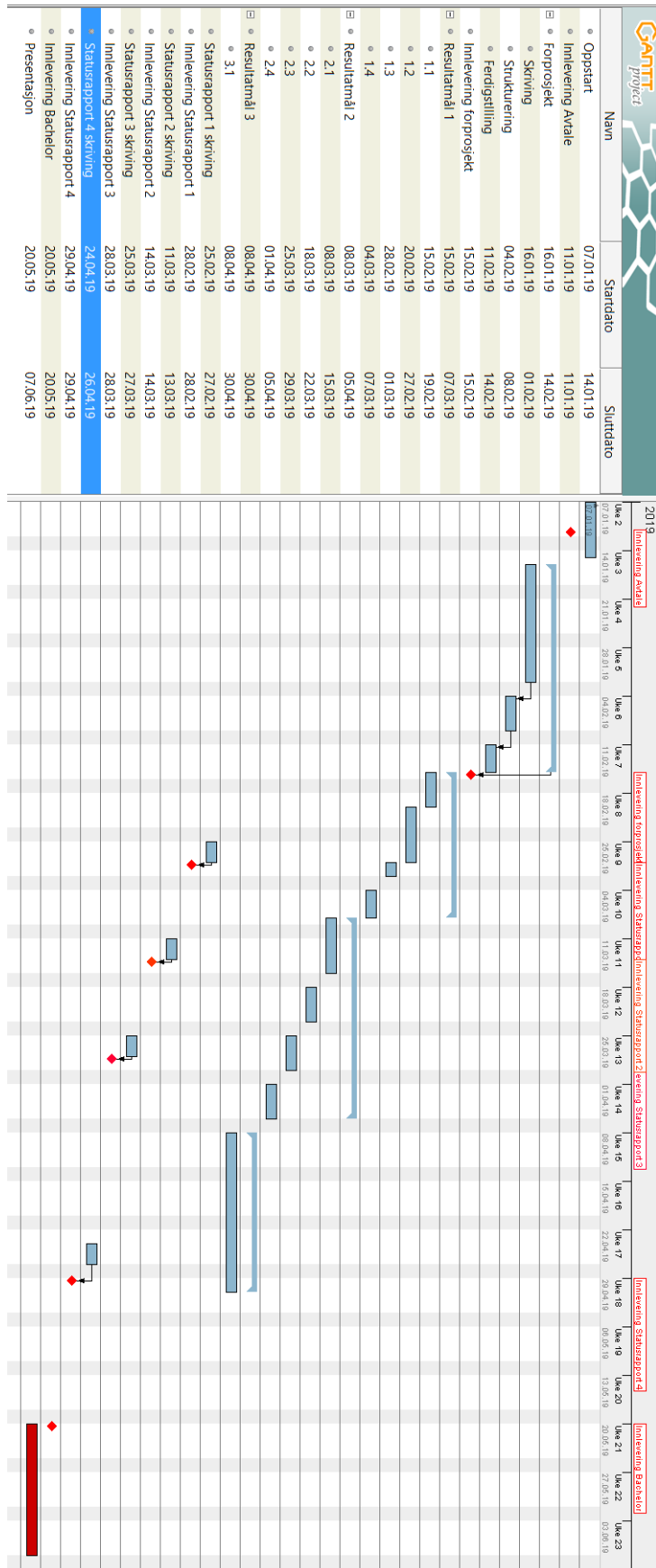
Joachim Olsen 21.1.19 Trondheim

Joachim Olsen
Olje- og gassteknologi

Martin D. Trana 21.01.19 Trondheim

Martin Dahlen Trana
Maskiningeniør

6.3 Gantt diagram



Figur 2: Gantt-diagram (*GanttProject*, 2019)

6.4 Aksjonsliste

Aksjonsliste Hovedoppgaver					
Nr.	Aksjon	Beskrivelse	Ansvarlig	Tidsfrist	Ferdigstilt
1.	Gruppeavtale	Utarbeide bestemte retningslinjer for hvordan gruppen skal jobbe	Hele gruppen	20.1	20.1
2.	Forprosjekt	Prosjektgruppen skal levere et forprosjekt i form av en skriftlig plan for arbeidet. Rapporten skal inneholde mest mulig informasjon om prosjektet og hvordan det skal gjennomføres.	Hele gruppen	14.2	15.2
3.	Resultatmål 1: Beskrivelse av prediktivt vedlikehold.			8.3	
4.	Resultatmål 2: Utarbeide en ståstedsanalyse.			7.4	
5.	Resultatmål 3: Sammenligne funn gjort i ståstedsanalyse med beskrivelser av suksesskriterier og suksessfaktorer for prediktivt vedlikehold.			1.5	
6.	Ferdigstilling av rapporten			19.5	
7.	Muntlig presentasjon av bacheloroppgaven			Slutten av mai	

Aksjonsliste delmål					
Nr.	Aksjon	Beskrivelse	Ansvarlig	Tidsfrist	Ferdigstilt
3.1	Definisjon og kort beskrivelse av prediktivt vedlikehold.	Anvende ISO 13306 til å definere begrepet prediktivt vedlikehold. Beskrivelsen skal omfatte all relevant informasjon.	Joachim, Simon og Robin	20.2	20.2?
3.2	Beskrive sammenheng mellom tilstandskontroll, prediktivt vedlikehold og remaining useful life.	Søke i faglitteratur og standarder for å beskrive.		28.2	
3.3	Kort beskrivelse av relevante analyseverktøy/-metoder.	Aker BP sine egne verktøy og programmer burde kanskje beskrives her.		2.3	
3.4	Generelle suksesskriterier og suksessfaktorer for innføring av prediktivt vedlikehold.	Dette burde vi kanskje ta for oss til sist fordi det er basert på informasjon som kommer frem i de foregående aksjonene.		8.3	
	Videomøte med Aker BP sin avdeling for prediktivt vedlikehold.			19.3	
4.1	Beskrive selskapets vedlikeholdsstrategi med spesielt fokus på prediktivt vedlikehold.	For å kunne si noe om 4.1 og 4.2 må vi spørre Katrine eller Terje fra bedriften.			
4.2	Finne ut hvordan selskapet forstår prediktivt vedlikehold.				
4.3	Med tanke på prediktivt vedlikehold beskrive:	<ul style="list-style-type: none"> •Hvilke ressurser som finnes. •Hva som er gjort. •Hva som er planlagt. 			
4.4	Kort beskrivelse av vanninjeksjonspumpen	<ul style="list-style-type: none"> •Eksisterende vedlikeholdsprogram.2 •Eksisterende tilstandskontrollsystemer/-metoder. •Oversikt over tilstands- og driftsdata som samles inn (type, format, egnethet for videre analyse). •Vedlikeholdsstyringssystemene som berører vanninjeksjonspumpen. 		7.4	
5.1	Gi anbefalinger om:	<ul style="list-style-type: none"> •Hvordan eksisterende tilstandsmålinger, -data og systemer kan utnyttes på en bedre måte for å kunne innføre prediktivt vedlikehold på vanninjeksjonspumpen på Ivar Aasen. •Eventuelt tiltak som bør iverksettes. 		1.5	

Figur 3: Aksjonsliste (Hedland, 2019)

7 Referanser

Håndbok for bacheloroppgaven ved ingeniørutdanningen NTNU (2018) Tilgjengelig fra:
Blackboard, TMAS3001 Bacheloroppgave maskin (Hentet: 09.01.2019)

Safety Risks (2016) Tilgjengelig fra:
<http://safetyrisks.blogspot.com/2016/06/process-of-hirarc-risk-assessment.html> (Hentet: 29. Januar 2019)

GanttProject (2019) Tilgjengelig fra:
<https://www.ganttproject.biz/> (Hentet: 19.01.19)

Universitetet i Oslo (2019) Tilgjengelig fra:
<https://www.uio.no/for-ansatte/arbeidsstotte/prosjekter/prosjektrammeverk/maler-og-verktoy/interessentanalyse/>
(Hentet: 23.01.19)

Hedland, S. F., 2019. Aksjonsliste. Trondheim: Simon Folkman Hedland.

