

Eirik Hove

Smart vedlikehold som en del av fremtidens innovative vedlikeholdssatsning

Juni 2019



Smart vedlikehold som en del av fremtidens innovative vedlikeholdssatsning

Eirik Hove

Undervannsteknologi

Innlevert: Juni 2019

Hovedveileder: Per Schjølberg

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for maskinteknikk og produksjon



Masteroppgave

**Smart vedlikehold som en del av fremtidens
innovative vedlikeholdssatsning**

Fakultet for Ingeniørvitenskap
Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet

Eirik Hove
Våren 2019

Veileder: Per Schjølborg

Oppgavetekst

Oppgaven handler om å belyse teknologiske innovasjoner knyttet til fremtidens innovative vedlikeholdssatsning, hvor smart vedlikehold, sensorer og Industri 4.0 står sentralt. Sentrale innovasjoner som CMMS, expert-system og beslutningsstøtteverktøy skal også introduseres. Oppgaven ønsker videre å presentere et konsept for hvordan en ledende industribedrift kan utnytte teknologisk utvikling innen Industri 4.0, smart vedlikehold og sensorer.

Forord

Som en del av det toårige masterprogrammet i undervannsteknologi ved NTNU skal studenter skrive en masteroppgave i løpet av det siste studieåret. Masteroppgaven står for 30 studiepoeng og er det eneste fokuset i løpet av den siste våren på studieprogrammet. Oppgaven bygger videre på en obligatorisk prosjektoppgave som skrives den foregående høsten. Arbeidet utføres selvstendig av studenten og oppgaven skal leveres i løpet av våren 2019.

Masteroppgaven er utformet og laget av Eirik Hove, student ved det toårige studieprogrammet i undervannsteknologi ved Institutt for maskinteknikk og produksjon, NTNU.

Masteroppgaven er en rapport der teori og praktisk kunnskap knyttet til vedlikehold presenteres for å diskutere og identifisere nye teknologiske innovasjoner innenfor smart vedlikehold. Videre har den til formål å opplyse industrien om vedlikeholdets mulighet og fremtidig utvikling. Å få innblikk i vedlikeholdets teknologiske utvikling har vært svært viktig for oppgaven. Flere av de teoretiske innblikkene har kommet fra veileder Per Schjølberg, i tillegg til at studenten deltok på en konferanse for Norsk Forening for Vedlikehold hvor aktuell teknologi ble presentert.

Problembeskrivelsen er formulert av professor Per Schjølberg og doktorgradsstipendiat Jon Martin Fordal. Prosjektets overordnede tema er smart vedlikehold som en del av fremtidens innovative vedlikeholdssatsning. Mer spesifikt er prosjektet relatert til smart vedlikehold og moderne vedlikeholdsstrategier, og hvordan man kan bruke dette i kombinasjon med nye teknologiske innovasjoner.

Per Schjølberg og Jon Martin Fordal har vært svært hjelpsomme under utarbeidelsen av dette prosjektet. De har gitt meg akademisk veiledning og hjelp til å strukturere rapporten. Jeg vil derfor takke dem for all hjelp med oppgaven! Jeg vil også takke Are Stolsmo og Joachim Flesjå, mine to studiekamerater, for all støtte gjennom det toårige masterprogrammet i undervannsteknologi.

X 
Eirik Hove

Sammendrag

Vedlikehold og vedlikeholdsstrategier har utviklet seg i industrien gjennom mange år. Vedlikehold har utviklet seg fra å være en byrde på bakgrunn av reaktive metoder til et konsept hvor organisasjoner kan generere verdiskapning på bakgrunn av den riktige vedlikeholdsmetodikken. Implementering av den riktige vedlikeholdsstrategien er en av hovedfaktorene for optimale driftsmåter og kostnadsbesparelse.

Etter introduksjonen av Industri 4.0 og stor teknologisk utvikling har det oppstått nye måter å bygge opp vedlikeholdsstrategier. Industri 4.0 skaper grunnlaget for teknologi som sensorer, Internet of Things, Big Data og expert-system som gjør det mulig å benytte teknologi som grunnlag for beslutninger av optimale vedlikeholdsintervaller.

Denne masteroppgaven setter søkelys på nye teknologiske innovasjoner som prediktivt vedlikehold, expert-system og sensorteknologi. Videre er det presentert et konsept for sensorstyring i kombinasjon med expert-system som danner grunnlaget for beslutninger i en vedlikeholdsorganisasjon. Konseptet benytter seg av forskningsbasert teori og tidligere presenterte modeller for best mulig samhandling mellom teknologi, digitalisering og teoretiske modeller.

Teknologi endrer hvordan industri jobber med implementering og omstilling til Industri 4.0. Gjennom oppgaven blir det presentert hvordan digitalisering endrer en organisasjon og hvorfor digitalisering er en positiv utvikling. Videre knytter oppgaven sammen den digitale verden, representert ved sensorer, med den fysiske verden, representert ved mennesker, og hvordan dette skaper teknologisk harmoni.

I all hovedsak handler oppgaven om hvordan smart vedlikehold skaper digitale endringer, i kombinasjon med teknologiske vedlikeholdsstrategier som benytter seg av den nyeste tilgjengelige teknologien. Resultatet er et konsept som benytter seg av digitale verktøy for styring av vedlikeholdsorganisasjoner.

Abstract

Maintenance and methods of maintenance have evolved in the industry for many years. Maintenance have evolved from being a burden based on reactive methods, to a concept where organizations can generate value based on the proper maintenance strategy. Implementing the proper maintenance strategy is one of the key factors for optimal operations and cost savings.

Following the introduction of Industry 4.0 and major technological developments, new ways of building up maintenance strategies have emerged. Industry 4.0 creates the basis for technology such as sensors, the Internet of Things, Big Data and expert-system, which makes it possible to use technology as the basis for decision on optimal maintenance intervals.

This master thesis focuses on new technological innovations such as predictive maintenance, expert-systems and sensor technology. Furthermore, a concept for sensor management in combination with expert-system is presented as the basis for decisions in a maintenance organization. The concept utilizes research-based theory and previously presented models for the best possible interaction between technology, digitalization and theoretical models.

Technology changes how industries work with implementation and conversion to Industry 4.0. The thesis presents how digitalization changes an organization and why digitalization is a positive development. Furthermore, the task links the digital world, represented by sensors, to the physical world, represented by humans, and how this creates technological harmony.

Essentially, the task is about how smart maintenance creates digital changes, in combination with technological maintenance strategies that make use of the latest available technology. The result is a concept that uses digital tools for managing maintenance organizations.

Innhold

Forord.....	v
Sammendrag	vii
Abstract	ix
1. Innledning.....	1
1.1 NTNU og studenten	3
1.2 Bakgrunn for oppgaven	3
1.3 Metode	3
1.3.1 Bruk av standarder i rapporten	4
1.4 Formål.....	5
1.5 Mål.....	5
1.6 Begrensninger.....	5
1.7 Rapportens oppbygging	5
2. Vedlikehold.....	7
2.1 Vedlikeholdsbegreper	8
2.1.1 Forebyggende vedlikehold	9
2.1.2 Korrigerende vedlikehold	10
2.1.3 Forbedring	11
2.1.4 Refleksjon	11
2.2 Vedlikeholdsstyring	13
2.2.1 Barrierestyring.....	16
2.2.2 Refleksjon	20
2.3 Vedlikeholdskonseppter.....	21
2.3.1 RCM – Reliability Centered Maintenance	22
2.3.2 TPM – Total Productive Maintenance	24
2.3.3 WCM – World Class Maintenance.....	26
2.3.4 Refleksjon	32
2.4 Smart vedlikehold og Industri 4.0	34
2.4.1 Introduksjon til Industri 4.0.....	34
2.4.2 Teknologiske trender knyttet til digitalisering og automatisering av industriproduksjonen	39
2.4.3 Industri 4.0 og vedlikehold	41
2.4.4 Refleksjon	47
2.4.5 Smart vedlikehold mot den innovative kraft.....	49
2.4.6 Society 5.0 – Et fremtidssamfunn hvor menneske og teknologi spiller sammen	50
3. Sensorer som en del av fremtidens vedlikehold	54

3.1	Introduksjon til sensorteknologi	55
3.2	Sensorteknologi.....	55
3.2.1	Vibrasjonssensorer	56
3.2.2	Temperatursensorer.....	58
3.2.3	Posisjonssensorer	59
3.2.4	Fuktighetssensorer	60
3.2.5	Lyssensorer.....	61
3.2.6	Strømnings- og nivåsensorer.....	63
3.2.7	Trykksensorer	63
3.2.8	Sensorleverandører.....	64
3.2.9	Refleksjon	67
3.3	Sensorapplikasjoner og implementering.....	69
3.4	Datatilgjengelighet	72
3.4.1	Datasamling.....	73
3.4.2	Koblingen mellom den fysiske og digitale verden	74
3.5	Sensorstyring og vedlikeholdssystemer	76
3.6	Konsept for sensorstyring og vedlikehold	77
3.7	Refleksjon	80
4.	Expert-System – Et verktøy for beslutningsstøtte.....	81
4.1	Expert-system for optimal prosessplanlegging	85
5.	Sensorstyring og bruk av Expert-system i industrielle applikasjoner.....	86
5.1	Konsept for implementasjon av sensorstyring og expert-system.....	87
5.1.1	Teknisk tilstand.....	87
5.1.2	Sensorer.....	88
5.1.3	Expert-system.....	88
5.1.4	CMMS	89
5.1.5	Refleksjon	89
5.2	Prognostiske parametere	90
5.2.1	Industrielle pumper	90
5.2.2	Industrielle kompressorer	92
5.2.3	Refleksjon	94
5.3	Beslutningsstøtte.....	95
5.3.1	Kunnskapsdatabase.....	95
5.3.2	Regelbasert beslutningsstøtte.....	97
5.3.3	Prediktiv beslutningsstøtte.....	99
5.3.4	Refleksjon	99

5.4	Utforming av CMMS.....	100
5.4.1	Nøkkelementer i databaserte styringssystemer	101
5.4.2	Refleksjon	103
6.	Konklusjon	105
7.	Videre arbeid	107
8.	Referanser	108
	Vedlegg 1 – Forkortelser	112
	Vedlegg 2 – Forstudierapport.....	113

Figurliste

Figur 1-1 Vedlikehold og vedlikeholdsstyring.....	2
Figur 2-1 Vedlikeholdsstrategier[1].....	8
Figur 2-2 Tilgjengelighetsutvikling av vedlikeholdsstrategier	12
Figur 2-3 Petroleumstilsynets vedlikeholdsstyringsløyfe[5].....	14
Figur 2-4 Tradisjonelt barrierediagram med funksjoner som skal håndtere feil, fare- og ulykkessituasjoner utover normal operasjon[8]	17
Figur 2-5 Korrelasjon mellom de ulike organisasjonene i en overordnet virksomhetsstyring[8]	18
Figur 2-6 Sammenheng mellom vedlikehold og sikkerhet	19
Figur 2-7 Overlapping av vedlikeholdskonseppter, barrierestyring og vedlikehold	20
Figur 2-8 Utvikling av vedlikeholdskonseppter og deres kjennetegn	21
Figur 2-9 Tradisjonell badekarskurve	23
Figur 2-10 Nøkkelpunkter for en fremtidig WCM-bedrift	27
Figur 2-11 Modell for veien til WCM[20]	28
Figur 2-12 Ytelsesindikatorer	29
Figur 2-13 Utvikling gjennom industrielle revolusjoner[23]	34
Figur 2-14 Big data.....	37
Figur 2-15 Digitaliseringsprosess[34]	40
Figur 2-16 Sammenligning av vedlikeholdsmodeller	42
Figur 2-17 Preventive vedlikeholdsstrategier og deres kostnader.....	43
Figur 2-18 Oppbygging av E-maintenance/Smart vedlikehold i en organisasjon.....	46
Figur 2-19 Society 5.0 - Verdiskapning for det fremtidige samfunnet	51
Figur 2-20 Det fremtidige samfunnet - Society 5.0[43].....	53
Figur 3-1 Ulike typer sensorer og deres applikasjoner.....	56
Figur 3-2 Vibrasjonsspektrum eksempel[47].....	58
Figur 3-3 Sensoravlesning for temperaturutvikling.....	59
Figur 3-4 Posisjoneringssensorer	60
Figur 3-5 Sensoravlesning for fuktighetsmåling	61
Figur 3-6 Sensoravlesning for lysgjennkjenning	62
Figur 3-7 Eksempel på trykkfall i rørledning[49]	64
Figur 3-8 Sensor levert av EL-Watch[51]	65
Figur 3-9 Oversikt over hvordan sensorer, mottaker og skylagring er koblet sammen.....	66
Figur 3-10 ABBs Smart Sensor[52].....	67
Figur 3-11 Visualisering av viktigheten av datatilgjengelighet i en styringsløyfe	72
Figur 3-12 Digitaliseringsløyfe. Fysisk-digital-fysisk.....	75
Figur 3-13 EL-Watch Neuron dashboard	76
Figur 3-14 Konsept for sensorstyring og vedlikehold.....	78
Figur 3-15 Sammenkobling av datatilgjengelighet og konsept for sensorstyring	79
Figur 4-1 En typisk oppbygging av et kunnskapsbasert ES.....	81
Figur 4-2 Tilstandsbasert vedlikehold og Expert System.....	83
Figur 5-1 Konsept for sensorstyring og expert-system	87
Figur 5-2 Prognosebasert vedlikehold[62]	89
Figur 5-3 Prognostiske parametere for industrielle pumper	92
Figur 5-4 Prognostiske parametere for industrielle kompressorer.....	94
Figur 5-5 Oppbygging av vurderingskriterier for expert-system.....	100
Figur 5-6 Utforming av databasert vedlikeholdsstyringssystem	103

Tabelliste

Tabell 1 Sammenligning av indikatorer innenfor WCM	31
Tabell 2 Sannsynlige scenarioer for fremtidig vedlikehold	48
Tabell 3 EL-watch sensorer.....	65
Tabell 4 FMECA for industrielle pumper	91
Tabell 5 FMECA for industrielle kompressorer.....	93
Tabell 6 Hypotetisk utdrag av sensoravlesninger fra pumpe.....	96
Tabell 7 Hypotetisk utdrag av sensoravlesninger fra kompressor	97
Tabell 8 Regelbasert beslutningsstøtte for pumpe	98
Tabell 9 CMMS-moduler.....	104

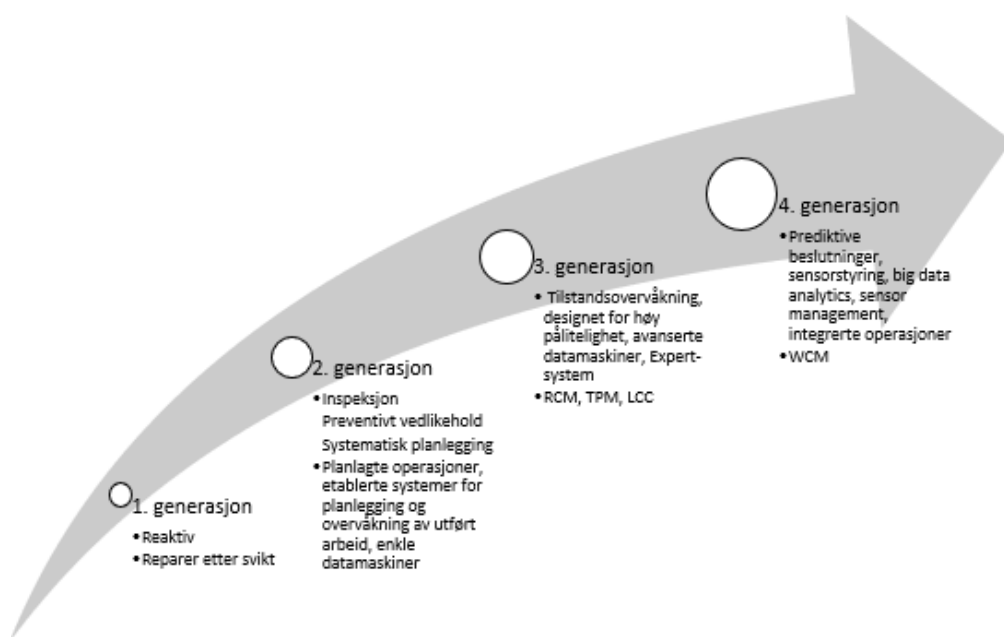
1. Innledning

For å kunne være konkurransedyktig i fremtiden må industrien være forberedt på å ta innover seg endringer og ny teknologi knyttet til Industri 4.0. Dette gjelder også for nye metoder knyttet til vedlikehold.

Den første industrielle revolusjonen startet tilbake på 1700-tallet der teknologiske trender knyttet til fabrikkproduksjon, jernbane og dampskip ble introdusert. Etter dette har verden gått gjennom to andre industrielle revolusjoner. Den andre industrielle revolusjonen inkluderte bruken av elektrisitet og volumproduksjon i produksjonsprosesser. Videre inn i den tredje industrielle revolusjonen ble automasjon og bruk av datamaskiner inkludert. Dette førte til en automatiseringsprosess i industrien som økte produksjonskapasiteten og belyste aspekter knyttet til robotisering, effektivisering og ytelse. Nå er verden, da spesielt industriledende land som Tyskland, Japan og Nederland, på veg inn i den fjerde industrielle revolusjonen. Denne revolusjonen belyser teknologiske innovasjoner som IoT, Cyber-Physical Systems, prediktivt vedlikehold og sensorovervåking.

Sammen med de forestående endringene Industri 4.0 og teknologi knyttet til dette, presenteres det store muligheter for å forbedre industriens ytelse innen vedlikehold. Gjennom tiden har vedlikeholdsprosessen utviklet seg fra å være en hindring for produksjon og planlegging, til en mulighet for å få et konkurransefortrinn ved å kunne forutse når en svikt vil inntreffe. Besparelsene kan være betydelige, siden kostnader knyttet til vedlikehold er en av de største bidragsyterne til de totale driftskostnadene for industrier. I noen industrier kan vedlikeholdskostnadene utgjøre mellom 15% og 40% av kostnaden for å produsere. I årene fremover, på bakgrunn av mer automasjon og ny teknologisk utvikling, vil vedlikehold bli mer viktig for å forbedre tilgjengelighet, kvalitet, oppfyllelse av sikkerhetskrav og kostnadseffektivitet.

Utviklingen innen vedlikehold er illustrert i Figur 1-1, der hver vedlikeholdsrevolusjon korresponderer med henholdsvis forbedring innen tilgjengelighet og krav til data og statistiske analyser.



Figur 1-1 Vedlikehold og vedlikeholdsstyring

Sensorer er det bindende elementet mellom den digitale og den fysiske verden. På bakgrunn av dette er bruken av sensortechnologi en av de viktigste teknologiene for å lykkes med implementering av smart vedlikehold. Innenfor vedlikehold, vedlikeholdssystemer som databaserte vedlikeholdsstyringssystem og databaserte ekspertvurderinger, vil ikke oppnå sitt fulle potensial uten sensorer som det digitale koblingspunkt.

1.1 NTNU og studenten

Masteroppgaven er laget i samarbeid mellom student Eirik Hove og Institutt for maskinteknikk og produksjon (MTP), Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi (IVT) ved NTNU. Studenten er en del av faggruppen innenfor RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) selv om studenten hører til masterprogrammet innenfor undervannsteknologi.

Andre involverte aktører er veileder Per Schjølberg og doktorgradsstipendiat Jon Martin Fordal.

1.2 Bakgrunn for oppgaven

Oppgaven handler om å belyse teknologiske innovasjoner og aspekter knyttet til den teknologiske utviklingen innen smart vedlikehold, hvor Industri 4.0, sensorer og expert-system står sentralt.

Videre handler oppgaven om å presentere hvilke endringer en digitaliseringsprosess fører med seg. Dagens industri er preget av mangel på kunnskap om de tilgjengelige teknologiske innovasjonene og oppgaven ønsker å presentere et konsept for hvordan en ledende industribedrift kan utnytte teknologi innen smart vedlikehold. Dette konseptet skal inneholde teknologiske begreper som tilstandsovervåkning, prediktivt vedlikehold, beslutningsstøtteverktøy og sensorer.

1.3 Metode

Smart vedlikehold og fremtidige teknologiske innovasjoner som tema for masteroppgaven ble utformet i januar 2019 på bakgrunn av samtaler mellom veileder Per Schjølberg, doktorgradsstipendiat Jon Martin Fordal og studenten. Diskusjonen resulterte i flere punkter som omhandlet de nevnte temaene. Relevansen for dagens industri og studentens interesser ble lagt til grunn når oppgaven skulle formuleres.

Neste del var å definere arbeidsoppgaver, omfang, målsetninger og forventinger de ulike aktørene hadde til hverandre.

Som første steg i utviklingen av rapporten ble det gjennomført grundige litteratursøk på bakgrunn av relevante temaer for masteroppgaven. Hovedfokuset var på litteratur av nyere tid da oppgaven ønsket å belyse hvordan fremtidens teknologi kan gjøre seg gjeldende i industrien. Studenten var på et tidlig tidspunkt kjent med relevant litteratur på bakgrunn av

prosjektoppgaven på høsten 2018 i tillegg til litteratur presentert av veileder. Uansett var det nødvendig med grundigere søk etter litteratur for en dypere forståelse av oppgaven.

Bruken av relevante artikler, bøker og standarder har dannet grunnlaget for denne oppgaven. Mye arbeid har blitt gjort for å samle informasjon for deretter å presentere dette på en hensiktsmessig måte.

Et besøk hos EL-watch har gitt verdifull innsikt i hvordan sensorer fungerer og hvordan sensorer blir brukt i industrien. Selskapet presenterte videre utfordringer knyttet til sin web-løsning og ønsket å høre studenten sine innspill på dette. Studenten har skaffet til veie sensorer som han har implementert hjemme hos seg selv for å kunne studere bruken av disse.

Med hensikt å kunne presentere et fremtidig vedlikeholdskonsept, har studenten benyttet teknologiske innovasjoner som grunnlag. Gjennom grundige søk og hjelp av veileder har de viktigste aspektene knyttet til et fremtidig vedlikeholdskonsept blitt presentert.

Etter at oppgavene som ble presentert i oppgavebeskrivelsen var gjennomført, ble sammendrag, videre arbeid og konklusjon laget. Videre ble masteroppgaven inkludert vedlegg ferdigstilt. Avslutningsvis ble det gjennomført flere runder med korrekturlesing og tilbakemeldinger fra involverte aktører før innlevering.

1.3.1 Bruk av standarder i rapporten

I rapporten har det i utstrakt grad blitt brukt standarder for å presentere et teoretisk grunnlag for utvikling av vedlikehold. På bakgrunn av dette ble det nødvendig å be Norsk Standard om tillatelse til å gjengi begreper knyttet til vedlikehold og vedlikeholdsledelse. Se svaret fra Norsk Standard nedenfor:

Vi gir med dette tillatelse til gjengivelse av innholdet med forbehold om at følgende opphavsrettsnotis settes inn i tilknytning til gjengivelsen: (sett inn navnet på oppgaven der det er indikert)

Punktene 2.1, 2.2, 7.1, 7.2, 7.3, 7.4, 7.6, 7.9, 7.10, 7.11, Tillegg A samt Figur A.1 fra NS-EN 13306:2017 er gjengitt av Eirik Hove til bruk i masteroppgave «Smart vedlikehold som del av fremtidens vedlikeholdssatsning» med tillatelse fra Standard Online AS mai 2019. Standard Online er ikke ansvarlig for eventuelle feil i gjengitt materiale.

Se www.standard.no

1.4 Formål

Formålet med denne oppgaven er å presentere et fremtidig vedlikeholdskonsept som benytter seg av teknologiske innovasjoner innen vedlikeholdsstyring, sensorstyring og Industri 4.0. Siden industrien i dag ikke i utstrakt grad benytter seg av slike begreper innen teknologi, ønsker oppgaven å få dette belyst på en hensiktsmessig måte.

Studentens overordnede formål er å skape et grunnlag for implementering i norsk industri som kan kunne føre til økt bevissthet og innsikt knyttet til eksisterende og fremtidig teknologi innen smart vedlikehold.

1.5 Mål

Masteroppgavens hovedmål er å presentere et vedlikeholdskonsept som ledende industribedrifter kan benytte seg av. For å nå dette målet ønsker oppgaven å presentere tema som smart vedlikehold, sensorstyring og Industri 4.0. Funnene i masteroppgaven ønskes å benyttes på en slik måte at det kan føre til økt bevissthet knyttet til eksisterende og fremtidig teknologi.

1.6 Begrensninger

Prosjektets varighet er fastsatt til 20 uker. Studenten antar at hele prosjektperioden skal utnyttes for å nå prosjektets målsetninger uten store hendelser.

Oppgaven skal i all hovedsak presentere nye teknologiske innovasjoner. Disse innovasjonene er hovedsakelig presentert på bakgrunn av teorier som ikke er utprøvd i industrien i dag. Oppgaven begrenses dermed til at teknologiene ikke skal utprøves i dagens industri. Dette gjelder videre også for dataanalyser for å kunne fastslå om konseptet kan brukes for økning av eksempelvis tilgjengelighet og redusert nedetid.

1.7 Rapportens oppbygging

Rapporten starter med et sammendrag som i korte ord beskriver oppgaven, problemstilling, bakgrunn, metode og målsetning.

Kapittel én er en introduksjon der det systematisk blir gjennomgått en historisk utvikling, bakgrunn for oppgaven, hva som ønskes oppnådd med oppgaven og hvilke metoder som er benyttet for å komme frem til ønsket resultat.

Kapittel to er et kapittel som presenterer relevant teori knyttet til oppgaven. Innledningsvis vil det presenteres relevant teori knyttet til vedlikeholdsbegreper og vedlikeholdskonsepter

som RCM, TPM og WCM. Videre vil det bli presentert teori som omhandler Industri 4.0 og teknologiske fremskritt i denne revolusjonen. Avslutningsvis vil det fremtidige teknologiske samfunnet, Society 5.0, bli presentert.

Kapittel tre handler om hvordan sensorer kan være det bindende leddet mellom den fysiske og digitale verden. Det kommer frem hvilke sensorer som i dag eksisterer og hvilke ulike bruksområder disse representerer. Videre presenteres det hva digitalisering omhandler og hvilke implikasjoner dette har for en organisasjon. Avslutningsvis presenteres det et vedlikeholdskonsept som benytter seg av sensorer for å kunne determinere om vedlikeholdsaksjoner er nødvendig.

Kapittel 4 omhandler expert-system og hvordan expert-system kan bli brukt som et grunnlag for beslutninger tatt i en vedlikeholdsorganisasjon. Kapitlet introduserer de ulike komponentene av et slikt system for deretter å presentere eksisterende system på markedet i dag.

Kapittel 5 handler om et konsept som studenten har utviklet på bakgrunn av de foregående kapitlene angående prediktivt vedlikehold, vedlikeholdsstyring, expert-system, sensorapplikasjon og databaserte vedlikeholdsstyringssystem. Kapitlet innleder med å presentere en figur som danner grunnlaget for hvordan konseptet er bygd opp. Videre introduserer kapitlet mer grundig hvilke nødvendige komponenter systemet skal bestå av. Avslutningsvis presenterer kapitlet innholdet i et vedlikeholdsstyringssystem (CMMS).

Kapittel 6 konkluderer rundt resultatet av prosjektet og hvorvidt studenten er fornøyd med det presenterte innholdet.

Kapittel 7 omhandler videre arbeid for oppgaven. Det vil omhandle utprøving, analyser og konseptoptimalisering.

2. Vedlikehold

Deler av industrien i dag har en manglende forståelse av at grunnleggende vedlikehold er en av kjernekompetansene til enhver type virksomhet. Det viser seg at det er en gjentakende tendens å ikke fokusere på det grunnleggende.

Historien viser at vedlikehold ikke har fått den oppmerksomheten som det fortjener. Utilstrekkelige ressurser ble tildelt for å utføre vedlikeholdsaktiviteter. Som et resultat av dette har ikke vedlikeholdsavdelingene klart å bevare ressursene i god teknisk stand. Men i de siste årene har denne holdningen endret seg drastisk. Vedlikehold får nå oppmerksomhet fra mye større deler av organisasjonen enn tidligere. Industrien har nå realisert den verdiskapingen som vedlikehold representerer.

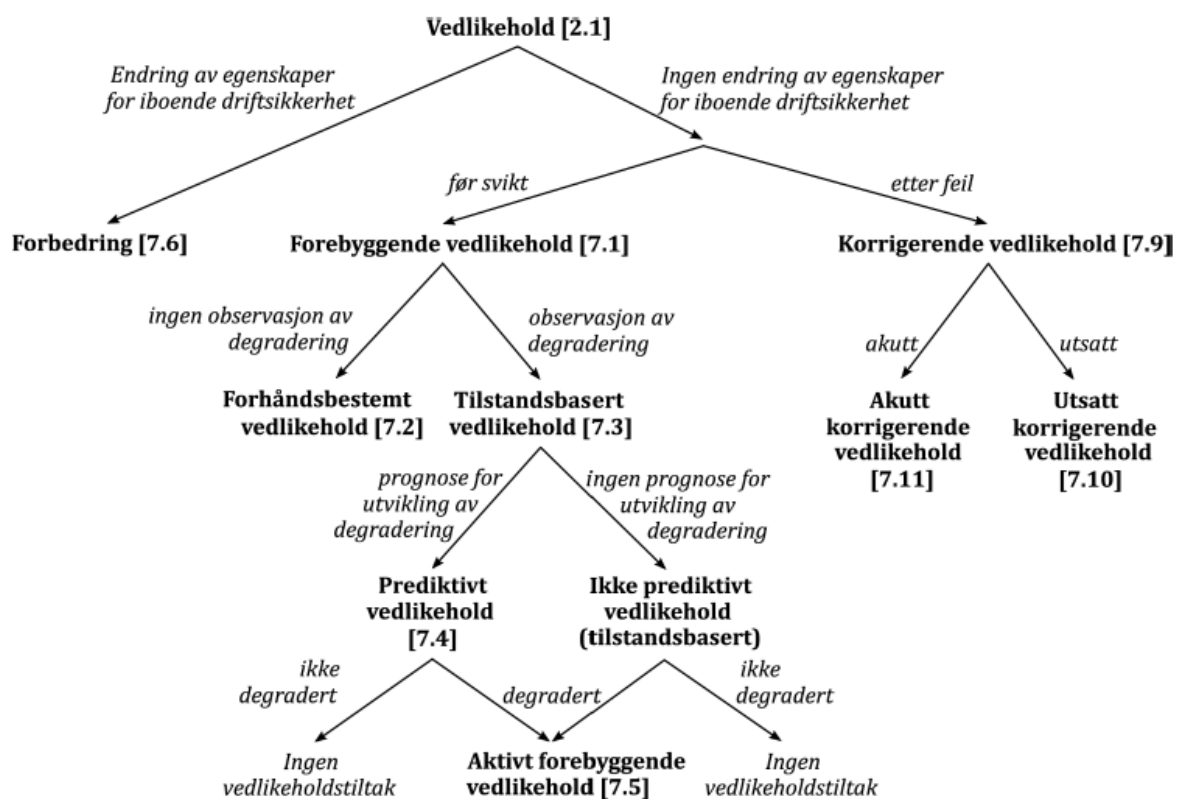
I dette kapitlet vil det presenteres teori tett knyttet til oppgavens målsetning om å presentere et vedlikeholdskonsept som innehar de riktige komponentene for å kunne bli benyttet av industrien i dag.

Teori knyttet til de grunnleggende vedlikeholdsstrategiene, vedlikeholdsstyring, vedlikeholdskonsepter og den nært forestående industrielle revolusjonen vil presenteres for å danne et teoretisk og teknologisk grunnlag for oppgaven.

2.1 Vedlikeholdsbegreper

Vedlikehold kan ifølge NS-EN 13306 deles inn i tre hovedtyper: korrigerende vedlikehold, forebyggende vedlikehold og forbedring[1]. Korrigerende vedlikehold gjennomføres etter at feil har oppstått, mens forebyggende vedlikehold gjennomføres før svikt har oppstått. Se Figur 2-1.

«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»[1]



Figur 2-1 Vedlikeholdsstrategier[1]

Forskjellen mellom de ulike vedlikeholdsstrategiene er videre beskrevet i de neste delkapitlene.

2.1.1 Forebyggende vedlikehold

Vedlikehold som gjennomføres før svikt har oppstått kalles forebyggende vedlikehold. Formålet med en slik vedlikeholdsstrategi er å kunne redusere sannsynligheten for at svikt vil inntreffe. Forebyggende vedlikehold deles inn i tilstandsbasert vedlikehold og forhåndsbestemt vedlikehold og er gjerne forhåndsplanlagte.

NS-EN 13306 definerer forebyggende vedlikehold som:

«Vedlikehold som utføres for å vurdere og/eller minske degradering og redusere sannsynligheten for svikt i en enhet»[1]

2.1.1.1 Forhåndsbestemt vedlikehold

Ved predeterminert vedlikehold eller forhåndsbestemt vedlikehold er vedlikeholdsaksjonene basert på faste intervaller. Denne type vedlikehold benytter seg gjerne av forventet levetid for enkelte komponenter slik at tidsintervallene kan optimaliseres. For eksempel kan utskifting av hjullager i en bestemt pumpe byttes etter antall driftstimer, kalendertid eller rotasjoner.

NS-EN 13306 definerer forhåndsbestemt vedlikehold som:

«Forebyggende vedlikehold som utføres i henhold til etablerte tidsintervaller eller antall bruksenheter, men uten forutgående tilstandsundersøkelser»[1]

2.1.1.2 Tilstandsbasert vedlikehold

Ved bruk av tilstandsbasert vedlikehold er det den faktiske tilstanden til enheten som blir målt. Basert på tilstanden til enheten blir det gjennomført vedlikehold. Eksempler på tilstandsbasert vedlikehold kan være overvåking av vibrasjoner, temperatur eller ytelse.

NS-EN 13306 definerer tilstandsbasert vedlikehold som:

«Forebyggende vedlikehold som omfatter vurdering av fysisk tilstand, analyse og mulige påfølgende vedlikeholdstiltak»[1]

2.1.2 Korrigerende vedlikehold

Vedlikehold som gjennomføres etter at feil er inntruffet kalles korrigerende vedlikehold. Korrigerende vedlikehold har til hensikt å bringe enheten som har feilet tilbake til en tilstand hvor den kan utøve sin krevde funksjon. Korrigerende vedlikehold deles inn i to kategorier: Utsatt korrigerende vedlikehold og akutt korrigerende vedlikehold.

NS-EN 13306 definerer korrigerende vedlikehold som:

«Vedlikehold som utføres etter at en feil er funnet, og som har som formål å gjenopprette en enhet til en tilstand der den kan oppfylle krevd funksjon»[1]

2.1.2.1 Utsatt korrigerende vedlikehold

Utsatt korrigerende vedlikehold gjennomføres på enheter som man har latt feil inntreffe. Bakgrunnen for hvorfor man har latt feil inntreffe kan være økonomisk betinget på bakgrunn av lav kritikalitet på den aktuelle enheten. Eksempler på utsatt korrigerende vedlikehold kan være så enkelt som å skifte ut en lyspære som lyser opp operatørens arbeidsrom. Denne type vedlikehold er vanlig på enheter med lav kritikalitet for henholdsvis sikkerhet og tilgjengelighet.

NS-EN 13306 definerer utsatt korrigerende vedlikehold som:

«Korrigerende vedlikehold som ikke utføres uten umiddelbart etter at en feil er funnet, men som utsettes i henhold til gitte regler»[1]

2.1.2.2 Akutt korrigerende vedlikehold

Akutt korrigerende vedlikehold er vedlikehold som blir gjennomført med en gang en feil har inntruffet. Denne type vedlikehold gjennomføres gjerne på bakgrunn av at enheten som har feilet har høy kritikalitet og reduserer driftssikkerheten til systemet og den totale tilgjengeligheten. Siden akutt korrigerende vedlikehold ofte er uplanlagt vil det å bringe enheten tilbake i en tilstand hvor den kan utøve sin krevde funksjon bli mer tidkrevende og igjen skade den totale produksjonen. Eksempelvis kan det hende det nødvendige utstyret ikke er tilgjengelig på feiltidspunktet og må bestilles inn til lokalt reservedelslager.

NS-EN 13306 definerer akutt korrigerende vedlikehold som:

«Korrigerende vedlikehold som utføres uten utsettelse etter at en feil er funnet, for å unngå uakseptable konsekvenser»[1]

2.1.3 Forbedring

Forbedring betyr at man bygger videre på sitt eget vedlikeholdsprogram på en positiv måte. Dette inkluderer å registrere hvor man kan forbedre seg selv, for deretter å implementere dette.

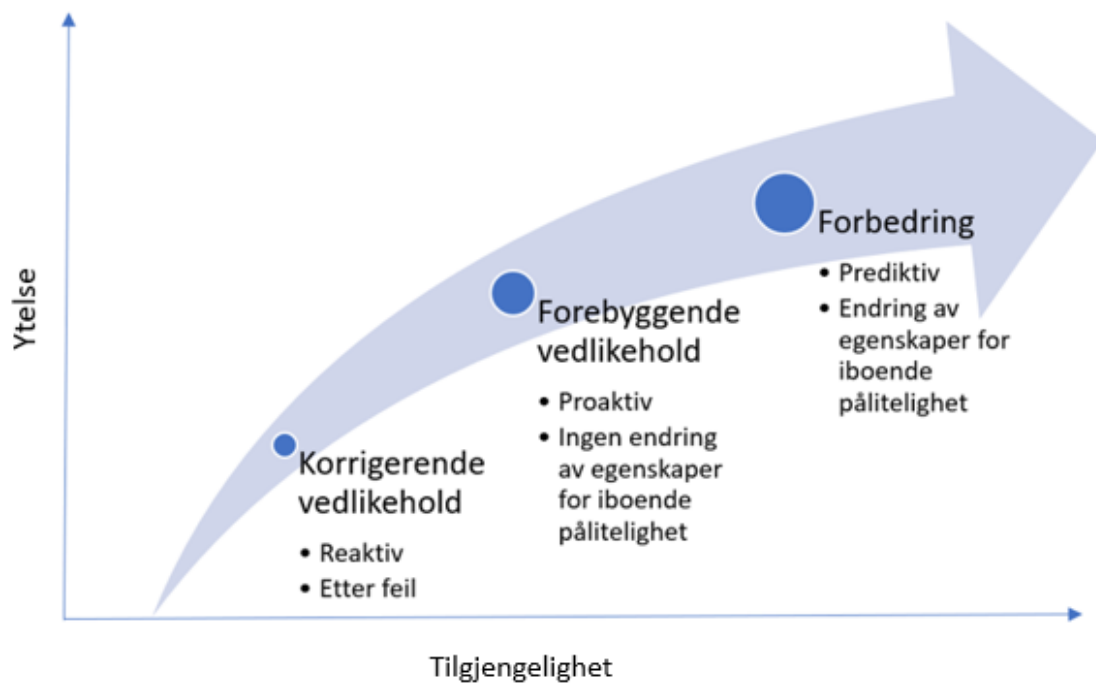
NS-EN 13306 definerer forbedring vedlikehold som:

«Kombinasjon av alle tekniske, administrative og ledelsesrelaterte tiltak som har til hensikt å bedre den iboende påliteligheten og/eller vedlikeholdsvennligheten og/eller sikkerheten til en enhet, uten å endre enhetens opprinnelige funksjon»

2.1.4 Refleksjon

Vedlikehold kan utgjøre en betydelig del av kostnaden i ressurskrevende organisasjoner, da produksjonsstans påvirker kapasitet, kvalitet og driftskostnader.[2] Imidlertid er uformingen av en vedlikeholdsstrategi avhengig av en rekke faktorer, inkludert kostnader knyttet til nedetid, pålitelighetsegenskaper og redundans av ressursene. Følgelig varierer balansen mellom forebyggende vedlikehold og korrigerende vedlikehold i ulike organisasjoner og mellom ulike ressurser.

Akutt korrektivt vedlikehold gjennomføres etter en feil har inntruffet. Dette resulterer i en ikke-planlagt nedetid. Videre øker dette sannsynligheten for å tape tid og penger i potensielt tapt produksjon og uplanlagte vedlikeholdsaksjoner. Fra et annet synspunkt er det begrenset hvor mye man kan investere i preventivt vedlikehold før man taper penger på denne filosofien. Det handler om å drive en proaktiv vedlikeholdsorganisasjon, hvor organisasjonen er godt forberedt med identifiserte og klassifiserte usikkerheter og risikoer. Videre er ansvaret tydelig delegert og hensiktsmessige tiltak er iverksatt der systemet krever det. Styring og delegering av vedlikeholdsoppgaver i en vedlikeholdsorganisasjon er videre diskutert og definert i de neste kapitlene.



Figur 2-2 Tilgjengelighetsutvikling av vedlikeholdsstrategier

Figur 2-2 illustrerer utviklingen av vedlikehold som en viktig del for utvikling av tilgjengelighet og ytelse. Som det blir skrevet mer om i de neste kapitlene som omhandler vedlikeholdsstyring, er tilgjengelighet og ytelse sentrale begreper for å kunne oppnå optimale strategier.

Vedlikehold knyttet til forbedring er videre et relativt nytt begrep i NS-EN13306 og relasjonene mellom dette begrepet og for eksempel WCM og smart vedlikehold er merkbare. Dette er noe som vil bli beskrevet nærmere i de neste kapitlene.

2.2 Vedlikeholdsstyring

Ifølge NS-EN 13306 defineres vedlikeholdsledelse som[1]:

«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»

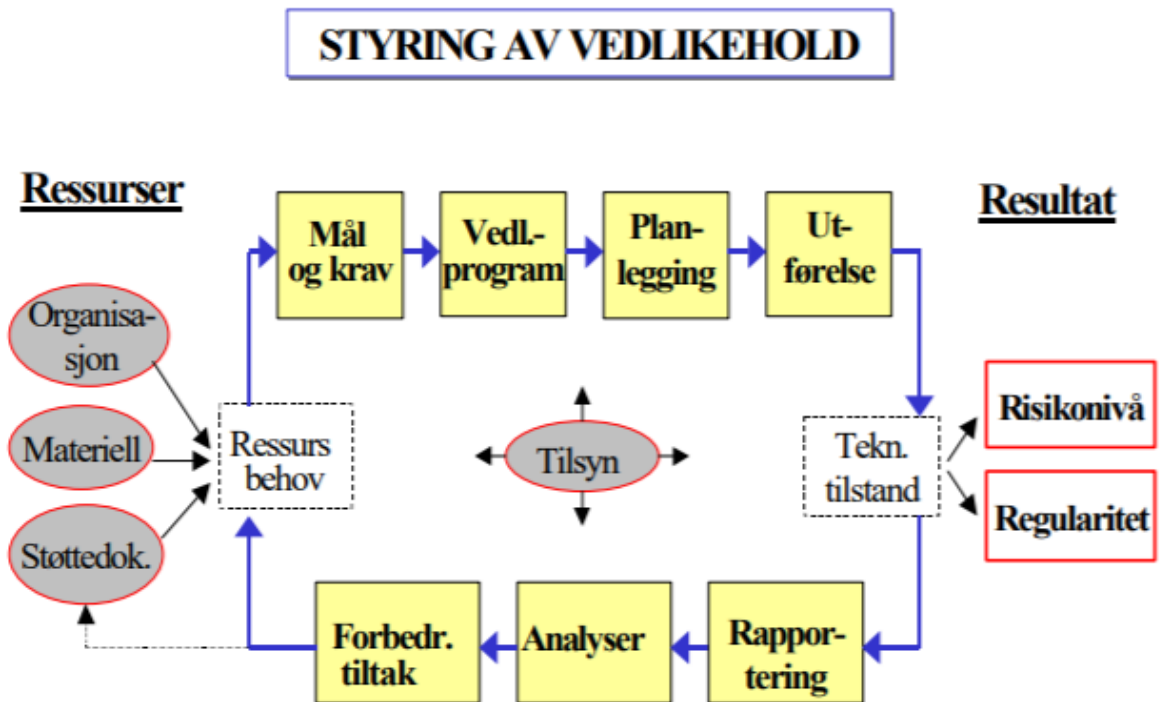
Generelt presenteres vedlikeholdsstyring som måten systemets vedlikeholdsfunksjoner analyseres på, forbedres, kontrolleres, planlegges og strategisk gjennomføres for å sikre et stabilt og sikkert system i forhold til målene. Vedlikeholdsstyring handler videre om å kontrollere aktuelle og nødvendige ressurser til en organisasjon slik at produksjon opprettholdes og at ressurser ikke blir brukt ineffektivt. MainTech definerer vedlikeholdsstyring slik:

«Vedlikeholdsstyring er alle systematiske tiltak en bedrift iverksetter for å oppnå og opprettholde en vedlikeholdsstandard i henhold til mål og HMS krav. Vedlikeholdsstyringen må baseres på en styringsmodell, som er en oversikt over hvordan vedlikeholdsorganisasjonen skal jobbe»[3]

Et styringssystem anses som stabilt og trygt når kun forebyggende vedlikeholdsaksjoner utføres uten korrektive hendelser som uplanlagte feil og som kan føre til alvorlige ulykker.

Vedlikeholdsstyring er i dag en svært viktig faktor i industrien. Den norske regjeringen er klar over viktigheten av et fungerende vedlikeholdsstyringssystem og presenterte en stortingsmelding i 2017-2018 om dette temaet, da knyttet opp mot petroleumsvirksomheten:

«Mangelfullt og manglende vedlikehold kan være en medvirkende årsak til ulykker og uønskede hendelser i petroleumsvirksomheten. Målet med vedlikeholdsstyring er blant annet å identifisere sikkerhetskritiske funksjoner og sikre at disse funksjonene (herunder barrierer) fungerer når det er behov for dem. Innretninger, anlegg og utstyr må derfor vedlikeholdes i alle faser av levetiden. Det legges stor vekt på vedlikehold for å opprettholde teknisk tilstand i sikkerhetsarbeidet generelt, og vedlikehold av sikkerhetskritisk utstyr spesielt»[4]



Figur 2-3 Petroleumstilsynets vedlikeholdsstyringsløyfe[5]

Formålet med vedlikeholdsstyring er ifølge NORSOK Z-008 flerfoldig[6]:

- Beskrive nøkkeelementene og forventingene til en overordnet arbeidsprosess innen vedlikeholdsstyring
- Beskrive hvor konsekvensklassifisering er relevant i en arbeidsprosess knyttet til vedlikeholdsstyring
- Belyse hvordan risikohåndtering er betraktet i de ulike stegene av en arbeidsprosess

Figur 2-3 viser hvordan styringsløyfen benytter seg av organisasjon, materiell og støttedokumenter som ressurser i en vedlikeholdssløyfe. Som det fremkommer av figuren er det flere faktorer som spiller inn når det gjelder styring av vedlikehold.

Mål og krav gjenspeiler hvordan vedlikeholdsstrategien skal bygge opp under disse målene og hva som kreves for å kunne nå dem. Tydelige rammer for styring er essensielt for oppbyggingen av styringssystemene.

Vedlikeholdsprogram presenterer hvilket vedlikehold som innføres i den gjeldende organisasjonen. Ulike strategier for vedlikehold kan bli benyttet på ulike deler av organisasjonens enheter. Valg av vedlikeholdsprogram kan gjøres på bakgrunn av for eksempel en RCM-analyse eller FMECA, der kritikalitet av den aktuelle enheten vil fremkomme.

Planlegging av vedlikehold er gjerne noe som gjøres av enten intern eller ekstern vedlikeholdsorganisasjon. I planleggingsfasen vil eksempelvis en SJA (Sikker Jobb Analyse) kunne gjennomføres før en arbeidsordre blir generert for de aktuelle personene involvert i prosessen.

Gjennomføringen av planleggingsfasen blir gjerne gjort av de riktige personene i organisasjonen som har nødvendig opplæring og kunnskap om de aktuelle systemene og ressursene.

Teknisk tilstand på enheten som blir vedlikeholdt påvirker styringsløyfen i den grad hvilken faktisk tilstand enheten er i. Eksempelvis vil en ressurs langt ut i livssyklusen ha en annen tilstand enn en ressurs som nettopp har blitt innført. Gjeldende vedlikeholdsstrategi vil dermed kunne bli preget av livssyklusen til ressursen og dermed kunne endres. Resultatene fra teknisk tilstand vil bli benyttet slik at aktuelt risikonivå vil kunne bestemmes og hvilken regularitet (tilgjengelighet) ressursen representerer.

For å kunne videreføre sløyfen er det nødvendig med et rapporteringssystem som analyserer de foregående stegene slik at forbedringsmuligheter kan oppstå. Analyser vil kunne avdekke enkle forbedringer slik at styringsløyfen vil inneholde andre elementer som for eksempel endring av vedlikeholdsprogram, mer effektiv utførelse og en bedre teknisk tilstand på ressursene det gjelder.

PTIL[5] skriver følgende som forklaring på modellen i Figur 2-3:

«Styring av sikkerhetsrelatert vedlikehold er i modellen framstilt som en overordnet prosess (styringsløyfe), som, ved hjelp av nødvendig ressursinnsats, produserer produkter i form av f.eks. sikkerhet (lav risiko) og (høy) tilgjengelighet/regularitet. Hvert av elementene i styringsløyfa kan bestå av en rekke mindre arbeidsprosesser, med tilhørende produkter. I styringsmodellen inngår i tillegg tilsyn og ressurser.»

Det overordnede målet for en slik sløyfe er å kunne bidra til en kontinuerlig forbedring av organisasjonens aktiviteter, produkter og tjenester.[5]

2.2.1 Barrierestyring

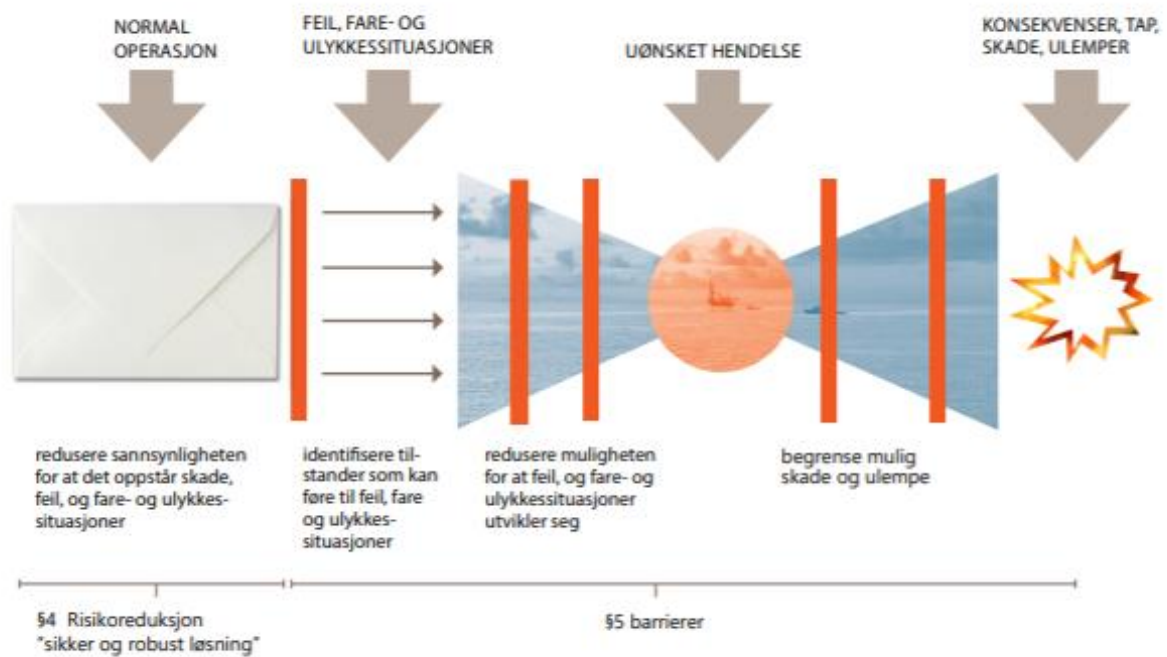
Hovedformålet med barrierestyring er ifølge PTIL[7] å etablere og vedlikeholde barrierer slik at risikoen man møter til enhver tid kan håndteres ved å forhindre en uønsket hendelse fra å oppstå eller begrense konsekvensene av den. Barrierestyring omfatter prosesser, systemer, løsninger og tiltak som må være på plass for å sikre den nødvendige risikoreduksjonen gjennom gjennomføring og oppfølging av barrierer.

PTIL definerer barrierer som[8]:

«Tiltak som har til hensikt enten å identifisere tilstander som kan føre til feil, fare- og ulykkessituasjoner, forhindre at et konkret hendelsesforløp inntreffer eller utvikler seg, påvirke et hendelsesforløp i en tilsiktet retning, eller å begrense skader og/eller tap.»

Videre blir barrierestyring definert som[8]:

«Koordinerte aktiviteter for å etablere og opprettholde barrierer slik at de til enhver tid kan ivareta sin funksjon»



Figur 2-4 Tradisjonelt barrierediagram med funksjoner som skal håndtere feil, fare- og ulykkesituasjoner utover normal operasjon[8]

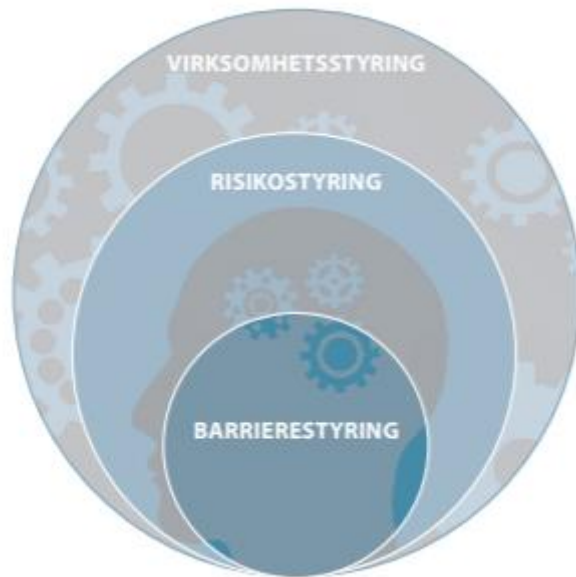
Som man ser ut av Figur 2-4 ovenfor skal barrierer ha følgende funksjoner:

- Identifisere tilstander som kan føre til feil, fare og ulykkesituasjoner
- Redusere muligheten for at feil, og fare- og ulykkesituasjoner utvikler seg
- Begrense mulig skade og ulempe

Ut fra dette har PTIL beskrevet følgende hovedpunkter i en barrierestyingsprosess:

- Identifisere feil, fare- og ulykkesituasjoner
- Identifisere barrierefunksjoner
- Identifisere barriereelementer
- Etablere ytelseskrav
- Følge opp barrierens godhet

Det er viktig å påpeke at barrierestyng ikke kan integreres som en særegen form for ledelse i en organisasjon. For å sikre at alle aspekter i den overordnede ledelsen beskriver hvilken påvirkning og innflytelse dette har på deres respektive områder, bør hvert delsystem vurderes i korrelasjon mellom hverandre, og integrert som et komplett og overordnet system. Se Figur 2-5 for å se korrelasjonen mellom de ulike organisasjonene internt i en overordnet organisasjon.

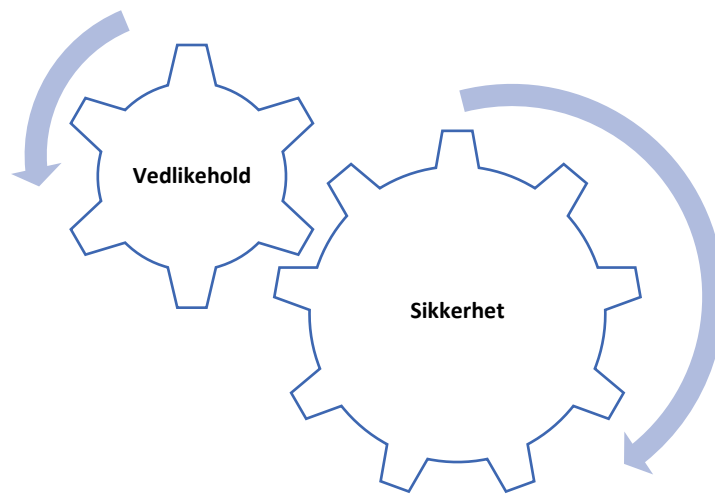


Figur 2-5 Korrelasjon mellom de ulike organisasjonene i en overordnet virksomhetsstyring[8]

2.2.1.1 Barrierestyling og vedlikehold

For at en ressurs skal utøve sin krevde funksjon, må den i de fleste sammenhenger opprettholdes og overvåkes om nødvendig. Dette kan være alt fra å sjekke lufttrykket i hjulene på bilen, til feilsøking i en datamaskin. Større og mer komplekse vedlikeholdsprosesser krever ofte flere ressurser, enn enkle og mer direkte prosesser. En vedlikeholdsaksjon er planlagt og fastlagt på grunnlag av krav til funksjon, hvordan og når vedlikehold skal gjennomføres, og hvordan det følges opp i ettertid.

For en funksjon, eller et system som består av flere funksjoner, skal opprettholde sin operative evne, er det nødvendig med vedlikehold. Det er i Figur 2-6 illustrert hvordan sammenhengen mellom vedlikehold og sikkerhet avhenger av hverandre, og at den kan visualiseres som to uavhengige gir i et sammenhengende system. De reflekterer og påvirker hverandre i et samlet og integrert system. Hvis en av dem feiler eller bryter ned, vil den andre miste sin funksjonalitet.

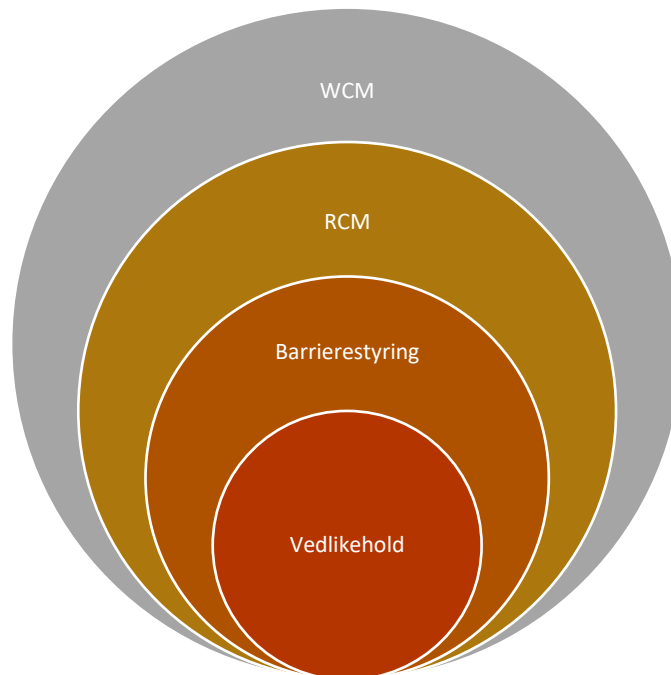


Figur 2-6 Sammenheng mellom vedlikehold og sikkerhet

Dersom en organisasjon tildeler for store ressurser knyttet til vedlikehold, både proaktive og reaktive, kan dette være en indikasjon på manglende barrierestyring. Mangel på barrierestyring kompenseres gjerne da med et overforbruk på vedlikehold. Ved å se på Figur 2-6 kan man dermed vurdere at overdrevne ressurser på vedlikehold kan bidra til en uharmonisk relasjon mellom dem, noe som kan skape ubalanse i hele systemet. For å oppnå en proaktiv barriererefunksjon er integrasjonen av vedlikehold i barrierestyring avgjørende for å optimalisere og implementere nye og forbedrede løsninger og funksjoner.

Fra et synspunkt kan man visualisere vedlikeholdsstyring som en del av barrierestyring, hvor begge er integrerte delsystemer av for eksempel WCM. Innenfor WCM er igjen RCM en metode for å administrere, planlegge, overvåke og bruke vedlikehold som en forebyggende og proaktiv tilnærming, som ofte er omtalt som et av de mest effektive vedlikeholdskonseptene i industrien i dag. RCM, som en del av WCM, bør implementeres og integreres i organisasjonens strategi dersom en feil eller svikt kan føre til potensielt stor skade, alvorlige konsekvenser og systemet er moderat komplekst. RCM har også en effektiv prosess for kontinuerlig overvåkning og forbedring av eksisterende system, noe som gjør at systemet samsvarer godt med vedlikehold og barrierestyring, med sikte på pålitelige og effektive barrierer. WCM og RCM er begge vedlikeholdskonsepter som er videre beskrevet i det neste

kapitlet om vedlikeholdskonseppter. Basert på [9] er det uformet en illustrasjon som viser overlappingen mellom henholdsvis WCM, RCM, barrierestyring og vedlikehold. Se Figur 2-7.



Figur 2-7 Overlapping av vedlikeholdskonseppter, barrierestyring og vedlikehold

2.2.2 Refleksjon

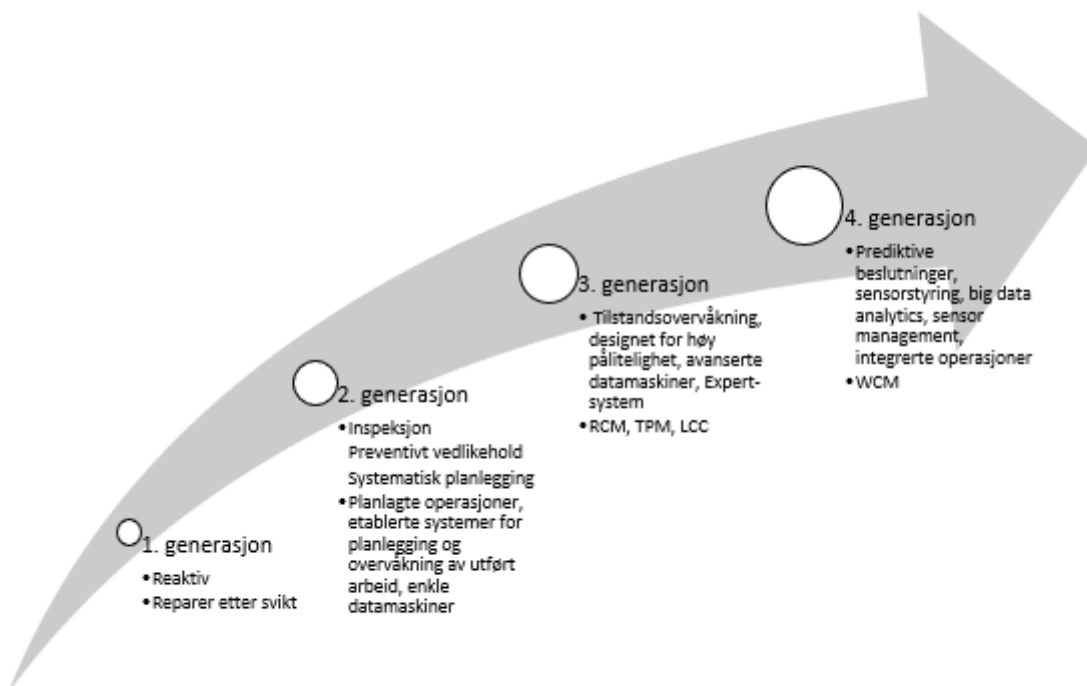
Basert på systemet, eller hvilken enhet/komponent kontrollsløyfen skal administrere, kan det være hensiktsmessig å vektlegge visse faser av vedlikeholdsstyring mer enn andre. Dette blir gjerne evaluert på grunnlag av prosessens kompleksitet, mål, data, effektivitet osv. Det har gjennom de siste tiårene vært en stor utvikling i vedlikehold og vedlikeholdsstyring, fra primitiv reaktiv kultur, til nye, bredere og proaktive vedlikeholdskonseppter. I løpet av de siste 15 årene har integrasjon og viktighet av vedlikeholdshåndtering på områder knyttet til barrierestyring vært i fokus. Dette har blitt kort beskrevet i dette kapitlet da oppgaven i seg selv ikke skal fokusere på barrierer som en del av vedlikeholdsstyringen. Det er likevel viktig å introdusere temaet da dette er svært relevant, spesielt for petroleumsindustrien, men også for andre industrier der konsekvens av en hendelse kan være alvorlig i form av skader på mennesker og miljø. Videre er barrierestyring svært relevant når det gjelder vedlikehold, sikkerhet og risikostyring.

2.3 Vedlikeholdskonseppter

Vedlikeholdskonseppter er i utgangspunktet utviklet av den stadig raske utviklende industrien og dens krav om mer automatisering og generelt høyere kvalitetskrav for implementering av produksjon.

Fra reaktive systemer, som hovedsakelig var avhengig av å reparere feil etter hvert som de inntraff, til helhetlige og integrerte vedlikeholdssystemer som handler om avanserte proaktive analyser, overvåkning, designtilpasning og aktiv deltagelse fra alle nivåer i organisasjonen.

Vedlikehold og vedlikeholdsstyring har gradvis blitt mer integrert i alle nivåer av organisasjonen, både når det gjelder produktivitet, økonomi, regelverk og HMS. Videre henger utviklingen av vedlikeholdskonseppter sammen med utviklingen innen de industrielle revolusjonene.



Figur 2-8 Utvikling av vedlikeholdskonseppter og deres kjennetegn

Figur 2-8 illustrerer hvordan konseptene har utviklet seg fra å være kun reaktive, til å fokusere på vedlikehold som en avansert del av operasjonene. Vedlikehold er ikke lenger en utgiftspost, men heller en mulighet for å generere større inntjening for bedrifter. 4. generasjon henger

som nevnt sammen med den forestående industrielle revolusjonen. Prediktive beslutninger, sensorovervåking og WCM er alle begreper som er svært relevant for utviklingen.

I dette kapitlet ønsker oppgaven å presentere ulike vedlikeholdskonsepter. Eksempler på vedlikeholdskonsepter er RCM, TPM og WCM. Alle disse tre vil bli enkelt presentert sammen med beskrivelse på hva som kjennetegner de ulike konseptene. Bakgrunnen for hvorfor oppgaven ønsker å presentere ulike vedlikeholdskonsepter er at oppgaven selv har en målsetning om å presentere et annen type konsept for vedlikeholdsstyring der grunnlaget for utviklingen deler noen av hovedtrekkene fra andre kjente metoder.

2.3.1 RCM – Reliability Centered Maintenance

John Moubray definerer RCM som:

«En prosess som brukes til å bestemme hva som må gjøres for å sikre at en fysisk eiendel fortsetter å fungere for å oppfylle sine tiltenkte funksjoner i sin nåværende driftskontekst»[10]

Formålet med en RCM-analyse er ifølge Rausand og Vatn[11] å besvare syv definerte spørsmål:

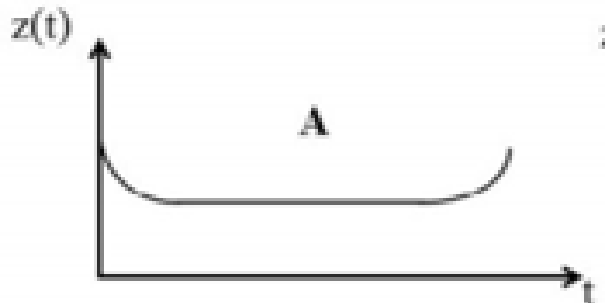
1. Hva er systemfunksjonene og tilhørende ytelsesstandarder?
2. Hvordan kan systemet ikke oppfylle disse funksjonene?
3. Hva kan forårsake funksjonsfeil?
4. Hva skjer når en feil oppstår?
5. Hva kan konsekvensene være når en feil oppstår?
6. Hva kan gjøres for å oppdage og forhindre feilen?
7. Hva skal gjøres når en egnet forebyggende oppgave ikke kan bli funnet?

Videre i de neste delkapitlene vil det kort beskrives hva som er bakgrunnen for RCM og hva som kjennetegner en RCM-prosess.

2.3.1.1 Bakgrunn

RCM-metodikken stammer fra 1960-tallet hvor flyindustrien oppdaget at kostnadene for forebyggende vedlikehold økte som et resultat av nye lisenser og sertifiseringer. De nye kravene var så omfattende at kostnaden for vedlikehold mest sannsynlig ville gjøre flyindustrien ulønnsom.

En undersøkelse av flyets komponenter ble gjennomført, der det ble avdekket at bare en mindre del av komponentene fulgte den tradisjonelle badekarskurven. Se Figur 2-9.[12]



Figur 2-9 Tradisjonell badekarskurve

Denne undersøkelsen viste at en skal være forsiktig når man velger forebyggende vedlikehold, siden komponentene ikke alltid har et pålitelighetsmønster basert på alder. Dette vil si at det vil være mer sannsynlig å skape flere problemer ved å gjennomføre aksjoner enn å ikke gjøre noe.

RCM anses i dag for å være den optimale blandingen av reaktiv, tids- og intervallbasert, tilstandsbasert og proaktive vedlikeholdsstrategi.[13] Metoden har blitt omfavnet av flere ulike næringer som industri og marine sektorer. Forskning viser at metoden har vært svært vellykket i ulike næringer.[14]

Når det gjelder utviklingen av RCM, mener [15] at spesiell oppmerksomhet burde legges på prediktivt vedlikehold siden dette er en optimal blanding av vedlikeholdsstrategier som passer for målene for den nye industrielle revolusjonen.

2.3.1.2 Hva kjennetegner en RCM-prosess

Ifølge Rausand og Vatn[11] er hovedmålene med en RCM-prosess å:

- Identifisere effektive vedlikeholdsoppgaver
- Vurdere disse oppgavene ved hjelp av en kost-nytte-analyse
- Forberede en plan for å utføre de identifiserte vedlikeholdsoppgavene med optimale intervaller

2.3.2 TPM – Total Productive Maintenance

Forebyggende og rutinemessige vedlikeholdsmodeller bidrar til å redusere nedetid og øke produktiviteten. En modell av dette kalles TPM, Total Productive Maintenance. TPM er en partnerskapstilnærming blant alle organisatoriske funksjoner, men spesielt mellom produksjon og vedlikehold, for kontinuerlig forbedring av produktkvalitet, driftseffektivitet, kapasitet og sikkerhet. I korte ord handler TPM om de ansattes involvering, økning av utstyrseffektivitet og et samhandlet vedlikeholdssystem.

I all hovedsak ønsker TPM å nå følgende mål[16]:

- Null uplanlagte feil
- Null produktfeil
- Null ulykker

TPM deler mange fellestrekk med det japanske uttrykket 5S som omhandler effektivisering av organiseringen på arbeidsområdet.

2.3.2.1 Bakgrunn

TPM er et konsept som kan spores tilbake til 1951 da forebyggende vedlikehold ble introdusert i Japan. Begrepet «forebyggende vedlikehold» stammer likevel fra amerikansk industri. Nippondenso, et japansk selskap, var det første selskapet som introduserte forebyggende vedlikehold som en del av hele fabrikkens i 1960.[17] Forebyggende vedlikehold var konseptet der operatører produserte varer i tillegg til at de var ansvarlig for de maskinene de arbeidet med, det som i dag kalles autonomt vedlikehold. De som var en del av den store vedlikeholdsgruppen tok kun viktige og store vedlikeholdsaksjoner.

Nippondenso som allerede hadde startet med forebyggende vedlikehold, tilførte dermed autonomt vedlikehold gjort av produksjonsoperatører. Vedlikeholdspersonalet gjennomførte modifikasjoner for å forbedre påliteligheten. Dette skapte dermed den forebyggende effekten man var på jakt etter. Ut ifra denne tankegangen ble dermed produktivt vedlikehold skapt. Målet med produktivt vedlikehold var å maksimere maskineffektiviteten for å oppnå optimal livssyklus kostnad for produksjonsutstyr.

2.3.2.2 Hva kjennetegner TPM?

Den store forskjellen mellom TPM og andre konsepter for vedlikehold er at operatørene i mye større grad deltar og involverer seg i vedlikeholdsprosessen. Dette vil si at tankegang som «jeg driver maskinen» (operatørene) og «du reparerer» (vedlikeholdspersonell) ikke følges.

I følge [16] er TPM bygget opp av åtte pilarer som danner grunnlaget for det produktive vedlikeholdet:

- Autonomt vedlikehold – Operatører ansvarlig for sitt område
- Forbedring av prosesser – Samling av informasjon for optimalisering
- Preventivt vedlikehold – Vedlikehold som gjennomføres før svikt
- Organisatorisk styring av nye prosesser – Ledere planlegger tidlig nye prosesser
- Kvalitetsstyring av prosesser – Delt ansvar mellom ledere og operatører for kvalitet
- Administrative oppgaver – Ledere prioriterer viktigste oppgaver og samarbeider
- Utdanning og trening – Operatører får riktig trening for forbedring av effektivitet
- Sikkerhet og vedvarende suksess – Sikkerhet for arbeidere og farereduksjon

2.3.3 WCM – World Class Maintenance

«Effektiv bruk av vedlikeholdsressurser for å redusere vedlikeholdskostnader»

Hovedfokuset innenfor produksjon, og vedlikeholdets funksjon innenfor dette, er å holde produksjonen kontinuerlig i gang med tilgjengelige ressurser. Konkurransen i bransjen krever dette. Vedlikehold påvirker direkte produktiviteten, kvaliteten og produksjonskostnadene. I dag er den vanligste tilnærmingen til vedlikehold reaktivt vedlikehold. Dette vil si at fokuset ligger i å reparere det som ikke fungerer når det feiler. Denne tilnærmingen og holdningen til vedlikehold står i direkte motsetning til målet om høy produktivitet. En reaktiv tilnærming til vedlikehold fører med seg ekstraordinære kostnader knyttet til produksjonsstans og medfører en svekket konkurranseevne.

For å holde produksjonen på et høyt nivå og møte den økende konkurransen, blir industrien i økende grad forpliktet til å utvikle vedlikeholdet fra en reaktiv til en proaktiv tilnærming - organisert rundt en nøye definert plan og med deltagelse av flere ansatte enn det som tenkes av tradisjonelt vedlikehold. Det er et steg mot en tilnærming av effektivt preventivt vedlikehold og kvalitetsforståelse.

Kjernen i WCM er nye partnerskap mellom drift, operatører, vedlikehold, ingeniører og tekniske tjenester for å forbedre det som kalles total utstyrseffektivitet (OEE). Det er et program med en visjon om at det skal være ingen havarier eller defekter og har ifølge [18] til formål å fjerne seks tapsfaktorer i en produksjonsbedrift:

- Utstyrshavari
- Tid brukt til oppsetting og justeringer
- Ingen produksjon og kortsiktige stans
- Redusert kapasitet
- Tap relatert til kvalitet
- Tap relatert til oppstart og omstarter

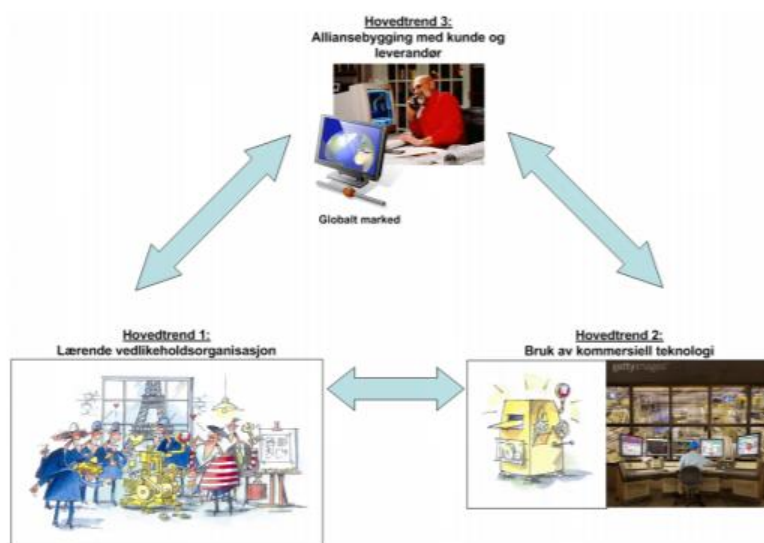
2.3.3.1 Hva kjennetegner WCM

I [19] blir en WCM-bedrift definert som:

«WCM-bedrift er den som konsekvent viser industriens beste praksis og i tillegg evner å produsere bunnlinjeresultat»

Det å kunne produsere et bunnlinjeresultat gir indikasjoner på hvor god bedriften er til å skape verdier for kundene. Videre skriver [19] at dette forsterker hva som kjennetegner dagens fokus på vedlikehold. Følgende fremtidige trender har blitt identifisert som nøkkelpunkter for en WCM-bedrift, se Figur 2-10:

1. Bedriftens kultur går i retning av å ha en lærende vedlikeholdsorganisasjon. Ved å forstå hvordan ansattes atferd og motivasjon påvirker vedlikeholdsfunksjonen, er det mulig å legge til rette for en lærende vedlikeholdsorganisasjon.
2. Avansert teknologi innen informasjonsteknologi og tilstandskontroll vil i fremtiden bli brukt i større grad enn i dag når det gjelder beslutningsstøtte. Dette skyldes en kommersiell utnyttelse av teknologien hvor kostnadene for teknologien vil minke og brukervennligheten øke.
3. Det vil utvikles nye prosesser i bedriften som ikke eksisterte før. På grunn av bedre utnyttelse av kommunikasjonsteknologi, tilgang til flere vedlikeholdsspesialister gjennom globalisering og krav til maskiner uten designfeil, vil alliansebygging mellom ulike leverandører og kunder bli sentralt.



Figur 2-10 Nøkkelpunkter for en fremtidig WCM-bedrift

Per Schjøberg har laget en modell for hvordan veien til WCM ser ut og hva som kjennetegner en bedrift som innehar status som «World Class». Ut fra Figur 2-11 kan man se at «World Class» kjennetegnes ved følgende punkter: Bedriften måler seg opp mot sin konkurransekraft, fokusområde knyttet til vedlikehold ligger på kjernevedlikehold, organisasjonen streber etter

å være en optimal vedlikeholdsorganisasjon, dataverktøy benyttes for å optimalisere prosesser, prosessene prøves alltid å forbedres, kompetansen i organisasjonen prøves alltid å bli forbedret, og man benytter seg av en metode der man optimaliserer vedlikeholdsintervaller og bruk av reservedeler.

	Målestokk	Fokus	Organisasjon	Dataverktøy	Beredskap	Kompetanse	Metodikk
World Class	Konkurranseskraft	Kjernevedlikehold	Optimal vedlikeholdsorganisasjon	Verktøy for optimalisering	Prosessforbedring	Forbedringskompetanse	Optimalisering av intervall og reservedeler
Nærmer seg toppen	PLI	Tilstandsbasert vedlikehold	Proessorientert slank, fleksibel	Dashboard Prediksjon	Er i forkant av problemer	Analysekompetanse	RCM
Godt i gang	OEE	5S Opplæring av operatører	Utskilling av 1.linje vedlikehold	Tilstandsmåling/-analyse	Pit stop	Prosesskompetanse/ Flerfaglighet	FMEA
Satt i system	Stopptidsregistrering	Preventivt program	Utskilling av vedlikehold utenfor kjerne	EDB-basert vedlikeholdssystem	Verktøy Reservedeler Prosedyrer	Maskin-kompetanse	Feilsøking
Primitiv/	Vedlikeholdsbudsjettet	Reparasjon	Tradisjonell vedlikeholdsavdeling	Vedlikeh.tavle Manuelle arbeidsordrer	Brannslukking	Fagkompetanse	Egen erfaring

Figur 2-11 Modell for veien til WCM[20]

2.3.3.2 Målbare ytelsesindikatorer innenfor WCM

Ytelse innen vedlikehold måles gjennom hvor aktivt man benytter ressurser for å bringe et system tilbake til en tilstand hvor systemet utfører sin tenkte funksjon[21]. Ytelse avhenger av flere interne og eksterne faktorer som for eksempel: størrelse av system, lokasjon, tradisjoner, utnyttelsesgrad av system og alder. Ytelsen blir oppnådd gjennom å innføre korrektivt og preventivt vedlikehold ved å benytte seg av verktøy, arbeidere, organisatoriske metoder, informasjon, materialer og operasjonsteknikker.

For å gjennomgå vedlikeholdsfunksjonen deler NS-EN 15341[21] ytelsesindikatorerne inn i tre grupper: økonomisk, teknisk og organisatorisk.

Når ytelsen ikke er tilfredsstillende, stimulerer ytelsesfaktorene ledelsen i den aktuelle bedriften til å definere en strategi for å forbedre økonomisk, teknisk og/eller organisatorisk. Dette gjør at organisasjonen kan:

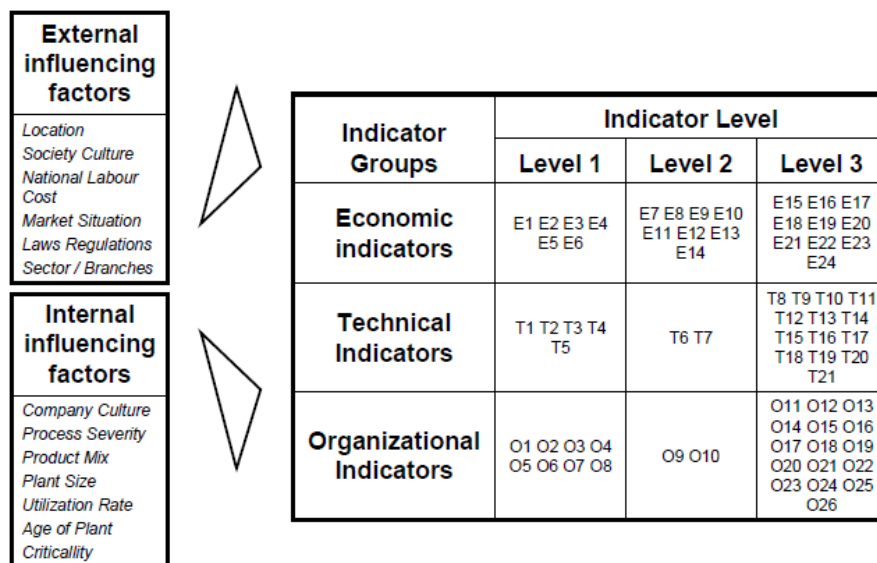
- a) Måle aktuell status
- b) Evaluere ytelsen
- c) Sammenligne ytelser

- d) Identifisere styrker og svakheter
- e) Kontrollere fremgang og endringer over tid

Analyser og målinger av de foregående punktene kan blant annet benyttes slik at ledelsen enklere kan sette mål, planlegge aktiviteter og dele resultatet blant de ansatte for å motivere. Videre kan ytelsesmålinger brukes til fastsatte punkter gjennom et år for å kunne skape et sammenligningsgrunnlag for videre forbedringer.

NS-EN 15341 peker videre på eksterne og interne faktorer som påvirker resultatet og hvordan målingen gjennomføres. Figur 2-12 peker på disse faktorene i tillegg til tre de tre nevnte ytelseskategorier: økonomisk, teknisk og organisatorisk.

Maintenance Influencing Factors and Maintenance Key Performance Indicators



Figur 2-12 Ytelsesindikatorer

Figur 2-12 deler ytelsesfaktorene inn i ulike nivåer. Disse nivåene kan brukes til å kvantifisere de ulike faktorene innad i en vedlikeholdsorganisasjon.

Ved bruk av NS-EN 15341 er det viktig å sette tydelige mål for hva som skal evalueres. Innenfor hvert av de ulike nivåene beskrevet i Figur 2-12 vil man kunne delegere indikatorer til hele fabrikk, en enkelt avdeling eller en enkelt produksjonslinje.

Schjølberg og Baas har foreslått å legge til et «Level 0» i Figur 2-12. Nøkkelfaktorene innenfor dette nivået er faktorer som er helt essensielle å prioritere for implementering. De har videre presentert noen KPIer som er grunnlaget for WCM. Se Tabell 1. Utvelgelsen av disse nøkkelfaktorene er blitt basert på ekspertvurderinger fra både forskning og industri. Når bedrifter har oppnådd disse utvalgte nøkkelfaktorene kan de bli vurdert som en bedrift som utøver WCM.[22]

Nr	Vedlikeholdsindikator	Beskrivelse av nøkkelindikator	Typisk område	WCM-område	Norsk industri	Anbefalt område
1	Alle vedlikeholdskostnader/Verdi av aktuell ressurs	Beskriver om bedriften har for høy vedlikeholdskostnad	3%-9%	2.5% til 3.5%	1.3%	Lavere enn 1.8%
2	Gjennomsnittlig reservedelslager av vedlikeholdsutstyr/Verdi av aktuell ressurs	Blir brukt for vurdering av om reservedelslageret er for stort	80%-99%	95%	N/A	90-95%
3	Tid brukt på preventivt vedlikehold/All tid brukt på vedlikehold	Indikerer omfanget av preventivt vedlikehold	3:1 til 5:1	6:1	3:1	5:1
4	Alle vedlikeholdskostnader/Omsetningen	Beskriver vedlikeholdskostnadene sammenlignet med bedriftens omsetning	N/A	N/A	N/A	N/A
5	Akutt korrigerende vedlikehold/All tid brukt på vedlikehold	Indikerer omfanget av akutt korrigerende vedlikehold	5%-50%	Mindre enn 10%	23.7%	Mindre enn 5%
6	Tid brukt på proaktivt vedlikehold (planlegging og prediktivt)/All tid brukt på vedlikehold	Indikerer omfanget av proaktivt arbeid i organisasjonen	20%-50%	50%	30.9%	Mer enn 40%
7	Faktisk driftstid/Krevd driftstid	Denne indikatoren viser driftstilgjengeligheten i produksjonen	65%-99%	Mer enn 97%	89.8%	Mer enn 90%-95%
8	Generell utstyrseffektivitet (Overall Equipment Effectiveness) - OEE	OEE=Tilgjengelighet*Ytelse*Kvalitet	20%-85%	Mer enn 85%	72.7%	Mer enn 90%

Tabell 1 Sammenligning av indikatorer innenfor WCM

Fra Tabell 1 er det særlig to punkter som skiller seg ut angående norsk industri. Akutt korrigerende vedlikehold skiller seg ut i negativ forstand med hele 23,7% av totale vedlikeholdsaksjoner. Videre er kun 30,9% av vedlikeholdsaksjonene gjort proaktivt. Sammenhengen mellom disse viser at industrien ikke i særlig grad fokuserer på å være proaktive, men heller reaktive. Dette medfører igjen at å nå WCM-status ikke vil la seg gjøre.

Videre viser tabellen at industrien ikke i stor nok grad investerer nok i sine ressurser. Vedlikeholdskostnadene til hver ressurs bør utgjøre mellom 2,5-3,5% av de totale vedlikeholdskostnadene i organisasjonen. Når industrien kun bruker 1,3%, betyr det at vedlikeholdskostnader ikke benyttes til å opprettholde ressursene i tilfredsstillende grad. En stor del av kostnadene kan antas å bli brukt på korrektivt vedlikehold da raten preventivt/korrektivt er 3:1, mens WCM-status presenterer 6:1 som en optimal rate.

2.3.4 Refleksjon

Vedlikeholdsstyring knyttet til industrien i Norge er i stor grad preget av utvikling og omstilling. Industrien fokuserer mer på utvikling innen produksjonsutstyr for økt produksjon av ressurser. Vedlikehold har gjerne blitt sett på som en utgiftspost som enkelt kan kuttes ved å redusere bemanning, investering og reservedeler. Dette kjennetegner gjerne en strategi der man benytter seg av korrektivt vedlikehold for å kunne opprettholde en høy driftstilgjengelighet på sitt system. En slik strategi er i flere tilfeller både økonomisk hensiktsmessig og det mest effektive en kan gjøre med mindre kritiske system så lenge man vet at man har det man trenger for å sette systemet tilbake i drift etter en feil har oppstått. For større systemer og operasjoner, der det ikke er økonomisk hensiktsmessig å la systemet feile av seg selv, er det nødvendig med en annen strategi og vedlikeholdsstyring. Utviklingen har gått fra korrektivt vedlikehold til en form for preventivt vedlikehold, der man ser at det er hensiktsmessig med en revisjonsstans, enten basert på tid eller tilstand på systemet. Da fortrinnsvis innen tilstandsbasert vedlikehold da man ikke trenger å reparere noe som fungerer.

I dette delkapitlet har det blitt presentert tre konsepter for vedlikehold, henholdsvis RCM, TPM og WCM. Disse tre konseptene deler noen felles kjennetegn knyttet til hvordan vedlikehold skal gjennomføres. På den annen side er konseptene ulike på noen områder. Hvor RCM fokuserer mer på hvordan enheter feiler og hva konsekvensene av dette er, fokuserer TPM på operatørens rolle i en vedlikeholdsorganisasjon. Avslutningsvis fokuserer WCM blant

annet på alliansebygging med leverandører, kjernevedlikehold, teknologibruk og en lærende vedlikeholdsorganisasjon som alltid er under utvikling.

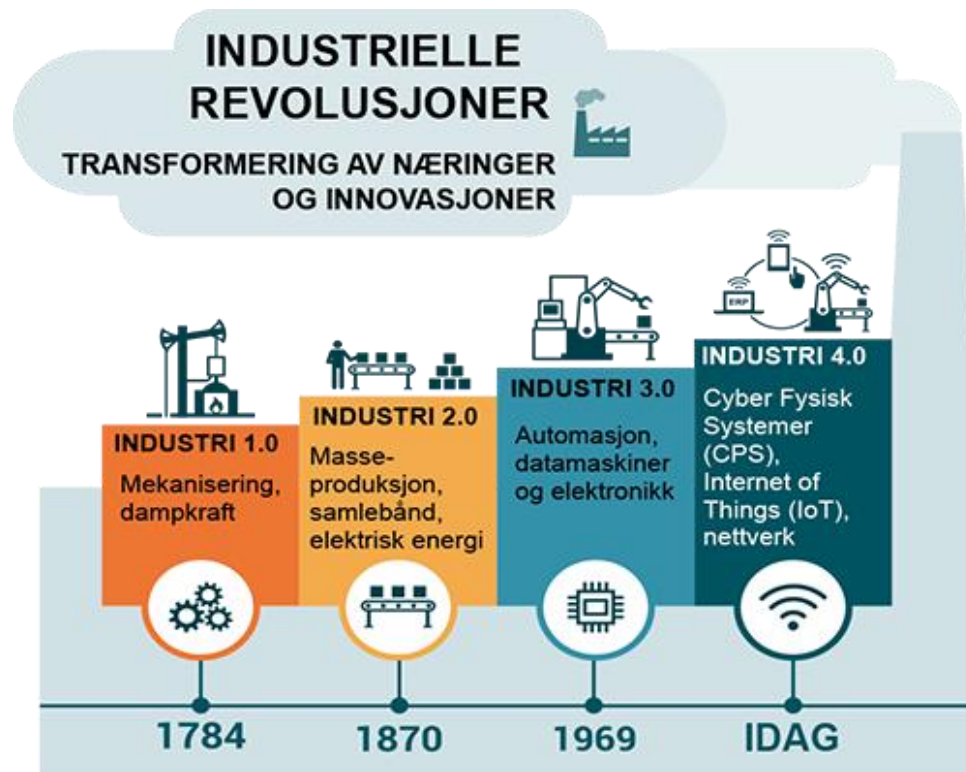
Oppgaven ønsker å benytte de presenterte konseptene som et grunnlag for et utviklet konsept som benytter seg av noen av kjennetegnene av disse. Oppgaven vil ikke i videre grad kommentere hvilken av konseptene som er brukt, men det vil gjerne være underforstått at disse er brukt som et fundament for utvikling siden RCM, TPM og WCM alle er anerkjente strategier brukt i industrien i dag. Spesielt er det viktig å trekke frem WCM som fokuserer på bruk av fremtidig teknologi.

Utviklingen av vedlikeholdskonsepter bygger inn i det neste kapitlet som omhandler den fjerde industrielle revolusjonen og fremtidig smart vedlikehold. Viktigheten av vedlikeholdskonsepter som innehar muligheten for store teknologiske endringer er derfor svært viktig når vedlikeholdsorganisasjoner skal bygges opp.

2.4 Smart vedlikehold og Industri 4.0

2.4.1 Introduksjon til Industri 4.0

Industri 4.0 sin opprinnelse stammer fra tysk industriproduksjon. Den konseptuelle ideen har videre blitt utviklet i andre industrielle nasjoner som EU, Kina, India og andre asiatiske land. Navnet Industri 4.0 refererer til den 4. industrielle revolusjonen hvor de tre foregående revolusjonene omhandlet henholdsvis fabrikkproduksjon, elektrifisering og automasjon. Figur 2-13 viser den industrielle utviklingen fra 1700-tallet frem til i dag.



Figur 2-13 Utvikling gjennom industrielle revolusjoner[23]

Den 4. industrielle revolusjonen utvikler seg på bakgrunn av teknologiske fremskritt som Internet of Things (IoT) og Internet of Services (IoS) kombinert med produksjonsprosessen. Alle fordelene av de tidligere industrielle revolusjonene har blitt oppdaget etter at de allerede var i gang. For denne revolusjonen vi nå er på veg inn i har industrien en mulighet til å proaktivt styre måten den forandrer verden på.

Visjonen til Industri 4.0 er at i fremtiden vil industrielle bedrifter bygge globale nettverk for å koble maskinene sine, fabrikkene og lagringsanleggene som cyber-fysiske system(CFS). Disse systemene vil forbinde og kontrollere hverandre intelligent ved å dele informasjon som utløser handlinger. Disse cyber-fysiske systemene vil ta form av smarte fabrikker, smarte maskiner, smarte lagringsanlegg og smarte forsyningskjeder. Dette vil gi forbedringer i

industriprosessene innen industri som en helhet, gjennom utvikling, materialbruk, forsyningskjeder og produktlivssyklusstyring. Dette er det Alasdair Gilchrist, forfatter av boken «Industry 4.0: The Industrial Internet of Things», referer til som den horisontale verdikjeden[24], og visjonen er at Industri 4.0 vil integrere med hvert trinn i den horisontale verdikjeden for å gi betydelige forbedringer i industriprosessen.

Midtpunktet i visjonen vil være smarte fabrikker. Smarte fabrikker vil endre måten produksjonen utføres på, basert på smarte maskiner i kombinasjon med smarte produkter. Det vil ikke bare være CFS som for eksempel smarte maskiner som vil være intelligente. Produktene som blir satt sammen vil også være intelligente på en slik måte at de til enhver tid kan identifiseres og lokaliseres i produksjonsprosessen. RFID-tag gjør produktene intelligente på den måten at de vet hva de er, når de ble produsert, og viktigst av alt vet hvilken tilstand de er i og hvilke steg som mangler før de har nådd sin ønskede tilstand.

Et annet sentralt element som Gilchrist peker på i visjonen til Industri 4.0 er integrasjonen av de vertikale produksjonsprosessene i verdikjeden. Visjonen er at de horisontale systemene skal være integrert med de vertikale forretningsprosessene som salg, logistikk og økonomi. Dette vil gjøre det mulig for smarte fabrikker å kontrollere hele produksjonsprosessen fra forsyningskjeden til tjenester og livssyklusstyring.

2.4.1.1 Internet of Things – IoT

Det tradisjonelle internettet i dag kobler sammen milliarder av mennesker gjennom sosiale media som Facebook, Twitter og Instagram. Etter at internett ble introdusert på 90-tallet har utviklingen vært enorm med tanke på tilkoblingsmuligheter. Etter introduksjonen av en ny internett protokoll, IPv6 i 2012, har det blitt mulig å generere nok IP-adresser slik at alle enheter(sensorer, maskiner, telefoner) nå kan kobles direkte til internett.[25]

IoT, eller tingenes internett, er et emne som beskriver hvordan alt kan kobles sammen over internett. Dette kan være datamaskiner, hjemmeelektronikk, maskiner og biler. Matt Burgess definerer IoT så enkelt som at alt fra enkle sensorer til avanserte maskiner kan kobles sammen og kommunisere på tvers av internett[26].

2.4.1.2 Cyber-Physical Systems (CPS)

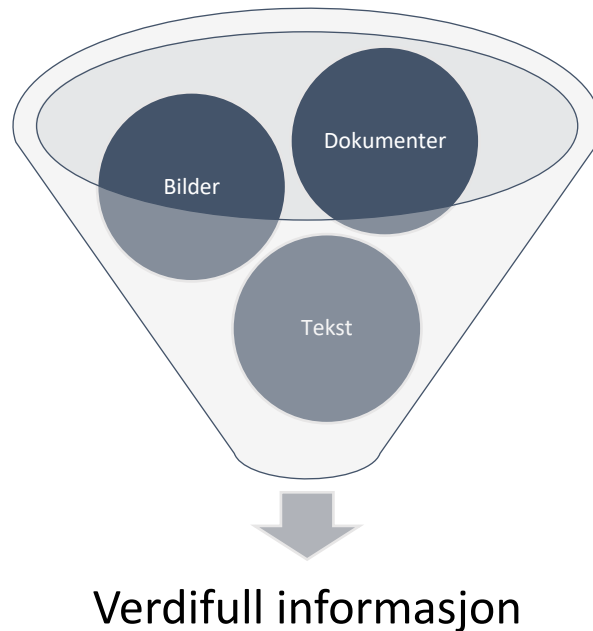
Cyber-physical systems (CPS) er integrasjonen mellom datamaskiner og de fysiske prosessene.[27] I dag er flere systemer innebygd med elektroniske chips som er trådløst koblet sammen og i stand til å kommunisere med internett. Dette gir en tydelig sammenheng mellom «Cyberspace» og den fysiske verden. Slike sømløse interaksjoner definerer begrepet CPS. Fordelene med CPS er åpenbare. Eksempler kan være at du har en innebygd brikke i kroppen din som overvåker tilstanden din og kan kommunisere med en lege dersom eksempelvis blodtrykket ditt øker uten grunn. Videre eksempler kan være at bilen din har problemer uten at du detekterer dette. Bilen kan da sette opp en servicetime med nærmeste verksted og du får melding om dette på telefonen din uten at du trenger å gjøre noe selv. Dette er begge realistiske eksempler som er nært forestående. Videre utvikling av CPS vil gjøre at systemene kan samarbeide på tvers av hvilken enhet de er. CPS har fordelene av at de kan tilby tidlige advarsler, redusere overraskelser og er derfor godt egnet for forutsigbare vedlikeholdsprogrammer innenfor miljøer i det industrielle internettet.

2.4.1.3 Big Data

Big data har blitt et slags «Buzz-ord» etter inntoget av de store sosiale mediaplattformene. Implementeringen av smart vedlikehold vil føre med seg enorme datamengder som følge av maskingenerert data som sendes kontinuerlig. I denne sammenheng er viktigheten av databehandling et sentralt emne som må arbeides med.[28] Stor datakraft og lagringsevne vil bli et viktig felt for virksomheter i fremtiden. Big data vil være et sentralt begrep i en prediktiv vedlikeholdsstrategi og utviklingen av prognostiske systemer innenfor smart vedlikehold, men det må behandles og analyseres. Det er ingen tvil om at avansert analyse kan øke beslutningskvaliteten i stor grad ettersom ledere får tilgang til mer data og dermed være bedre informert om situasjoner.

Big data genereres fra målepunkter som eksempelvis sensorer innebygd i ulike produkter eller plassert på ulike strategiske steder. Disse sensorene kan sende kontinuerlige målinger som temperatur eller vibrasjoner som i sin tur analyseres for å støtte beslutningsprosessen om vedlikeholdsaksjoner skal iverksettes. En Boeing 737 NextGen fly genererer for eksempel 240 terrabyte data i løpet av en time i luften. Denne dataen, dersom den behandles riktig, kan gi god innsikt i flyets tilstand, eksponering for risiko eller ytelsesnivå og dermed hjelpe flyselskapet til å prioritere vedlikeholdsbeslutninger på en proaktiv måte.[28]

Internett, forum, sosiale nettverk,
sensorer



Figur 2-14 Big data

Fra en enorm mengde data er det kun en liten fraksjon som faktisk er verdifull data. Terminologi knyttet til Big Data presenterer de 6 V'ene (engelsk) som grunnlag for hva Big Data er[29]:

- Volume (stor mengde data) – Volum
- Variety (mange ulike dataformat) – Variasjon
- Velocity (høy ytelse) – Hastighet
- Value (verdifull informasjon) – Verdi
- Veracity (kvalitet på data) – Sannferdighet
- Volatility (lagring av data) – Flyktighet

I sentrum av det fremtidige smarte vedlikeholdet i organisasjoner er dermed gjerne big data. Siden smart vedlikehold er bygget opp av teknologiske innovasjoner som krever data for å kunne utnyttes vil big data, datafangst, databehandling og utstrakt utnyttelse av datamateriale være en grunnpilar for den fremtidige vedlikeholdsorganisasjonen.

2.4.1.4 Internet of Services – IoS

Tanken bak IoS er at maskinene selv skal kunne finne nødvendig informasjon ved å bruke internett. Dette betyr at systemene må være kompatible til å kunne gjøre oppgavene selv og kunne kommunisere og samarbeide med andre systemer. IoS bygger på fundamentet som IoT har skapt med alle sine koblingspunkter og videre i det cyber-fysiske system. I følge Siemens, et verdensomspennede tysk industrikonsern, er ideen bak IoS at alle komponenter bruker samme grensesnitt på en slik måte at alle «forstår» hverandre.[30] Dette vil si at komponentene må snakke samme språk og kommunisere på en hensiktsfull måte for å kunne fungere.

2.4.1.5 Smarte fabrikker

Smarte fabrikker i den 4. industrielle revolusjonen referer til sluttproduktet av den praktiske anvendelsen av teknologi innen områder som cyber-fysiske systemer og IKT verktøy. I følge Kagermann vil smarte fabrikker utgjøre en nøkkelfunksjon i implementeringen av Industri 4.0.[25]

Bruk av sensordata fra fysiske prosesser til å kontinuerlig oppdatere en virtuell representasjon i sanntid, også kjent som digital tvilling, betyr at systemene er robuste, motstandsdyktige mot forstyrrelser og kan inkludere selvhelbredende prosesser som gjør det mulig å gjenopprette krevd funksjon i systemet. De aktuelle dataene behandles i nettskyen (cyber-space) gjennom smarte algoritmer som har som formål å beregne og synkronisere informasjon om utstyrets ytelse, risiko og tilstand i sanntid.[31]

Smarte fabrikker er en visjon for fremtidens fabrikk hvor både produserte produkter og produksjonslinjene er en del av et intelligent system som kan både snakke til og kontrollere maskinene ved hjelp av teknologi innen CPS. Bevisst utformede moduler som er enkle å skifte ut og som kommuniserer over trådløse nettverk, vil forbedre produksjonsprosessene og øke effektiviteten. I tillegg til å oppnå kortere produktlivssykluser og flere produktvarianter, gir det fabrikkmiljøet forbedret ytelse, kvalitet og tilgjengelighet.[28]

2.4.2 Teknologiske trender knyttet til digitalisering og automatisering av industriproduksjonen

Industrien står i dag ovenfor en hurtig voksende teknologisk utvikling. Prosesser endres og digitaliseres samtidig som maskiner blir mer og mer pålitelige og avanserte. Industrier i hele verden preges nå av dette og teknologien smitter raskt mellom landene.

«Sensorer blir i økende grad integrert i produkter og enhetene blir koblet til internett – en utvikling som gjerne omtales som tingenes internett (Internet of Things). En følge av dette er at tjenester som tidligere har kommet før eller etter produksjonen ikke lenger vil kunne skilles fra selve produksjonen»[32]

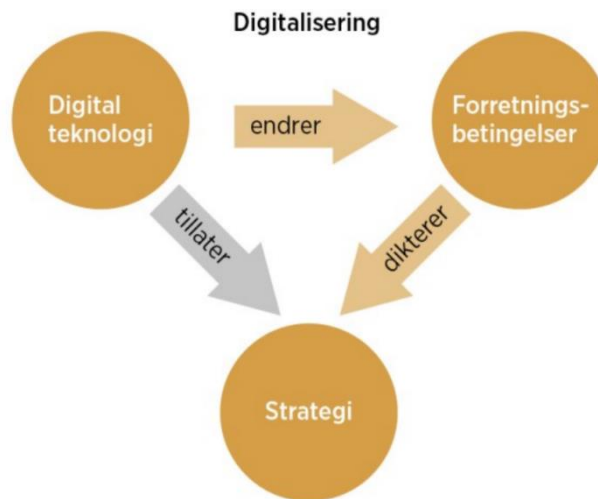
Som man ser av stortingsmeldingen ovenfor, er den norske regjeringen klar over den teknologiske utviklingen og investerer i forskning, utvikling og innovasjon knyttet til dette. Videre vil dette si at det er en oppfordring til industrien å følge disse trendene. Regjeringen og Stortinget ønsker et effektivt industriland som kan levere varer på en slik måte at Norge blir sett på som et foregangsland innen industrialisering.

Stortingsmeldingen peker videre på at bare 53% av industrien i Norge i liten grad har digitalisert og automatisert produksjonen sin.[32] Det vil dermed være rimelig å anta at enda mindre av industrien i dag har digitalisert vedlikeholdsfunksjonen.

I noen industrier kan kostnader knyttet til vedlikehold ligge mellom 15% og 40% av de totale organisasjonskostnadene. Dette vil si at det fortsatt er mye penger å spare på å investere i den rette teknologien. Fremover i tid, på bakgrunn av mer avansert automasjon og ny teknologi, vil vedlikehold bli mer viktig for å forbedre tilgjengelighet, produktkvalitet, sikkerhetskrav og kostnadseffektivitet.[33]

2.4.2.1 Digitalisering

Digitalisering er i dag et ord som blir brukt mye innen utviklingen av mer effektive måter å levere tjenester på og generere større inntjening i bransjen. Bedrifter digitaliserer prosesser som tidligere ble gjort av mennesker og endrer dermed organisasjonens fokusområde.



Figur 2-15 Digitaliseringsprosess[34]

Jason Bloomberg i Forbes definerer digitalisering som bruken av digital teknologi for å endre en bedrifts businessmodell og generere ny inntjening og produsere nye muligheter.[35]

En organisasjon som allerede er digitalisert har gjennomført en digitaliseringsprosess. Det betyr at bedriften er innforstått med at man i dagens teknologihverdag nå kan lagre, sende og beregne alt som trengs. Det betyr at organisasjonen bruker denne utviklingen for videre utvikling og konkurranse. Mer om digitalisering og koblingen mellom den digitale og fysiske verden presenteres i kapittel 3.4.2.

I Figur 2-15 viser det hvordan digitalisering endrer, dikterer og tillater nye strategier til å forme seg på en slik måte at organisasjonen er underbygget av den riktige teknologien og de grunnleggende forretningsbetingelsene.

2.4.3 Industri 4.0 og vedlikehold

Det smarte vedlikeholdskonseptet er et system hvor vedlikeholdspersonell, uansett hvor de befinner seg, er tett integrert i hele vedlikeholdsfunksjonen og hele forretningsfunksjonen generelt. Lokalt vedlikeholdspersonell er utstyrt med teknologiske verktøy som AR (Augmented Reality) og annen nyskapende teknologi. Vedlikeholdsledere som ikke er lokalt tilstede sørger for det nødvendige grensesnittet mellom seg selv, vedlikeholdssystemene (CMMS) og operatørene. Dette er viktig på bakgrunn av at operatørene eller vedlikeholdspersonellet bare har begrenset tilgang til skybaserte tjenester via mobilenheter som ikke har samme kapasitet som datamaskinene som vedlikeholdslederen sitter med. Maskinene, operatørene og ingeniørene er alle koblet sammen via skybaserte tjenester innen IoT/IoS og Big Data. Det er en sømløs kobling og en verdifull samordning mellom drift og vedlikehold.

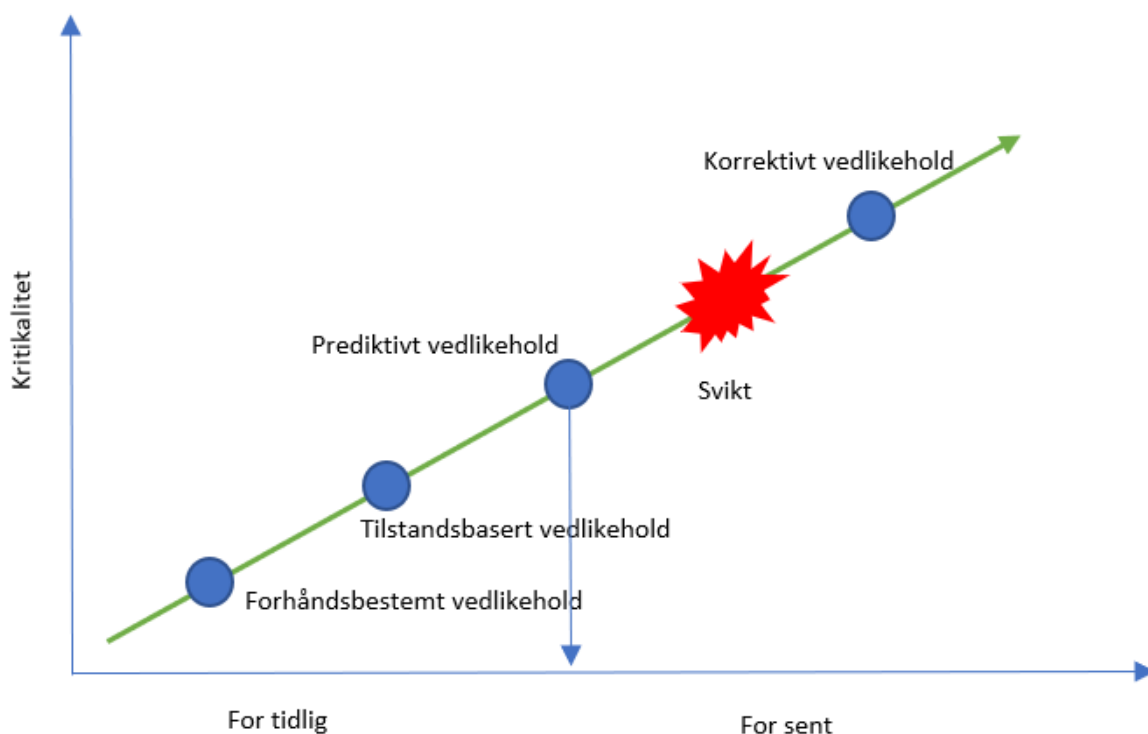
Maskinene har maskin-til-maskin kommunikasjon, maskinlæring og identifiseringsmuligheter. Maskinene er i stand til å kommunisere internt, automatisk samt muligheten til å gi tilbakemelding til de eksterne menneskelige elementene i vedlikeholdssløyfen. En slik sammenkobling sikrer at alle drifts- eller vedlikeholdsaktiviteter synkroniseres på en slik måte at den overordnede forretningsmessige funksjonen er optimalisert for å oppnå en høyere produksjonsmengde og dermed høyere tilgjengelighet.

2.4.3.1 Prediktivt vedlikehold

Prediktivt vedlikehold (PdM) er blant de nyeste vedlikeholdsstrategiene og har utviklet seg i samsvar med Industri 4.0. Spesielt i sektorer der tilgjengelighet er viktig, som eksempelvis kraftverk og transport, har denne vedlikeholdsstrategien blitt tatt i bruk. I all hovedsak handler PdM om at den forutser feil basert på degraderinger før svikt inntreffer. Videre optimaliserer den vedlikeholdsarbeidet basert på tilstanden til det overvåkede systemet, altså historiske data. Et PdM-program oppdager primært tidlige tegn på degradering og initierer dermed vedlikeholdsaksjoner til rett tid.[36] Se Figur 2-16.

NS-EN 13306 definerer prediktivt vedlikehold som:

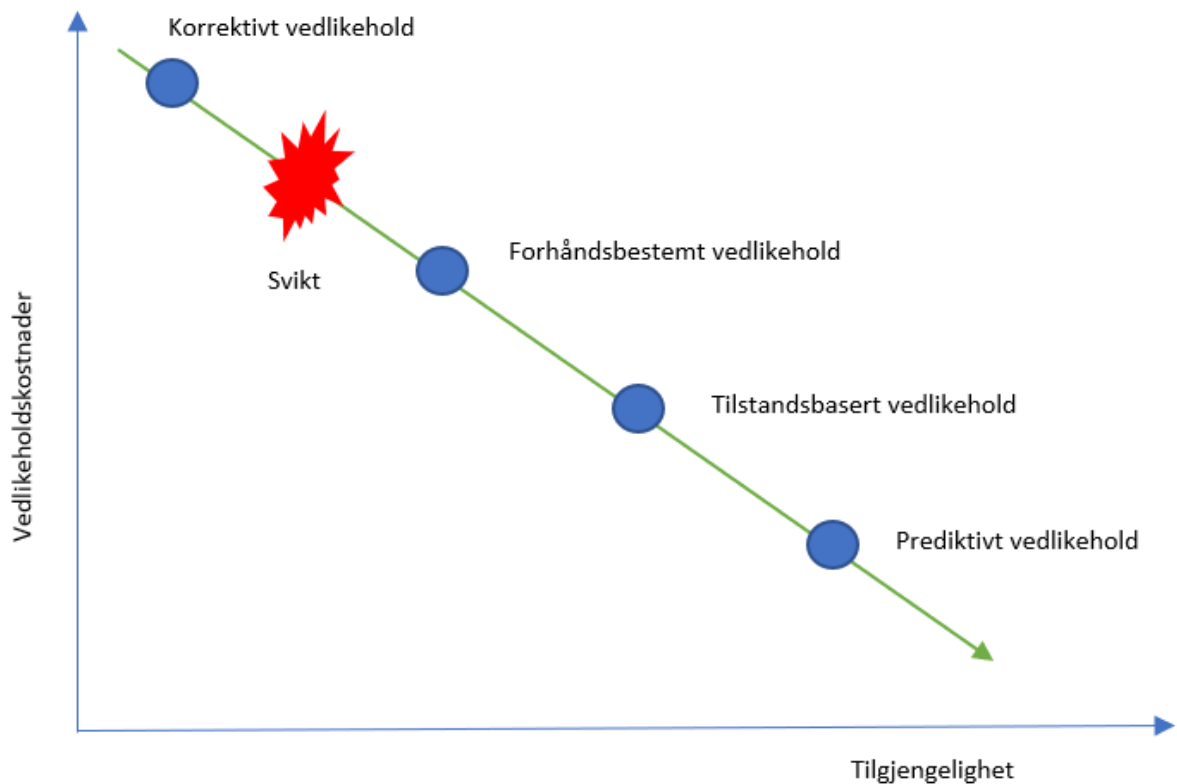
«Tilstandsbasert vedlikehold som utføres etter en prognose utledet av gjentatt analyse eller kjente egenskaper og evaluering av de vesentlige parameterne for degradering av enheten»[1]



Figur 2-16 Sammenligning av vedlikeholdsmodeller

PdM-data gir både diagnostikk og prognostisk informasjon, forteller hva som er galt, hvor problemet er, hvorfor det skjer, indikerer om det er en feil eller en svikt, når svikt vil inntreffe, og om den vil inntreffe. Takket være all denne informasjonen fra PdM-data blir vedlikeholdsarbeidet mer proaktivt, og dermed mer effektivt. Sekundært gir bruken av PdM andre fordeler enn bruk innen vedlikehold. Eksempelvis kan PdM benyttes for å estimere optimal driftstid, evaluere kvaliteten på produserte produkt og maskineffektivitet basert på historiske data.

Konseptet bak PdM stammer fra 1940-tallet. Helt grunnleggende ble det da brukt erfarne operatører og vedlikeholdspersonell som fysisk gikk rundt og brukte sine sanser for å vurdere tilstanden på maskinene. Dette grunnleggende prinsippet er også praktisert i dagens industri som en form for tilstandsvurdering. Videre er PdM kategorisert som en forebyggende vedlikeholdsstrategi sammen med tidsbasert vedlikehold og tilstandsbasert vedlikehold. Se Figur 2-17. Hovedforskjellen mellom tidsbasert vedlikehold og PdM handler om at ved tidsbasert vedlikehold kan vedlikeholdsaksjonene enten komme for sent eller for tidlig, noe som gjerne reduserer systemtilgjengelighet unødvendig. Derfor blir gjerne PdM referert til som «just-in-time» vedlikehold.



Figur 2-17 Preventive vedlikeholdsstrategier og deres kostnader

Utviklingen til det som vi kjenner som PdM i dag er at det nå er sensorer tilgjengelig som tolker de menneskelige sansene som lukt, syn, hørsel og føling uten bruk av mennesker. Videre har utviklingen gjort at tidligere vurderinger som har blitt gjort på komponent-nivå, nå vurderes på et system-nivå der alle parametere til et system blir tolket sammen for å danne et komplett bilde av situasjonen. På det mest avanserte samler PdM data om systemet ved bruk av sensorer og cyber-fysiske system, som evaluerer data, bestemmer tidspunkt for aksjon, organiserer mobilisering av personell og bestiller reservedeler nødvendige for vedlikeholdsaksjonen. Med dette som grunnlag krever PdM en tverrfaglig tilnærming som involverer både ingeniørarbeid og ledelsesaktiviteter.

Ifølge Sule Selcuk[36] er et PdM-program i hovedsak bygd opp av tre elementer:

1. Datainnsamling
2. Databehandling
3. Beslutningsstøtte for vedlikeholdsaksjoner

Videre peker Selcuk[36] på hvilke fordeler man kan forvente seg å oppnå ved bruk av en PdM strategi:

- Redusert risiko for personell og miljø
- Økt pålitelighet
- Økt tilgjengelighet
- Forbedret produktkvalitet
- Reduserte kostnader for reservedeler og arbeidstimer
- Mindre avfall i form av råvarer og forbruksvarer, som for eksempel smøremidler
- Energibesparelser på bakgrunn av mer optimaliserte maskiner

Ifølge US Department of Energy[37] er de gjennomsnittlige industrielle besparelsene på implementering av et fungerende PdM-program basert på «best practice» følgende:

- Avkastning på investering: 10 ganger
- Reduksjon i vedlikeholdskostnader: 25%-30%
- Eliminering av produksjonsstans som følge av svikt: 70%-75%
- Reduksjon i utilgjengelighet (nedetid): 35%-45%
- Økt produksjon: 20%-25%

2.4.3.2 E-maintenance

Bevisstheten knyttet til begrepet e-maintenance har vokst i løpet av de siste årene. Motivasjonen for dette er ifølge [38] todelt. Maskinvare og programvare som benyttes i e-maintenance har utviklet seg i takt med generasjonsskiftet til Industri 4.0 og smart vedlikehold, og i dag kan man enkelt koble seg på internett svært mange steder. Samtidig utvikler produsentene av maskiner seg mot en strategi der de inkluderer service i hele livssyklusen. For dette trenger produsentene verktøy for å ta vare på maskinene på en kostnadseffektiv måte, og det er her begrepet e-maintenance kommer inn. E-maintenance kan betraktes som en teknologi der informasjon er gitt der den er nødvendig. På en annen side er vedlikehold en oppgave som handler om informasjonssamling og deling, når det gjøres på en effektiv måte. I moderne vedlikehold utføres aktivitetene på gunstige tidspunkt før svikt og er basert på behov i stedet for periodiske serviceplaner. I løpet av de siste årene har det blitt gjort mye forskning på ulike aspekter innen e-maintenance. For eksempel gir boken «E-maintenance»[39] en oversikt over resultatene fra et stort europeisk forskningsprosjekt,

«Dynamic Decisions in Maintenance» , som viser den moderne utviklingen av en rekke aspekter ved e-maintenance.

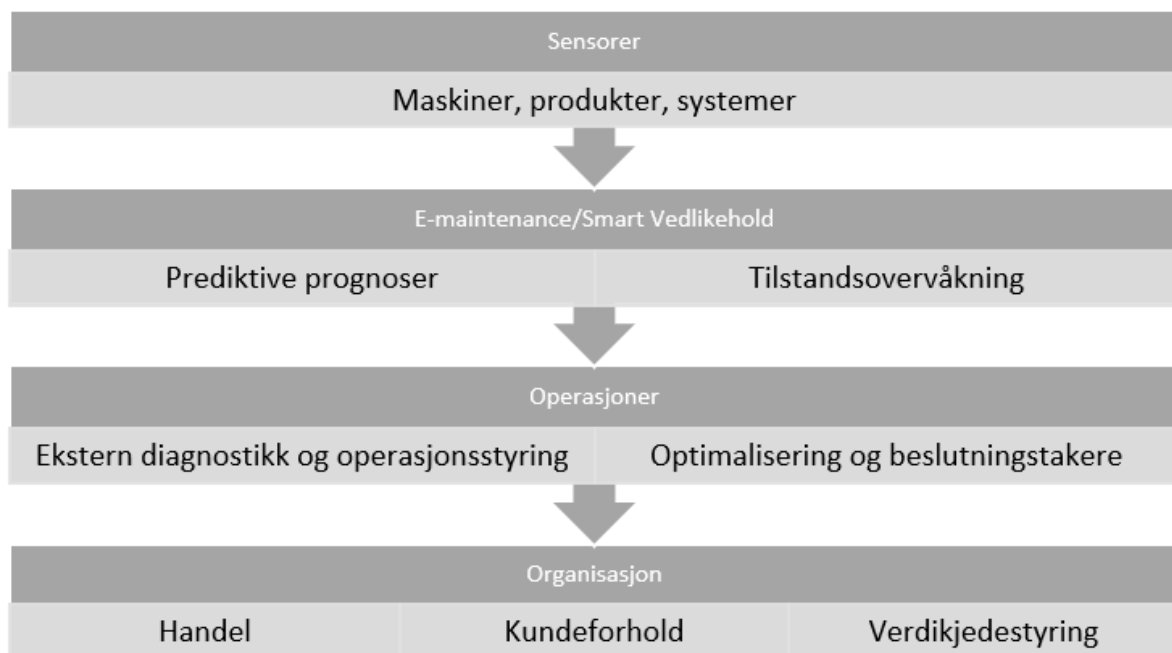
Flere av aspektene knyttet til e-maintenance inneholder mye av teknologien knyttet til Industri 4.0. Eksempelvis peker [38] på følgende aspekter og nøkkelementer knyttet til e-maintenance:

- RFID-teknologi (radiofrekvensidentifikasjon)
- Sensorer
- Prediktiv tilnærming til tilstandsovervåkning
- Data og webtjenester

I [40] har forfatterne foreslått en definisjon på e-maintenance på bakgrunn av standarden EN-13306:2001:

“Maintenance support which includes the resources, services and management necessary to enable proactive decision process execution. This support includes e-technologies (i.e. ICT, Web-based, tether-free, wireless, infotronics technologies) but also, e-maintenance activities (operations or processes) such as e-monitoring, e-diagnosis, e-prognosis, etc”

E-maintenance og smart vedlikehold har mange fellestrekk og kan gjerne bli sett på som de samme begrepene. Begge begrepene fokuserer på informasjonsteknologi som en del av deres operasjoner, der diagnostikk, operasjonsstyring, optimalisering og beslutninger blir styrt utenfra selve kjernen. Videre er grunnlaget for disse begrepene sensorer som overvåker maskiner, produkter og systemer. E-maintenance og smart vedlikehold går gjennom hele den organisatoriske verdikjeden fra kundeforhold og kjøp/salg, til generell operasjonsstyring og optimalisering. Se Figur 2-18 for oppbygging av tanken bak e-maintenance.



Figur 2-18 Oppbygging av E-maintenance/Smart vedlikehold i en organisasjon

Figur 2-18 illustrerer hvordan sensorene representerer den digitale delen av ressurser i en organisasjon. Videre illustrerer figuren hvordan prediktive prognoser og tilstandsovervåkning representerer de digitale vedlikeholdsstrategiene i organisasjonen. Operasjoner blir behandlet på bakgrunn av e-maintenance, hvor optimalisering og beslutninger blir tatt. Avslutningsvis illustrerer figuren hvordan organisasjonen videre styrer handel, verdikjede og kundeforhold. Overordnet illustrerer figuren koblingen mellom maskiner, produkter og systemer, sammen med den overordnede organisasjonsstyringen.

2.4.4 Refleksjon

Gjennom dette kapitlet har flere nye begreper og teknologier blitt presentert. Det er ingen tvil om at Industri 4.0 og dens teknologiske fremskritt vil bli en realitet i industrien i løpet av de neste årene. Et viktig spørsmål som da flere gjerne ønsker svar på er hva fremtidens industri og vedlikehold vil inneholde og hvilke endringer dette vil medføre. I en artikkel kalt «Maintenance in digitalized manufacturing: Delphi-based scenarios for 2030» har forfatterene presentert 34 ulike scenarioer som er veldig sannsynlig at vil være en realitet i løpet av de neste 10 årene.[41] Disse endringene kan enten være en del av det interne arbeidet i bedriften (bedriftsnivå) eller eksterne faktorer knyttet til miljøet og samfunnet. På neste side er det presentert et utvalg av scenarioene som er veldig sannsynlig at vil være en realitet for industrien innen 2030[41] og hvilken teknologi dette inneholder, her oversatt til norsk. Se Tabell 2.

Alle disse scenarioene skaper utfordringer for det fremtidige smarte vedlikeholdet. Utstrakt grad av analyse av data krever store fremskritt i digitaliseringsprosesser. Videre krever omstillingen fra reaktive vedlikeholdsstrategier til faktabasert vedlikeholdsplanlegging en strategi som er bygget opp av prediktive analyser og beslutningsstøtteverktøy. Hovedutfordringen ligger ikke i teknologisk utvikling, da teknologien allerede eksisterer, men i utstakt grad å dra nytte av den. En interoperabilitet mellom digital og fysisk verden vil være en av nøkkelutfordringene å løse for at scenarioene skal bli en fremtidig realitet.

Scenario	Beskrivelse
Analyse av data	Ulike typer data (tilstand, hendelser) fra forskjellige kilder analyseres for å oppdage mønstre
Utdanning og kursing	For å sikre nødvendig kompetanse, legger vedlikehold stor vekt på kontinuerlig opplæring av operatører for å holde tritt med teknologiske utviklinger
Interoperabilitet	Implementering av CMMS og andre informasjonssystemer er blitt standardisert og implementert i bransjen
SMARTE arbeidsprosedyrer	Ny teknologi, data og analysemetoder muliggjør «smarte arbeidsprosedyrer», som for eksempel nåtids overvåkning og fjerninspeksjoner og reparasjoner
Faktabasert vedlikeholdsplanlegging	Faktabaserte beslutninger er grunnlaget for vedlikeholdsplanlegging, spesielt ved hjelp av beslutningsstøtte basert på prediktiv dataanalyse
Vedlikeholdsplanlegging med et systemperspektiv	Vedlikehold er planlagt på bakgrunn av maskintilstand kombinert med et systemperspektiv med sikte på å optimalisere ytelsen til hele produksjonssystemet
Miljølovgivning og standarder	Strengere miljølover og standarder (for eksempel CO2-utslipp og energiforbruk) har økt presset på vedlikehold, som forventes å sikre at maskinene oppfyller alle miljøkrav

Tabell 2 Sannsynlige scenarier for fremtidig vedlikehold

2.4.5 Smart vedlikehold mot den innovative kraft

I hjertet av det vedlikeholdsbaserte Industri 4.0 finner man begrepet smart vedlikehold. Smart vedlikehold handler om mye av det som allerede har blitt nevnt i de tidligere kapitlene og det som skal videre presenteres i denne oppgaven. Smart vedlikehold omhandler alt fra hvordan man adapterer en optimal vedlikeholdsstrategi til hvordan sensorer danner grunnlaget for maskiners tilstand. Videre omhandler smart vedlikehold bruken av avanserte algoritmer innen big data og prediktivt vedlikehold.

Smart vedlikehold danner grunnlaget for hvordan man knytter sammen teknologiske nyvinninger i lys av Industri 4.0. Disse nyvinningene består i all hovedsak av teknologi knyttet til informasjonsteknologi og hvordan informasjon knytter sammen den digitale og fysiske verden. Det knytter videre sammen alle de tilgjengelige datakildene for å virkelig forstå verdien av data i et industrielt miljø.

De innovative teknologiske løsningene på flere av utfordringene knyttet til vedlikehold danner for eksempel grunnlaget for organisasjonens mulighet til å oppnå status som WCM. I Figur 2-10 ble det introdusert nøkkelpunkter for en fremtidig WCM-bedrift. En av hovedtrendene peker på bruken av kommersiell teknologi. Dette vil si at for å kunne oppnå en status som WCM, vil smart vedlikehold og teknologiske applikasjoner som CMMS, expert-system og sensorer være eksempler på tilgjengelig teknologi som underbygger en målsetning om å nå WCM. Dette kan videre samhandles med kapitlet som omhandler både barrierestyring og vedlikeholdets funksjon for opprettholdelse av systemintegritet.

Videre peker Figur 2-10 på en annen hovedtrend som kjennetegner WCM. Dette er at vedlikeholdsorganisasjonen er lærende. Teknologiske nyvinninger er sentralt i denne læringen. Det er nå datamaskiner som står i sentrum i en organisasjon, og disse datamaskinene lærer mye for mennesket. Datamaskinene presenterer hva den har lært og hvilke fordeler dette har generert. Eksempelvis presenterer nå datamaskiner hvilke vedlikeholdsaksjoner som skal gjennomføres, hvilken tilstand maskiner er i, og i all hovedsak styrer vedlikeholdsfunksjonene.

Smart vedlikehold vil gjerne tolkes generisk, da smart vedlikehold benytter seg av teknologi under stadig utvikling. Smart vedlikehold i denne oppgaven vil gjerne ikke være smart vedlikehold i fremtiden da nye teknologiske nyvinninger og løsninger har blitt introdusert.

2.4.6 Society 5.0 – Et fremtidssamfunn hvor menneske og teknologi spiller sammen

“Society 5.0 is not something to come, but something to co-create”[42]

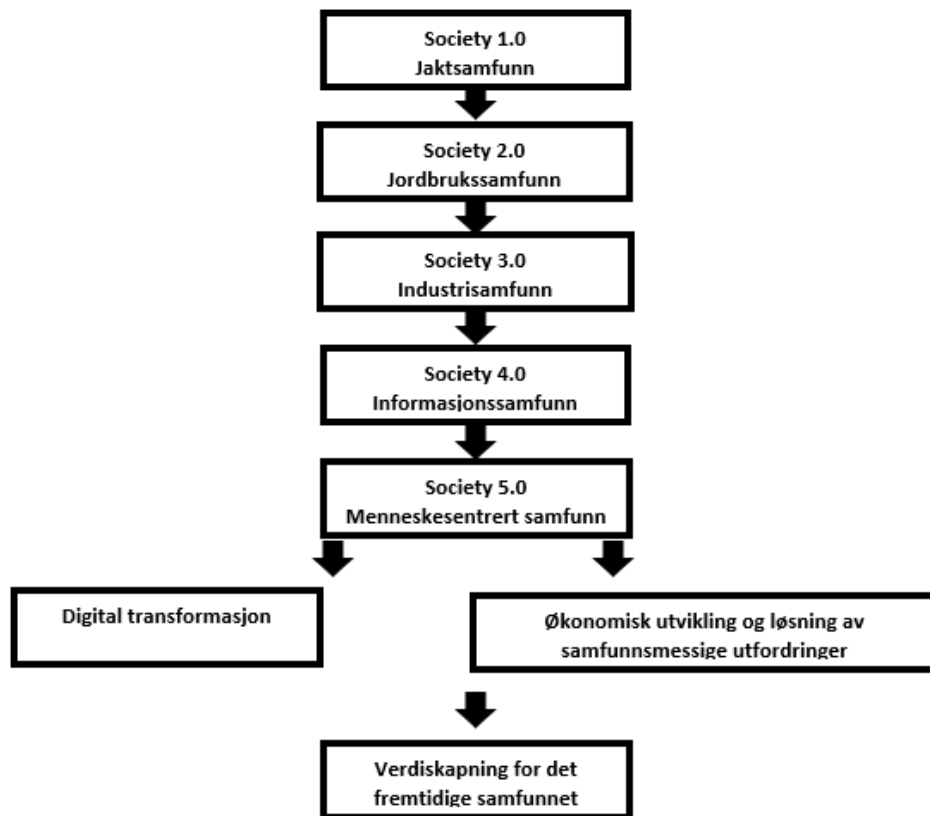
Den raske utviklingen av informasjons- og kommunikasjonsteknologi gir drastiske endringer i samfunnet og i industrien. Digital transformasjon vil skape nye verdier og er i mange tilfeller grunnleggende i industrien i mange land. I påvente av denne transformasjonen og globale trender ble Society 5.0 presentert i Japan i 2016. Dette ble identifisert som en vekststrategi for det japanske samfunnet.

Society 5.0 ble fremsatt av den japanske regjeringen og er et tydelig konsept. Utviklingen er illustrert i Figur 2-19 med inspirasjon fra [42]. Når man ser tilbake på menneskets historie, kan det defineres ulike utviklingsstadier av samfunn. Society 1.0 er definert som grupper av mennesker som jakter og samles i sameksistens med naturen. Society 2.0 dannet grupper basert på jordbrukskultur, økende organisering og nasjonsbygging. Society 3.0 er et samfunn som fremmer industrialisering gjennom industrielle revolusjoner, som gjør masseproduksjon mulig. Society 4.0 er et informasjonssamfunn som realiserer økt sammenkobling ved å forbinde ulike informasjonsnettverk. Society 5.0 er et informasjonssamfunn som bygger videre fra forrige samfunnsutvikling, med sikte på å bygge et velstående samfunn hvor mennesket står i sentrum. Målet med utviklingen er å skape et menneskesentrert samfunn der både økonomisk utvikling og løsning av samfunnsmessige utfordringer oppnås, og hvor mennesker kan oppnå en høy livskvalitet. Det er et samfunn som aktivt vil delta i å støtte de ulike behovene mennesket har, uavhengig av religion, alder, kjønn og språk.

Nøkkelen til realiseringen ligger i fusjonen mellom cyberspace og den virkelige verden for å generere datamateriale, og derfra skape nye verdier og finne løsninger på utfordringer. Denne visjonen, hentet fra Japan, er å streve etter et nytt menneskesentrert samfunn hvor man løser samfunnsrelaterte spørsmål.

Mens Society 5.0 er Japans vekststrategi, er det ikke begrenset til Japan, da målene er de samme for deltagere av FNs bærekraftige utviklingsmål. De utfordringene som Japan står ovenfor, eksempelvis en aldrende befolkning, fallende fødselsrate, befolkningsreduksjon og en aldrende infrastruktur, er utfordringer som mange andre land til slutt vil møte. Japan er ikke overraskende en av de første nasjonene til å møte disse utfordringene. Ved å tidlig utvikle samfunnet og teknologien gjennom Society 5.0, og ved å dele dette med verden, kan Japan

bidra til å løse lignende utfordringer over hele verden og være en nøkkelbrikke i å oppnå FNs bærekraftige utviklingsmål.



Figur 2-19 Society 5.0 - Verdiskaping for det fremtidige samfunnet

Følgende eksempler på fremtidige trender vil ifølge [42] kjennetegne Society 5.0:

Byer og regioner

I urbane områder vil data knyttet til energibruk, transport, logistikk, avfall osv. bli delt for å fremme smartere løsninger. Introduksjon av autonome systemer som automatiserte kjøretøyer og delingsøkonomier vil støtte ulike livsstiler, samtidig som miljøpåvirkningen raskt reduseres.

Energi

For å realisere bærekraftig livskvalitet hvor som helst, inkludert smarte byer og desentraliserte samfunn, vil energimiksen endres og data vil bli utnyttet for å etablere effektive energinett.

Helsevesen

Livslange helsetjenester, inkludert medisin og pleie, vil bli endret. Teknologiske trender som digitalisering av individuelle fysiske egenskaper vil kunne bli benyttet til å gi omsorg til dem som virkelig trenger det, basert på fysisk tilstand.

Produksjon og tjenester

Bruk og fordeling av evner innen kunstig intelligens vil kunne gi kraftige verktøy for produksjons og leverings-tjenester. Store investeringer har blitt lagt inn i analyser av data for å lage varer og tjenester mest mulig effektivt. Gjennom digital transformasjon, vil disse evnene bli tilgjengelige for flere mennesker. Kombinasjonen av digital transformasjon og kunstig intelligens muliggjør enda raskere produksjonsprosesser, og man kan levere tjenester av enda høyere kvalitet.

Hovedfaktoren i det neste samfunnet vil være mennesket. Det er et samfunn realisert av mennesker som forfølger ulike verdier med ulik fantasi og kreativitet. Videre er hovedmålet med Society 5.0 å realisere et samfunn hvor folk utnytter livene sine til det fulle. Økonomisk vekst og teknologisk utvikling underbygger denne muligheten for alle, ikke bare makteliten. Uansett om konseptet bak et fremtidig samfunn ble realisert i Japan, er ikke tanken at samfunnet kun skal utvikles i dette landet. Rammene og teknologien utviklet der vil uten tvil løse samfunnsmessige utfordringer over hele verden.

Society 5.0 offers a new growth model with a view of “solving social issues” as well as “creating a better future”, which contributes to the achievement of SDGs



Figur 2-20 Det fremtidige samfunnet - Society 5.0[43]

Figur 2-20 ovenfor er hentet fra japansk forskning og er kun tilgjengelig på engelsk på bakgrunn av at tankegangen og konseptet er svært ferskt. Figuren illustrerer svært godt innholdet i det fremtidige samfunnet og hva konseptet innebærer i form av endringer og muligheter. Figuren illustrerer videre hvordan konseptet fokuserer på de 17 bærekraftmålene satt av FN.

3. Sensorer som en del av fremtidens vedlikehold

«Sensorteknologi vil lede verden inn i den digitale fremtiden»

Den neste fasen av digital transformasjon har kommet, og den strekker seg utover det vide internett med tilkoblinger til milliarder av enheter som samler og overfører data fra evigvarende sensorer.

Denne nye bølgen av innovasjon utvider den digitale horisonten utover enheter som datamaskiner og smarttelefoner. Hvis en gjenstand har en eller annen form for kommunikasjonsmulighet, kan det være et smart, tilkoblet knutepunkt i Internet of Things eller innenfor et hvilket som helst autonomt system som tilkoblede biler, smarte bygninger og byer.

Dette fenomenet blir av mange ansett som å være fundamentalt digitalt. Tross alt er IoT et nettverk som gjør at milliarder av datapunkter kan lagres i skyen, for deretter å behandles og analyseres av sofistikert programvare. Men selve kjernen i disse digitale endringene er sensorer, digitale koblingspunkter som eksisterer overalt og som måler og representerer fysiske fenomener som lys, varme, bevegelse og lyd. Disse sensorene står for koblingen mellom det digitale nettverket og den virkelige verden.

Mens sensorer har eksistert i enkel form i svært lang tid, utvikler dagens sensorer seg raskere enn noensinne for å støtte veksten av milliarder av nye enheter. Teknologiske innovasjoner har gjort sensorer kapable til å benyttes i svært mange applikasjoner. Ekspertene anslår at universet av sensorer vil vokse eksponentielt og innen 2030 bestå av over 100 billioner enheter. Disse sensorene vil drive alt fra robotteknologi til selvdiagnostiserende enheter.

3.1 Introduksjon til sensorteknologi

«En sensor er en enhet som oppdager og responderer på input fra det fysiske miljøet tilknyttet sensoren»[44]

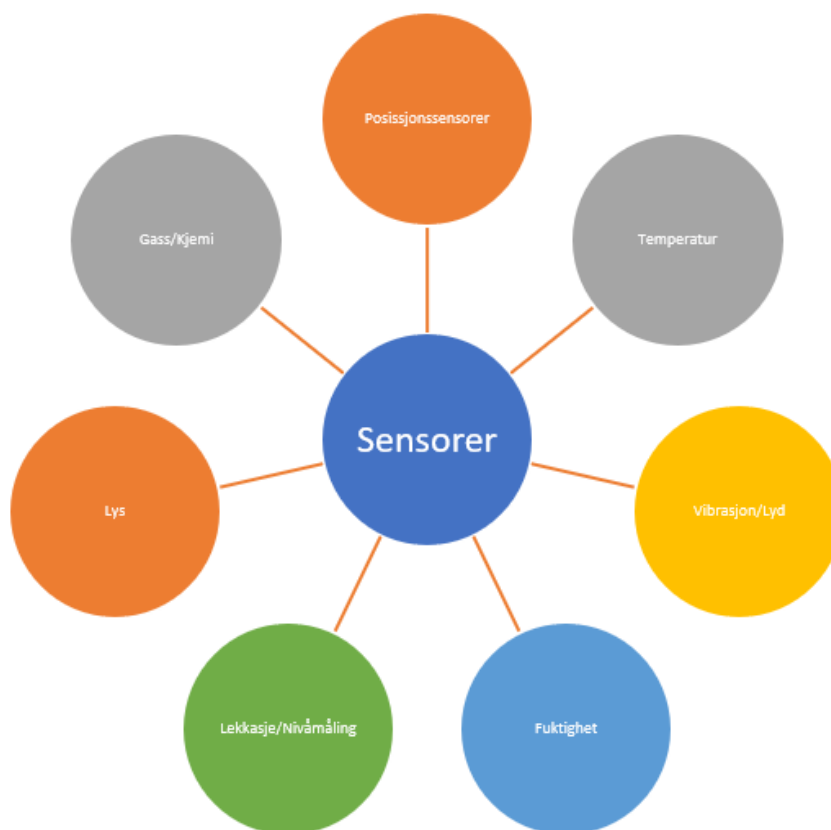
En sensor er en enhet som omdanner en fysisk parameter til et elektrisk signal. Som sådan representerer sensorer en del av grensesnittet mellom den fysiske verden og verden av elektriske enheter, slik som for eksempel datamaskiner. Den andre delen av dette grensesnittet er representert av aktuatorer som konverterer elektriske signaler om til fysiske handlinger, slik som for eksempel automatiske døråpnere.

I de senere årene har store muligheter for informasjonsbehandling blitt utviklet innen elektronikkindustrien. Det mest tydelige eksemplet på denne utviklingen er datamaskinene. I tillegg har tilgjengeligheten av billige mikroprosessorer en stor innvirkning på utformingen av innebygde databehandlingsprodukter, alt fra biler til mikrobølgeovner og leker. I løpet av de siste årene har versjoner av disse produktene som bruker mikroprosessorer for kontroll av funksjonalitet blitt allment tilgjengelige. I biler er slik teknologi eksempelvis nødvendig for å redusere forurensninger. I andre tilfeller tilbyr slik teknologi bare en rimelig ytelsesfordel.

3.2 Sensorteknologi

Sensorer er bygd opp av ulike komponenter som kan innhente informasjon om miljøet, prosessere data og kommunisere med andre sensorer og datamaskiner. En sensor responderer på fysisk stimulans som for eksempel varme, lyd, trykk og produserer et målbart elektrisk signal som sendes videre for bearbeiding. Se Figur 3-1. Sensorer som inneholder komponenter med måleinstrumenter, minne og en prosessor kan bli programmert av programmer som definerer videre bearbeiding av data. Dette kan for eksempel være å sende data opp i skyen for deretter å bli presentert oversiktlig på en app.

I de neste delkapitlene vil et utvalg av sensorer bli presentert og forklart nærmere. Avslutningsvis vil to utvalgte selskaper som leverer slike sensorer bli presentert.



Figur 3-1 Ulike typer sensorer og deres applikasjoner

3.2.1 Vibrasjonssensorer

Ører og hender er veldig subjektive når de føler vibrasjoner. Tiden da vurdering av en maskins tilstand ble gjort på hensyn av lyd og berøring har utviklet seg mot en mer teknologisk tilnærming, der sensorer og trendanalyser spiller en viktig rolle for å tidlig kunne predikere en maskins feilutvikling.

For å gjøre objektive og informerte beslutninger, foretrekker beslutningstakere å ha konsistente, trendbaserte data som regelmessig kan brukes.[45] En maskins vibrasjonssensorer, i kombinasjon med et avlesingssystem, kan gi denne objektive informasjonen, noe som gjør det mulig å oppnå en mer presis vurdering av maskinens tilstand.

Vibrasjonsovervåkning og analyser er den mest brukte metoden for tilstandsovervåkning og kan brukes på alle slags roterende komponenter og maskiner som aksler, lager, gir, vifteblad, motorer, pumper, generatorer, kompressorer, girkasser osv.[46] Når disse er i roterende bevegelse, genererer disse karakteristiske vibrasjoner der frekvensen styres av komponentens rotasjonshastighet, geometri og deres interaksjon med andre komponenter. Amplituden av

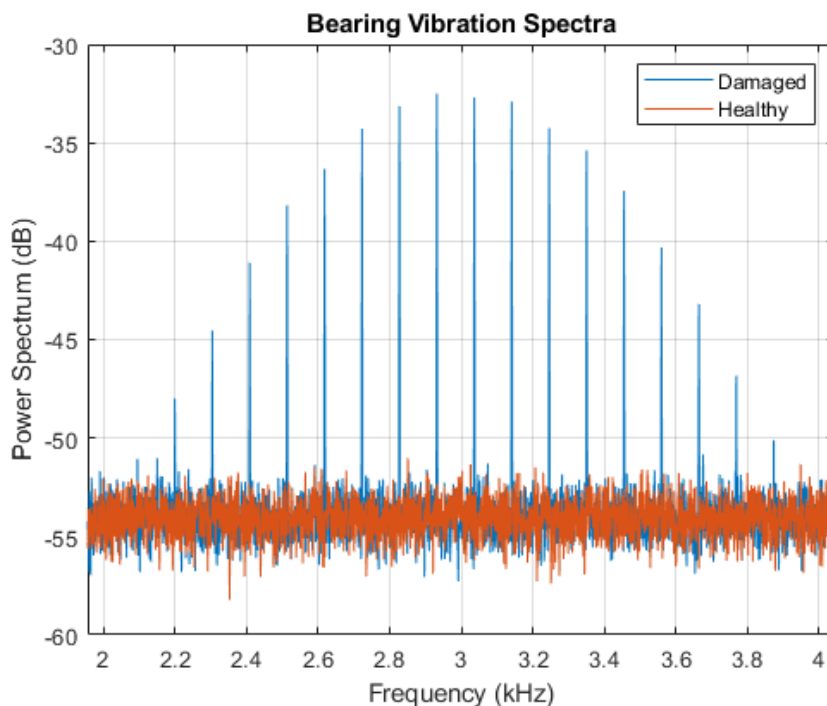
vibrasjonen ved en bestemt frekvens er forutsigbar, men vil øke ettersom slitasje eller skader oppstår og endringer i amplitude brukes til å oppdage utbruddet av en forestående svikt. Til dette benyttes det gjerne trendanalyser som tidlig kan oppdage og varsle før en svikt inntreffer.

De typiske sviktårsakene som vibrasjonssensorer kan detektere, i kombinasjon med en omtrentlig sannsynlighet for at svikt inntreffer har blitt presentert av [45] og gjengitt på tabellen nedenfor.

Ubalanse	40%
Forskyvning	30%
Resonans	20%
Lager	10%
Motorvibrasjoner	8%
Pumpekavitasjon	5%

Akselerometer er den vanligste typen sensorer som blir brukt i dag for overvåkning av vibrasjoner i en maskin. Bruken av akselerometer i industrisektoren er primært rettet mot å utvide levetiden til maskinen ved å kunne forutse svikt og tillate vedlikehold å gjennomføres på et tidlig tidspunkt.

Figur 3-2 illustrerer eksempelvis hvordan vibrasjonsspektrumet for et gitt lager i en maskin ser ut, og hvordan en feilutvikling kan vises på bakgrunn av dette.[47]



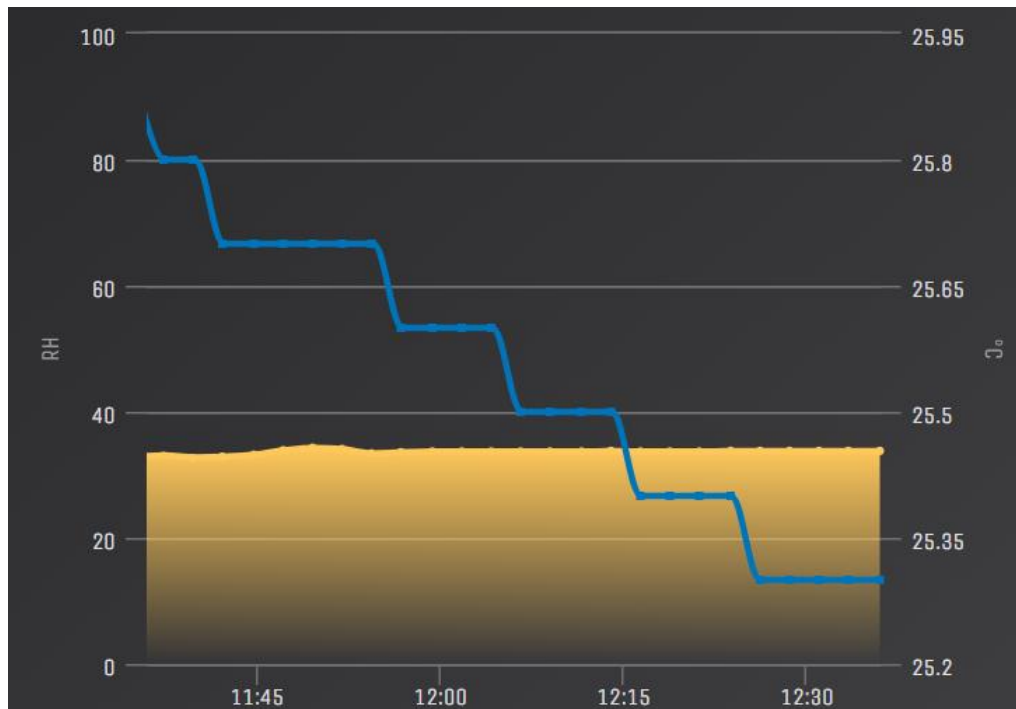
Figur 3-2 Vibrasjonsspektrum eksempel[47]

3.2.2 Temperatursensorer

Fordi temperatur kan ha en så betydelig effekt på materialer og prosesser ned på molekylært nivå, er det den mest merkbare av alle målbare variabler. Temperatur er definert som en bestemt grad av varme som refererer til en bestemt skala som Celsius, Kelvin og Fahrenheit. Det kan også defineres som mengden varmeenergi i en gjenstand eller et system. Temperatursensorer oppdager en endring i en fysisk parameter som motstand (resistance) eller spenning som tilsvarer temperaturendringen. Det finnes ifølge [45] to grunnleggende typer for temperaturmåling:

- Kontaktmåling av temperatur krever at sensoren er i direkte fysisk kontakt med mediet eller objektet som måles. Det kan brukes til å overvåke temperaturen på faste materialer, væsker og gasser over et bredt temperaturområde
- Ikke-kontaktmåling tolker stråleenergien til en varmekilde i form av energi som sendes ut i den infrarøde delen av det elektromagnetiske spekteret. Denne metoden kan brukes til å overvåke ikke-reflekterende faste stoffer og væsker, men er ikke effektivt på måling av gasser på grunn av deres naturlige gjennomsiktighet

I Figur 3-3 ser man temperaturutviklingen i et gitt rom over 2 timer på en vilkårlig dag. Nøyaktigheten på sensoren som er brukt i dette tilfellet er svært nøyaktig og måler både temperatur og relativ luftfuktighet kombinert. Denne type sensor er av den første kategorien nevnt ovenfor, kontaktmåling.



Figur 3-3 Sensoravlesning for temperaturutvikling

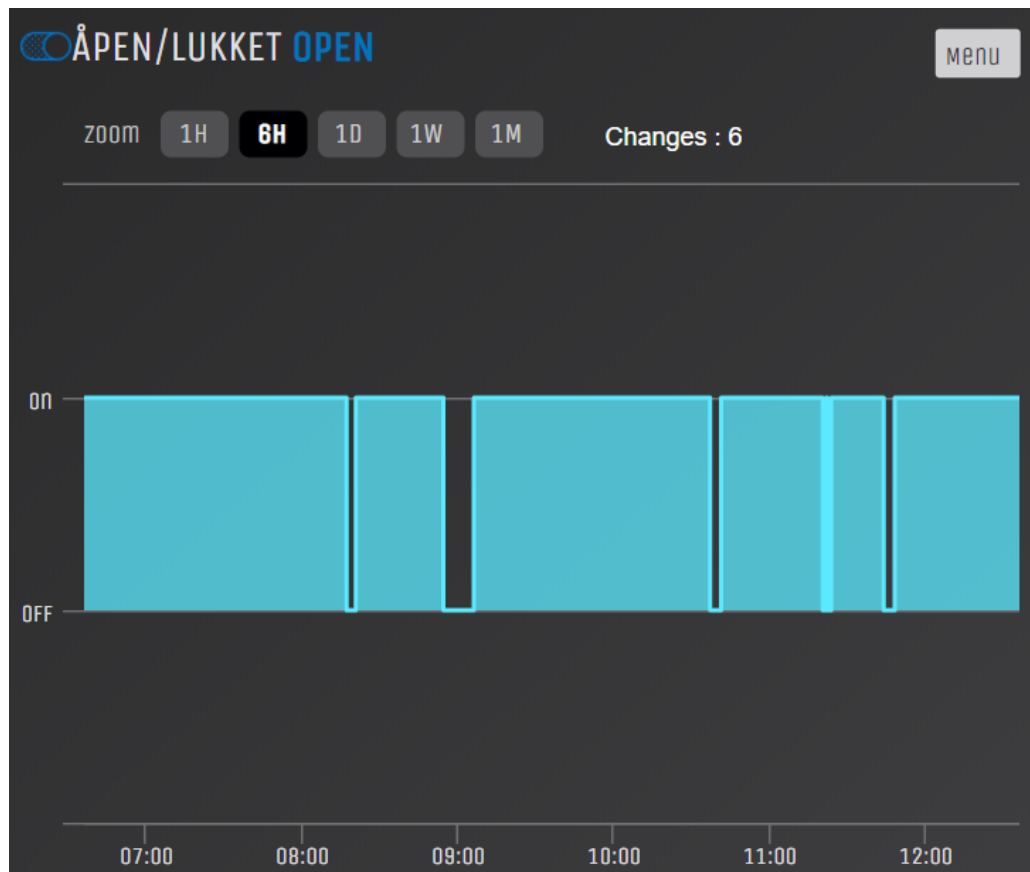
3.2.3 Posisjonssensorer

Posisjonssensorer spiller i økende grad en rolle i vårt daglige liv. De er tilstede i våre hjem, i våre biler, og på våre arbeidsplasser. Ettersom teknologi knyttet til posisjonering forbedres, fortsetter enhetene å bli mindre, bedre og billigere, og åpner veien for flere bruksområder enn tidligere.

Som navnet tilsier, gir posisjonssensorer tilbakemelding på posisjoner. De kan utføre nøyaktig bevegelsesdetektering, koding og telling av funksjoner ved å bestemme tilstedeværelse eller fravær av et mål eller ved å oppdage bevegelse, fart, retning eller avstand. Posisjonssensorer detekterer et objekt, en person, et stoff eller forstyrrelsen av et magnetisk eller elektrisk felt og konverterer den fysiske parameteren til en elektrisk måling for å indikere målets posisjon.

Det er flere måter å føle/kjenne posisjonen til et objekt. Eksempelvis grensebrytere og potensiometere, som involverer fysisk kontakt med det aktuelle objektet. Disse kalles

kontaktposisjonssensorer. Kontaktposisjonssensorer viser seg ofte å være de mest simple sensorene som har de laveste kostnadene, og der kontakt med objektet er akseptabelt. Sensorprodusenter har videre utviklet teknologi knyttet til kontaktløse sensorer, som ikke har fysisk kontakt med måleobjektet og ikke slites ut fra gjentatt kontakt. Eksempel på kontaktløse sensorer vises i Figur 3-4 der sensorene angir om objektet er i åpen eller lukket posisjon i tillegg til å telle antall interaksjoner i et forhåndsbestemt tidsområde.



Figur 3-4 Posisjoneringssensorer

3.2.4 Fuktighetssensorer

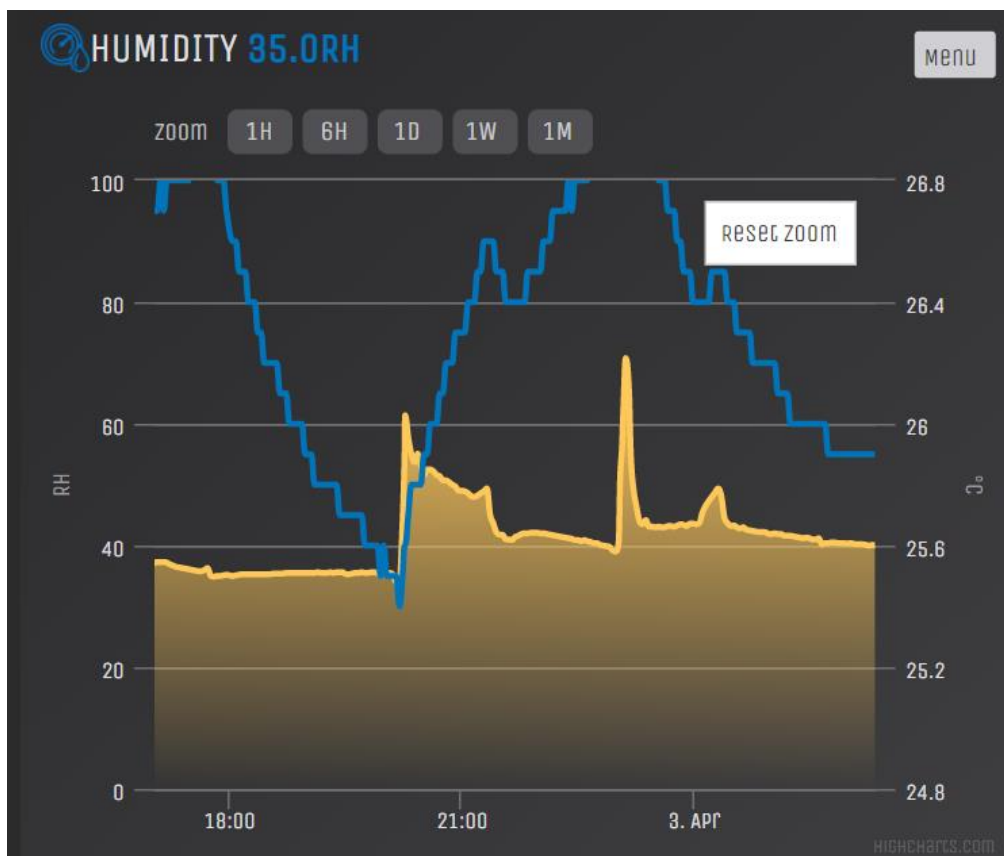
Fuktighet er definert som vanninnholdet i luft eller andre gasser.[45] Fuktighet måles vanligvis i form av absolutt fuktighet (forholdet mellom massen av vanndamp til volumet av luft eller gass), duggpunkt (temperatur og trykk hvor en gass begynner å kondensere til en væske) og relativ luftfuktighet, eller RH (forholdet mellom fuktighetsinnholdet i luft sammenlignet med mettet fuktighetsnivå ved samme temperatur eller trykk).

Sensorer av typen som måler varmeledning, også kjent som fuktighetssensorer som måler absolutt fuktighet, er i stand til å måle absolutt fuktighet ved hjelp av et system som benytter to termistorer i en broforbindelse, selv ved høye temperaturer eller i forurensede miljøer.

De vanligste fuktighetssensorene er ifølge [45] følgende:

- Kapasitive sensorer
- Resistive sensorer
- Sensorer som måler varmeledning

Figur 3-5 viser et eksempel på hvordan relativ luftfuktighet (RH) måles og vises i en graf (gul graf tilsvarer RH, mens blå graf indikerer temperatur). Sensoren brukt i dette eksemplet er av den første typen, kapasitiv, som er den eneste typen sensor som nøyaktig kan måle ned til 0% RH.



Figur 3-5 Sensoravlesning for fuktighetsmåling

3.2.5 Lyssensorer

Deteksjon av lys er et grunnleggende behov for alt fra enheter til planter og dyr. I tilfelle av planter er lys det grunnleggende i livet og den livsviktige fotosyntesen. Forskere har jobbet

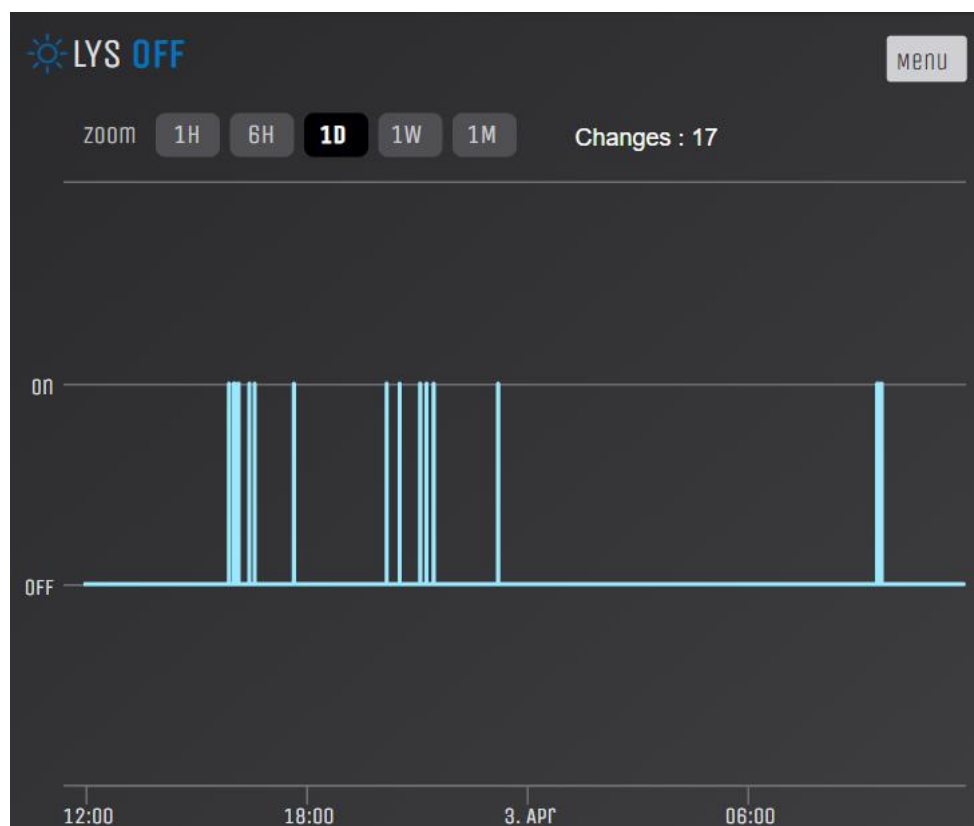
med teknikker og teknologi for lysdeteksjon i mange år, og har utviklet enheter som gir utmerket ytelse og gode resultater.

Militæret har vært en hoveddriver for forskning knyttet til deteksjon. Enheter for lysdeteksjon er av fundamental betydning for militæret, og den utbredte tilgjengeligheten av modne og billige fotosensorer er et direkte resultat av investering i forskning gjennom mange år.

Lysdetektorer kan ifølge [45] deles inn i to grunnleggende kategorier:

- Kvantedetektoren omdanner innkommende stråling direkte til et elektron og prosesserer den resulterende strømmen i en elektronisk krets som sender signal
- Detektor som måler termisk energi absorberer energien og opererer ved å måle temperaturendringen med et termometer

Sensorer som detekterer lys kan ha flere virkeområder. Eksempelvis kan sensorene avgjøre om lys i et rom er tilstede, alarmere om det oppstår lys i sikringsskap og telle antall interaksjoner med lys over et gitt tidsområde. Figur 3-6 viser eksempel på hvordan en sensor, av typen kvantedetektor, reagerer på lys og hvilke resultat som blir presentert.



Figur 3-6 Sensoravlesning for lysgjennkjenning

3.2.6 Strømnings- og nivå-sensorer

Strømnings-sensorer brukes i mange overvåknings- og kontrollsystemer for å måle både luft og væskestrøm. Det er flere måter å definere strømning på slik som massestrøm, volumstrøm, laminær strøm og turbulent strøm. Vanligvis er det mengden av substansen som flyter (massestrøm) den vanligste og viktigste.[48] Dersom væskens tetthet er konstant, er måling av volumstrøm gjerne enklere å utføre. Det er mange pålitelige teknologier og sensortyper som brukes til dette formålet. Eksempelvis brukes strømningsmålere på oljeplattformer for å definere hvor mye olje og gass som produseres hver dag, og hvordan inntektene skal deles mellom eierne.

Noen teknologier har blitt brukt på både luft- og væskestrømsmålning, da deres prinsipper for operasjon kan brukes i begge områdene. Andre teknologier fokuser gjerne på en av dem for mest nøyaktige målinger.

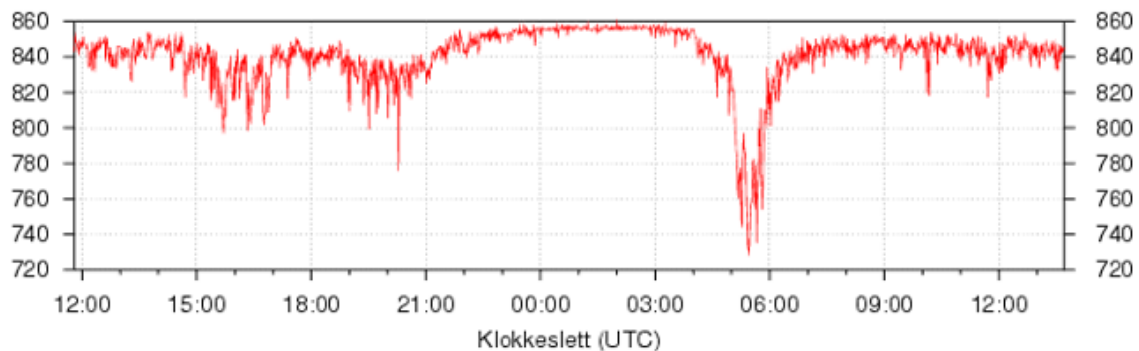
I tillegg til strømnings-sensorer eksisterer nivå-sensorer eller nivå-målere. Disse brukes gjerne i helt hverdagslige maskiner som bil, vaskemaskin og støvsuger for å regulere nivået av en gitt substans. Kombinasjonen av strømnings- og nivå-sensorer brukes gjerne for å definere «hvor mye» det er av en gitt substans til enhver tid, og brukes i svært utstrakt grad i industrier over hele verden. Begge måleprosessene er videre en ganske komplisert form for måling.

3.2.7 Trykksensorer

Trykksensorer konverterer trykk til elektriske signaler for å måle trykk, kraft og luftstrøm. Disse målingene brukes til å styre alt fra drivstoff i en bil til utslipp fra bilens eksosystem. Trykksensorer brukes videre i medisinsk utstyr for å overvåke blodtrykk og oppdage medisinske problemer som hørselskade og endringer i hjerterefrekvens. Produksjons- og prosessindustrien bruker trykksensorer for å kontrollere maskiner og prosesser. De er videre avgjørende i driften av VVS-systemer, kraner og gravemaskiner. De måler høyde og hastighet på fly og er en påkrevd funksjon i alle kommersielle fly.

Dersom det skal måles trykk, kraft eller luftstrøm er det tilgjengelige sensorer designet for dette. Dagens trykksensorer gir en høy grad av repeterbarhet, nøyaktighet og langvarig stabilitet ved trykk som spenner fra noen få Pascal til flere tusen Pascal.

I Figur 3-7 viser det hvordan en trykksensor oppdager et fall i vanntrykket i en rørledning. Som man ser ut av grafen vart et trykkfall oppdaget rundt klokken 06:00, før trykket utlignet seg rundt en time senere.



Figur 3-7 Eksempel på trykkfall i rørledning[49]

3.2.8 Sensorleverandører

3.2.8.1 EL-Watch

El-Watch er et teknologiselskap som utvikler og produserer energieffektiv elektronikk og trådløs kommunikasjon. Selskapet stammer fra Rindal i Trøndelag og har sitt hovedfokus på utvikling av neuron sensorer. Neuron sensorer gir brukeren en oversikt over ulike måleparametere innad i organisasjonen slik som maskiner, prosesser, bygg og kjøretøy.[50]

Alle sensorer som er brukt som eksempler tidligere i kapittel 3 er sensorer levert av El-Watch, og avlesninger kommer fra deres Neuron-program for sensorovervåkning.

El-Watch leverer ifølge deres hjemmeside følgende sensorer per dags dato (Februar 2019):

Produkt	Bruksområde
NEURON humidity and temperature	Måling av fuktighet og temperatur for inneklime, kjølelager og ventilasjonsanlegg
NEURON surface temperature	Måling av overflatetemperatur. Temperatur på maskiner, kabler og annet
NEURON water detector	Måling av overflatevann. Vann på gulv som følge av lekkasjer
NEURON pressure	Måling av trykk i luft og væske. Nivåmålinger av væske
NEURON open/closed	Måling av aktivitetsnivå i rom. Åpning/lukking av skap, spjeld og dører
NEURON light	Lys av/på
NEURON PT100	Temperatur i væske
NEURON PT100 high temperature	Temperatur på særlig varme overflater
NEURON dry contact	Motorvern. Detektere kontakt mellom to koblingspunkt
NEURON current	Digitalisere analoge sensorer
NEURON voltage	Måling av spenning. Sender analoge signaler online

Tabell 3 EL-watch sensorer

Eksempel på en av sensorene som leveres av EL-watch presenteres i Figur 3-8.



Figur 3-8 Sensor levert av EL-Watch[51]

3.2.8.2 ABB

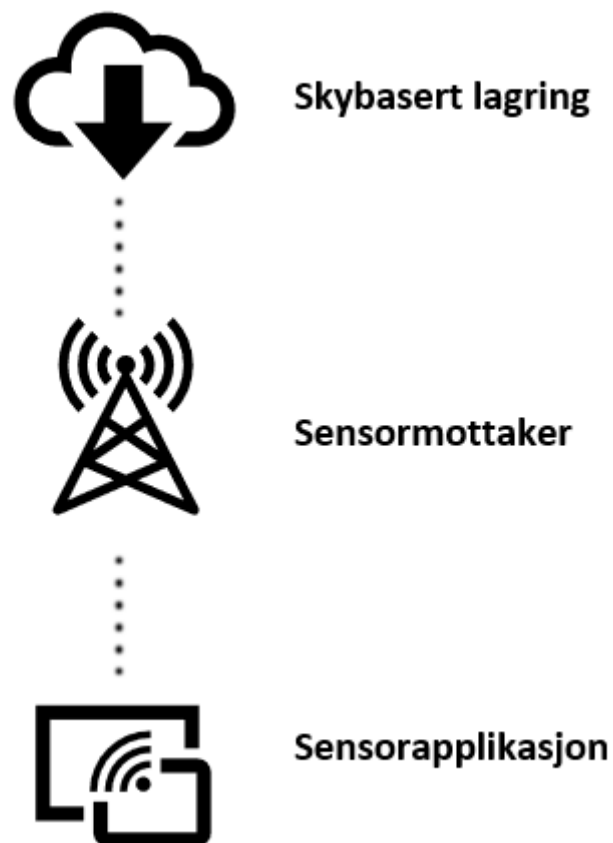
ABB er en ledende teknologibedrift innen kraftnett, elektrifisering, industrialisering og roboter. ABB Ability er satsningen knyttet til Industri 4.0 og nye teknologiske innovasjoner. ABB Ability knytter sammen industrier ved bruk av sensorer, skylagring, statistiske analyser og prediktivt vedlikehold.

Fordelene ABB presenterer ved bruk av deres Ability system og sensorer:

- Lavere drift og vedlikeholdskostnader og forlengt levetid på komponentene gjennom prediktivt vedlikehold
- 30 % i reduksjon av operasjonelle kostnader knyttet til automatiserte datasamlingssystemer og analyser
- Redusert nedetid og økt ytelse basert på avansert statistisk data

ABB Ability plattform er en integrert industriell internett og skybasert plattform som lar bedrifter utnytte fordelene av industriell data. Programmet lar kunder sikkert benytte dataen for videre utvikling innen ytelse, produktivitet og effektivitet.

For en forenklet versjon av hvordan sensorer og skyen fungerer sammen, se Figur 3-9.



Figur 3-9 Oversikt over hvordan sensorer, mottaker og skylagring er koblet sammen

ABB leverer i dag sensorer knyttet til blant annet motorer, hjullager, pumper og kraftoverføring. Se Figur 3-10 for eksempel der sensoren er koblet direkte på en motor for overvåkning av vibrasjoner og temperatur.



Figur 3-10 ABBs Smart Sensor[52]

3.2.9 Refleksjon

Industribedrifter, husholdninger, vannverk og andre benytter i dag sensorer i helt dagligdagse applikasjoner. Mange er nok ikke klar over viktigheten sensorer har i den vanlige hverdag. Sensorer overvåker biler, kjøleskap, maskiner og telefoner i en svært utstrakt grad.

Sensorene som har blitt presentert i dette kapitlet er ment å like naturlig kunne benyttes slik som sensorene i bilen benyttes. Etersom sensorer blir mer og mer tilgjengelige i kombinasjon med pålitelighet, batteritid og måleparametere vil det bli mer naturlig å bruke sensorer som en sentral del av en vedlikeholdsorganisasjon, og som en sentral del av bedriften som en helhet, da svært mange parametere som kan overvåkes også er interessante for andre i organisasjonen.

Hensikten bak presenteringen av ulike sensorer og leverandører er å belyse hvilke teknologier som i dag eksisterer. Leverandørbedrifter arbeider hardt mot å kunne levere de enkleste og mest robuste sensorene til industrien. Dette arbeidet danner et viktig grunnlag i utviklingen mot en digitalisert produksjons- og vedlikeholdsprosess. Fremstillingen av enkelheten av sensorer har vært et mål med dette kapitlet, da oppgaven ønsker at industribedrifter skal kunne se muligheten disse sensorene representerer.

Motstandere av sensorer vil gjerne si at deres gamle metoder for tilstandsovervåkning, prosesser og tradisjoner stiller sterkere enn det sensorer gjør. Motstandere av ny teknologi vil alltid eksistere, men historien viser at ny teknologi kommer til å innføres på et eller annet

tidspunkt likevel. Derfor er det viktig å ta innover seg den teknologiske utviklingen vi nå er inne i, og heller omfavne den i stedet for å avstøte seg den.

Et viktig ankepunkt eller etisk dilemma å spørre seg om er hvor langt vi skal stole på teknologien. Vil industrien nå et punkt der man stoler blindt på sensoravlesninger og dens anbefalinger? Dette kommer helt an på påliteligheten til sensorer, villigheten til bedriftene og den naturlige utviklingen som nå pågår. Det er allikevel viktig å understreke det faktum at ingenting er perfekt, og at det som kan feile, vil på et eller annet tidspunkt feile.

3.3 Sensorapplikasjoner og implementering

For sensorapplikasjoner og industriell implementering er det tidligere blitt presentert noen retningslinjer og spørsmål som det er mulig å bruke som grunnlag [56]. De formulerte spørsmålene ønsker å undersøke de ulike aspektene på en objektiv og balansert måte. Disse spørsmålene definerer dermed en standard av parametere som er nøkkelpunkter i en implementering.



Utgangspunktet for de ledende spørsmålene som stilles er en undersøkelse på hvilke kjerneområder den nye sensorimplementeringen skal fokusere på og hva den skal generere i form av fordeler. Fordelen kan eksempelvis utgjøre en høyere tilgjengelighet på en maskin, optimalisert prosesskontroll og forbedret forståelse for maskinstatus og reservedelsstatus.

En oppsummering av fordelene for brukerne bidrar til å spesifisere kravene til et sensorsystem og identifisere hvilke fokusområder som hører til den faktiske målgruppen.

Når sensorsystemet skal implementeres er det ofte tydelig hva som skal måles. Dette er gjerne bakgrunnen for hvorfor man ønsker å installere sensorer. På grunnlag av fordelene man har identifisert er det gjerne hensiktsmessig å diskutere forskjellige implementeringsløsninger på hvordan man ønsker å overvåke aktuell ressurs på en best mulig egnet måte. På denne måten kan man identifisere hvilke sensorer som er best egnet på bakgrunn av det som skal måles.

Det skal altså bestemmes hvilke sensorer som skal installeres. Dette kan eksempelvis være temperatur, strømningsrate, akselerasjon, fyllingsgrad og vibrasjoner. Se kapittel 3.2 for et utvalg av sensorer.

Dersom man tar EL-Watch sine sensorer som et utgangspunkt ref. Tabell 3, kan man ut fra dette bestemme hvilke sensorer som skal måle hvilke parametere, hva kostnaden er, og hvor nøyaktige målingene skal være.

Ofte er det begrensninger avhengig av det allerede eksisterende tekniske systemet som sensorsystemet skal integreres i. For eksempel kan det være begrensninger i kommunikasjonsmuligheter, energiforsyning eller monteringsalternativer, i tillegg til tilgjengelig installasjonsplass. Fra tidligere har man identifisert hva som skal måles, men plassering av sensorene blir gjerne begrenset av tilgjengelig installasjonsområde.

Dersom det er begrenset med installasjonsmuligheter er det gjerne vanskelig å installere de sensorene som er tilgjengelige i dag. Dette betyr at nye sensorer må lages som er skreddersydd det aktuelle systemet. Utviklingskostnader og lave antall sensorer leder dermed til en økt kostnad i implementeringsfasen. En nøye gjennomtenkt plassering av sensorer vil være et nøkkelelement i å besvare dette spørsmålet.

En av de største kostnadene knyttet til utvikling og produksjon av sensorsystemet er beskyttelse mot omgivelsene i tillegg til å opprettholde et målesignal av tilstrekkelig kvalitet for videre bearbeiding. Det er derfor viktig å definere hvilke eksterne faktorer sensorene blir utsatt for ved de ulike plasseringene og hvor lenge de skal motstå disse eksterne faktorene. Eksempelvis kan en sensor være designet for å motstå temperaturer over en gitt tid, i tillegg til å kunne sende tilstrekkelig måledata i denne perioden.

Kvaliteten på målesignalet er grunnlaget for den tekniske implementeringen av sensorsystemet. I tillegg til dette er de høye kravene til målesignalene en sterk kostnadsdriver for utviklingen. Store avstander, høye krav til nøyaktighet og antall målinger er videre parametere som driver kostnadene opp for det aktuelle systemet. Dette vil si at det er klokt å tidlig identifisere ulike løsninger som oppnår de kravene en har satt når det kommer til målesignaler.

Spørsmål en må finne svar på her er:

- Må målingen av parameteren være svært nøyaktig, eller er det godt nok med målinger som responderer på endring i parameteren?
- Hvor ofte skal sensoren måle og videresende signalet?

Hvordan dataen skal tolkes og sendes spiller dermed en stor rolle med tanke på kravene til målesignaler. Det er dermed klokt å tidlig teste ulike sensorer med ulike egenskaper under utviklingsfasen for å senere kunne implementere det mest kostnadseffektive sensorsystemet som oppfyller alle krav.

Feil i et sensorsystem brukt i industrielle prosesser vil generelt ha mer alvorlige konsekvenser enn i forbrukerprosesser[53]. Tester og sertifiseringer skal ta hensyn til dette når sensorsystemet implementeres og testes. Med hensyn på første steg som definerer hvilke fordeler brukeren ønsker å oppnå, er det også viktig å diskutere hvilke konsekvenser en feil i sensorsystemet vil føre med seg.

Systemer som er avgjørende for sikkerhet og prosesskontroll vil ha høyere krav til systemintegritet enn tilleggsfunksjoner som ikke skaper forsinkelser og forstyrrer verdiskapningsprosessen. Diskusjoner knyttet til konsekvenser er svært viktig da Industri 4.0 har som formål å skape verdier og ikke hindre dette.

Ved å svare på dette spørsmålet kan man definere hvor mye innsats man legger i å hindre at feil på sensorer skal oppstå. Dette kan eksempelvis være å klassifisere sensorer etter kritikalitet på en eventuell feil. Når det bestemmes hvilke sensorer som skal installeres må det videre tas hensyn til måleparametere, plassering og målesignal.

Når man ser på forbruker- eller bilindustrien viser det seg at kvantum spiller en viktig rolle i de totale kostnadene for et sensorsystem. Det vil si at «vanlige» sensorer er enklere å få tilgang

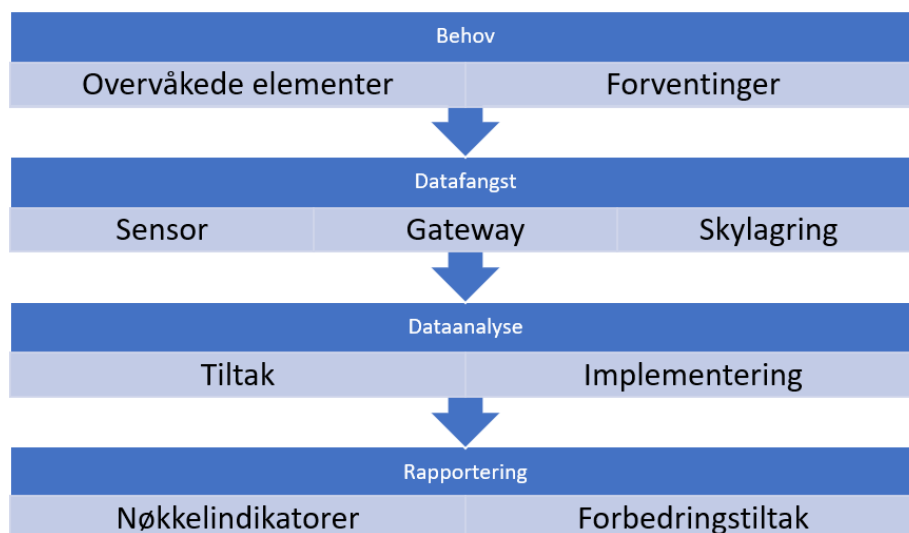
til, og dette er noe som ofte driver prisene nedover. En nyutviklet sensor som må spesialdesignes vil dermed drive kostnadene oppover både på bakgrunn av lave kvantum og utviklingskostnader som nevnt tidligere. Derfor er det viktig å finne leverandør og tidlig beskrive hvilke systemer som er aktuelle og hvor mange sensorer man ønsker. Et måltall på antall sensorer skal tidlig bestemmes på en slik måte at man kan definere fordelene av det aktuelle kvantum sensorer i industrielle applikasjoner.

3.4 Datatilgjengelighet

Datatilgjengelighet handler om hvordan organisasjonen håndterer data og om datamaterialet blir benyttet for videre utvikling. Tilgjengelighet av data er nødvendig av flere årsaker:

- Utforming av aktuell ytelse innad i en organisasjon
- Trendresultater basert på datamateriale
- Nøkkelfaktorer og måltall kan sammenlignes med resultat

Tilgjengeligheten av data har endret seg mye gjennom de siste årene. Bruken av skybasert lagring har gjort at store mengder data kan lagres og hentes ut gjennom internett. Skybasert lagring handler om å lagre data et annet sted enn på den lokale datamaskinen. Ofte blir lagringen av data håndtert av store datasentere med stor lagringskapasitet.



Figur 3-11 Visualisering av viktigheten av datatilgjengelighet i en styringsløyfe

Figur 3-11 er bygget opp på grunnlag av datatilgjengeligheten i en organisasjon. Behovet i en organisasjon er svært forskjellig. Derfor er det viktig å definere hva man forventer å kunne oppnå og hvilke resultatet man ønsker å oppnå. Overvåkede elementer kan eksempelvis

bestemmes ut fra en kritikalitetsanalyse eller en RCM-analyse, som tidligere beskrevet i kapittel 2.3. Videre til datafangst er det nødvendig med noen grunnelementer som sensorer, mottakere og tilgjengelig lagringskapasitet for ønsket effekt. Hele figuren bunner ut i et rapporteringssystem som er videre beskrevet i kapittel 5.

For utvelgelse av sensorer og grunnleggende innføring av sensorapplikasjoner, se henholdsvis kapittel 3.2 og kapittel 3.3.

3.4.1 Datasamling

Samling og sammenligning av data er midtpunktet i bruken av tilstandsovervåkning og vedlikehold basert på tilstand. Metodene for hvordan dataen samles kan være både kontinuerlig, periodisk, manuell eller automatisk.[54]

Automatisk og kontinuerlig innsamling henger ofte sammen da operatører ikke fysisk trenger å gjøre innhenting av data. Til dette brukes gjerne sensorer. Sensorene kan sende data så ofte som ønsket og er da gjerne basert på et bestemt intervall.

Periodisk innsamling av data baserer seg på den samme teknologien som for kontinuerlig innsamling. Periodisk innsamling kan være mer aktuelt for å overvåke eksempelvis temperaturer da temperaturer ofte endrer seg mer langsomt enn for eksempel trykk. Fordelen med dette er at mengden med data kan kuttes betraktelig ned, i tillegg til at de aktuelle sensorene ikke blir overbelastet. Dette gjelder spesielt for sensorer med kort levetid på bakgrunn av batterikapasitet.

Manuell innsamling krever at en operatør rapporterer inn tilstanden på det aktuelle systemet. Dette kan gjøres ved å benytte seg av målemetoder slik som trykkavlesning på maskiner, vibrasjonsmålinger, termografering, oljeprøver osv. Dataen må dermed lastes opp i den lokale databasen for videre behandling og generering av historikk.

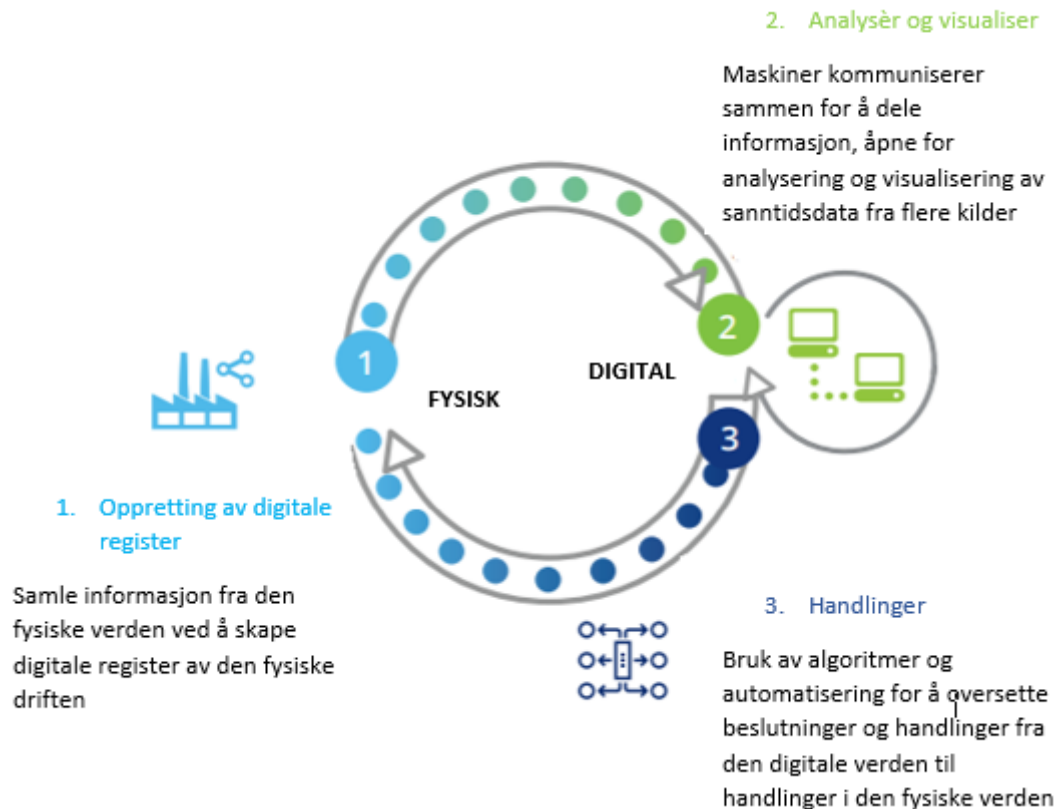
Det mest aktuelle i dag er å benytte seg av trådløse sensorer som sender tilstandsrapporter kontinuerlig eller periodisk, basert på kritikalitet på utstyret. Dette gjør at man får en tydelig datastruktur som kan benyttes for å se trender og degraderinger.

3.4.2 Koblingen mellom den fysiske og digitale verden

For organisasjoner som vanligvis benytter tradisjonell lineær data for kommunikasjon, kan tilgang til sanntidsdata og informasjon fundamentalt forandre måten de håndterer ressurser og oppnår ønskede resultater.

Når organisasjoner har startet å adaptere smart vedlikehold og prediktive vedlikeholdsstrategier, bør det vurderes hvordan man utvikler, implementerer og bruker de tilkoblede teknologiene som et grunnlag for beslutningstaking. Før implementering, kan det være nyttig å vurdere prosessen med hvordan informasjon, analyse og handling utgjør en løkke for hvordan disse teknologiene kan skape verdi. Integrasjonen av digital informasjon fra mange forskjellige kilder og steder driver den fysiske handlingen av vedlikehold, produksjon og distribusjon i en pågående sirkel.

Sanntidstilgang til data og kunstig intelligens drives av en kontinuerlig strøm av informasjon og handlinger mellom den fysiske og digitale verden. Denne strømmen gjennomføres ifølge [55] i en serie med tre trinn, fysisk-digital-fysisk. Først blir informasjon hentet fra den fysiske verden og digitalisert (fysisk til digital). Den andre delen fokuserer på å dele og analysere data for å skaffe meningsfull innsikt. Avslutningsvis er sløyfen lukket med digital til fysisk, hvor digital informasjon blir gjort til fysiske handlinger. Denne prosessen er illustrert i Figur 3-12 og er laget på bakgrunn av [55].



Figur 3-12 Digitaliseringsløyfe. Fysisk-digital-fysisk

I sin helhet tillater denne prosessen organisasjoner å utnytte data og iverksette tiltak på forhånd, heller enn å bare bli informert av dataen. Resultatet er at organisasjoner kan operere mer effektivt og muligens kunne skape helt nye forretningsmodeller. Når denne modellen blir brukt i kombinasjon med prediktivt vedlikehold, se kapittel 2.4.3.1, kan selskaper bruke data samlet fra eiendeler og maskiner til ideelt forstå funksjonalitet og forutsi når svikt kan oppstå eller når vedlikeholdsaksjon er nødvendig. Dette kan gjøre det mulig for organisasjoner å være mer smidige, ta et helhetlig syn på interne ressurser, og forutse ulike behov.

3.5 Sensorstyring og vedlikeholdssystemer

Bruken av sensorovervåking vil være ubetydelig om ikke sensordata blir presentert på et lettfattelig system som viser aktuell tilstand og ytelse. Eldre metoder, slik som for eksempel trykkavlesning på et manometer, krever ofte at operatører leser av og rapporterer avlesningen. Nyere sensorer, som nevnt, sender denne dataen trådløst til eksempelvis et dashboard som viser operatørene hvilken tilstand enheten er i. Dette dashboardet presenterer eksempelvis grafer eller kvantitative resultater.

I et moderne vedlikeholdssystem, eller CMMS, vil det være mulig å sette inn relevante moduler i skjermbildet slik at man ser de kvantitative resultatene fra sensorene på en oversiktlig måte. Eksempelvis vil en operatør kunne ha andre moduler på sitt skjermbilde enn en vedlikeholdsleder.

Integrering av oversikt over sensorer i organisasjonen bør som sagt gjøres på en hensiktsmessig måte slik at den mest relevante informasjonen blir presentert. Figur 3-13 presenterer et forslag til hvordan kun sensorer kan presentere sin avlesning på en kvantitativ måte på et enkelt dashboard. Data er hentet fra EL-Watch sitt neuron-program som overvåker temperatur og relativ luftfuktighet.



Figur 3-13 EL-Watch Neuron dashboard

Videre utvikling av EL-Watch sitt neuron-program kan være en del av begynnelsen på tankegangen bak smart vedlikehold og da spesielt prediktive målemetoder. I Figuren ovenfor kan man eksempelvis bare nå benytte helt enkel menneskelig kunnskap til å beslutte at vedlikeholdsaksjoner må gjennomføres når parametere når en gitt grenseverdi.

Siden systemet er relativt nytt er det ikke innført prediktive analyser da disse belager seg på Big Data og avanserte algoritmer. Det er uansett viktig å påpeke at dette er et stort steg i den riktige retningen mot smart vedlikehold, da nye teknologiske innovasjoner blir tatt i bruk for videre utvikling knyttet til læring og forståelse av hvordan systemene virker og hvilken fysisk tilstand systemet har.

3.6 Konsept for sensorstyring og vedlikehold

Ali Rastegari og Mohammadsadegh Mobin påstår at å utnytte data som blir innsamlet for å samle informasjon og skaffe innsikt for vedlikeholdsingeniører og ledere har alltid vært en utfordrende oppgave.[56]

På bakgrunn av dette har bedrifter nå begynt å ta fordel av teknologi knyttet til sensorsystemer, og da spesielt trådløse sensorer. Jon Martin Fordal har beskrevet to store opplevde fordeler ved bruk av disse trådløse sensorene[57]:

1. Sensorene har en batterilevetid på 15 år med målinger av parametere hvert andre sekund og videresending til skyen hvert andre minutt
2. Sensorene kan måle parametere som temperatur (overflate, luft, væske), fuktighet, lys, åpen/lukket, signalsender (analogt til digitalt), og trykk (vibrasjon og avstandsmålere er under utvikling)

Videre peker Fordal på flere fordeler for vedlikehold ved implementering av disse sensorene:

- Kontinuerlig måling av utstyr som tidligere har vært vanskelig og dyrt å måle
- Enkel tilgang til data på smarttelefon/nettbrett/PC
- Rask installasjon og et brukervennlig brukergrensesnitt
- Justerbare kontrollgrensen og alarmfunksjoner sørger for at tiltak raskt gjennomføres når avvik oppdages, da meldinger sendes direkte til vedlikeholdspersonellet som er ansvarlig for det gitte utstyret
- Redusert tidsforbruk på preventive vedlikeholdsinspeksjoner
- Vedlikeholdspersonellet føler et eierskap til sensorene og finner nye måter for bruk av disse

Sensorteknologi er i stadig utvikling og har blitt både mer tilgjengelig og billigere i bruk. Bruk av sensorteknologi er et av nøkkelementene i Industri 4.0[31] og det er dermed viktig å

forberede bedrifter på hvordan sensorer kan implementeres effektivt for å utnytte deres fulle potensial.[58]

Fordal, Rødseth og Schjøberg har presentert et enkelt konsept på hvordan sensorstyring kan bli brukt i vedlikeholdsfunksjonen.[57] Se Figur 3-14.



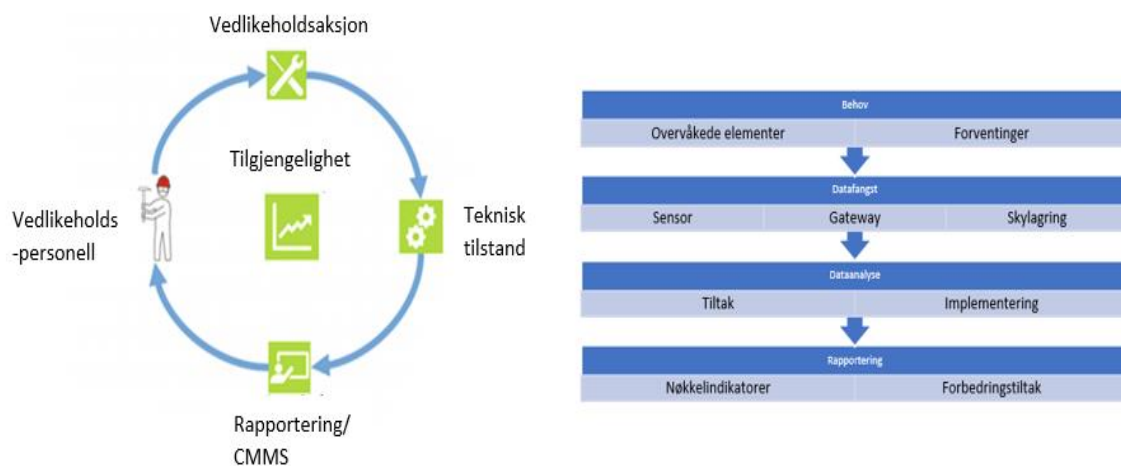
Figur 3-14 Konsept for sensorstyring og vedlikehold

Konseptet som de presenterer fokuserer på å forbedre operasjonell tilgjengelighet, der teknisk tilstand for et gitt system eller utstyr er vurdert basert på data hentet fra trådløse sensorer. Ved å bruke skybasert lagring vil teknisk tilstand, historiske data og trender være enkelt tilgjengelig på smarttelefoner/nettbrett/PC. Justerbare kontrollgrenser med alarmer, som varsler vedlikeholdspersonell når avvik oppdages, resulterer i redusert tid før en vedlikeholdsaksjon igangsettes. Effekten av vedlikeholdsaksjonen kan med en gang kunne leses av og vurderes på bakgrunn av de kontinuerlige målingene fra sensorene. Konseptet i Figur 3-14 (Fordal) har fokusert på enkelhet og inkluderer ikke avanserte prediksjons- eller beslutningsverktøy på dette stadiet men heller fokusert på å utnytte verdien av vedlikeholdspersonellets erfaring og kunnskap.

Ut fra presentasjoner fra Fordal og Schjøberg er det antatt at konseptet som de har presentert i stor grad skal fokusere på operasjonell tilgjengelighet som et hovedmål for prosjektet. Konseptet har i stor grad tatt hensyn til den tilgjengelige teknologien som eksisterer i dag,

men har ikke videre beskrevet hvordan slike verktøy kan implementeres. Et ankepunkt ved dette konseptet er dermed modenheten til industrien. Det har tidligere blitt beskrevet de teknologiske trendene knyttet til Industri 4.0 og hvilke fordeler dette kan medføre. Inntrykket av industrien er at de ikke er klar for slik teknologi på dette stadiet. Det er på en annen side viktig å presentere konseptet som en innovasjon som eksisterer, og dermed kunne ha muligheten til å bygge videre på innovasjonen i en organisasjon.

Basert på det som tidligere ble presentert i kapitlet om datatilgjengelighet, viser det i Figur 3-15 hvordan datatilgjengelighet, operasjonell tilgjengelighet og vedlikeholdspersonell kan kobles sammen på en hensiktsmessig måte.



Figur 3-15 Sammenkobling av datatilgjengelighet og konsept for sensorstyring

Videre utvikling av dette konseptet bygges opp av implementeringen av expert-system som en del av styringsløyfen. expert-systemet vil være en del av beslutningslogikken til systemet underbygget av sensorer, prognoser og tilstandsovervåkning. Den videre utviklingen av konseptet er presentert i kapittel 5.

3.7 Refleksjon

En viktig forutsetning for at implementering av sensorer og teknologi knyttet til dette er viljen til investering, bruk av tilgjengelig data og et underbyggende vedlikeholdssystem.

Investeringskostnadene vil nødvendigvis variere med hvor avansert og utstrakt systemet skal være. Eksempelvis trenger ikke kostandene være høye for å starte et internt pilotprosjekt som kan benyttes som en indikator om dette er lønnsomt eller ikke for det aktuelle området eller maskin.

Viktigheten av bruk av tilgjengelig data ble presentert under Norsk Forening for Vedlikehold som en av nøkkelfaktorene for implementering av Industri 4.0. Dersom data kun samles inn, men ikke brukes for videre utvikling, er innsamlingen ubetydelig. Forbedringstiltak er også en del av vedlikeholdsstyringsløyfen i tillegg til et viktig punkt i WCM der man alltid forbedrer sin egen prosess basert på erfaring og trender.

Et effektivt vedlikeholdssystem vil videre kunne utvikle den interne vedlikeholdsorganisasjonen på en slik måte at forbedring vil være et tydelig mål i tillegg til at systemene skal designes på en effektiv og oversiktlig måte.

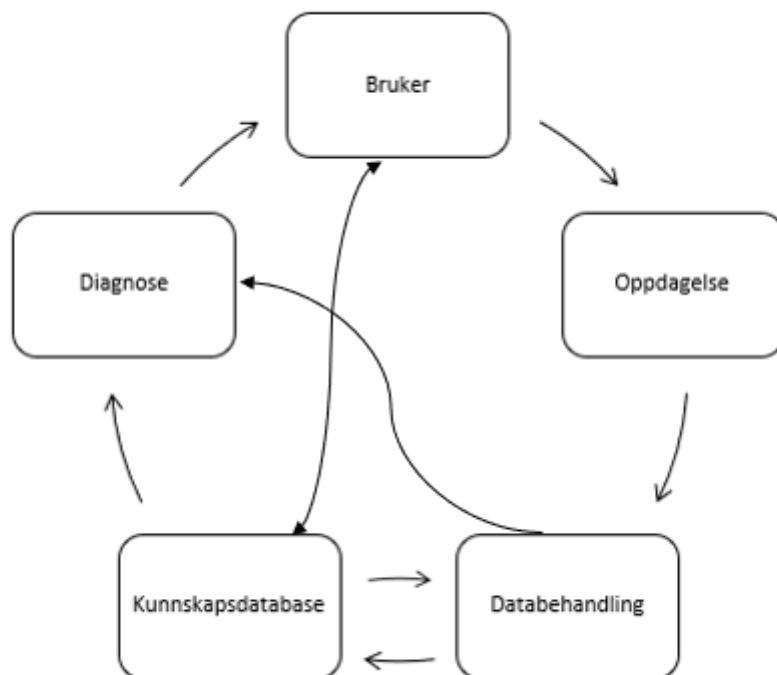
Teori i dette kapittelet har blitt brukt til å underbygge og definere hvordan sensorstyring kan bli brukt i vedlikehold for å forbedre tilgjengelighet, pålitelighet og effektivitet. Konseptet bak sensorstyring bygger på hvordan tilstand, rapportering og utførelse av vedlikehold blir underbygget av data fra sensorer som kommuniserer med internett for deretter å vise indikatorer på datamaskiner/telefoner til aktuelt personell.

Et mål med denne oppgaven vil være å kunne vise hvordan sensorer kan være koblingen mellom den fysiske og digitale verden. Videre skal oppgaven kunne vise et konsept som bruker sensorer for styring av vedlikeholdsoperasjoner. Dette skal avslutningsvis kunne vise hvordan man kan utnytte sin kapasitet på en mest mulig effektiv måte ved bruk av de riktige teknologiske verktøyene.

4. Expert-System – Et verktøy for beslutningsstøtte

En av de nyeste og mest lovende informasjonsteknologiske verktøy er et Expert-System (ES). Et ES er et dataprogram som etterligner beslutninger tatt av et menneske med mye kunnskap om det aktuelle objektet. Dette lar datakraft bli brukt på oppgaver som tidligere ble gjort av mennesker. På bakgrunn av den menneskelige etterligningen og gode resultater har det blitt påstått at ES vil ha en betydelig innvirkning på den fremtidige arbeidsplassen og de fremtidige arbeidsprosessene.[59]

Mens vanlige dataprogrammer ofte har blitt begrenset for bruk til automatisering av databehandling og samling tilbyr et ES en mulighet for å automatisere arbeidsprosesser for de som benytter og prosesserer innhentet kunnskap. Eksempel på dette kan være operatører, vedlikeholdsingeniører og designere. En enkel oppbygging av et kunnskapsbasert ES vises i Figur 4-1.



Figur 4-1 En typisk oppbygging av et kunnskapsbasert ES

Figur 4-1 illustrerer hvordan sammenhengen mellom brukeren og kunnskapsdatabasen resulterer i en diagnose tilgjengelig for brukeren. Dersom brukeren oppdager feilutvklinger,

kan dette rapporteres inn i systemet, som deretter behandler forespørselen. Dersom feilutviklingen tidligere har blitt identifisert, blir en diagnose tilgjengelig for brukeren.

Identifiserte muligheter ved implementering av et ES:

- Øke sannsynligheten og frekvensen for gode beslutninger
- Hjelp til fordeling av ekspertisebeslutninger
- Tilrettelegge for sanntidsbeslutninger gjort av en datamaskin
- Forbedre utnyttelsen av den tilgjengelige dataen
- Tillate objektivitet ved å vurdere tilstanden uten fordommer og uten hensyn til brukerens personlige og emosjonelle reaksjoner
- Frigjøre tiden til en menneskelig ekspert slik at han eller hun kan konsentrere seg om andre aktiviteter

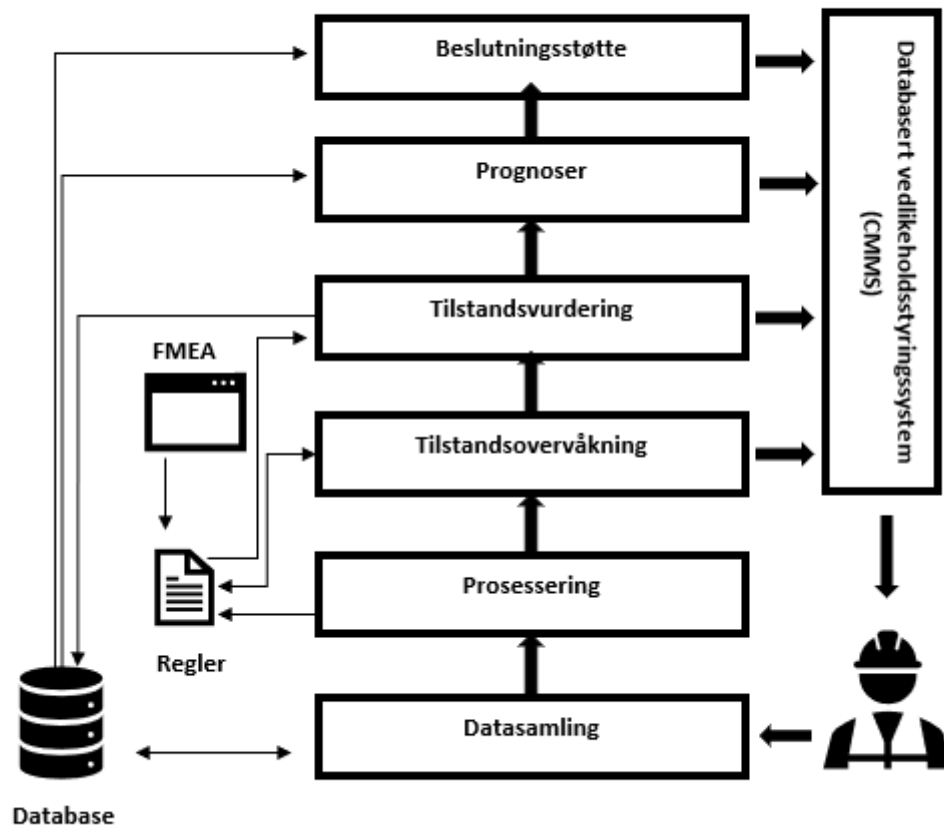
Mange maskiner har ingen synlige degraderinger som kan avdekkes ved forebyggende vedlikehold. Og dersom degraderingen kun blir synlig ved stans av maskinen kan det ofte føre til en unødvendig produksjonsstans. For slike systemer er det gjerne gunstig med tilstandsbasert vedlikehold.

Tilstandsovervåkning er som nevnt i kapittel 2.1.1.2 å overvåke den faktiske tilstanden til maskinen og gjøre det mulig å oppdage mulige degraderinger og gjennomføre en vedlikeholdsaksjon før svikt oppstår. Tilstandsbasert vedlikehold blir innført for å gi input og beslutningsstøtte for når vedlikeholdsaksjoner skal gjennomføres. Dette gir et dynamisk beslutningsverktøy som brukes for å støtte de endelige beslutningene.

Tilstandsbasert vedlikehold blir gjerne innført for å tjene to spesifikke formål:

1. Fastslå om et problem eksisterer i det overvåkede systemet, hvor alvorlig det er og hvor lenge systemet kan opprettholde sin krevde funksjon før svikt inntreffer
2. Oppdage og identifisere bestemte komponenter i systemet som er degradert og diagnostisere problemet

Et tilstandsbasert expert-system kan eksempelvis bygges opp av: datasamling, prosessering, tilstandsovervåkning, tilstandsvurdering, prognoser, beslutningsstøtte, og presentasjon. Figur 4-2 er utviklet med inspirasjon hentet fra [60].



Figur 4-2 Tilstandsbasert vedlikehold og Expert System

Datasamling

Informasjon samles fra sensorer, sendere eller andre målemetoder. Med disse signalene fanger systemet opp den dynamiske endringen som feildegradering genererer. Denne modulen gir tilstandsovervåkningssystemet digitalisert informasjon.

Prosessering

Formålet med signalbehandling i diagnostiske applikasjoner og tilstandsovervåkningssystem er tredelt: (1) fjerne forstyrrelser i signalet og gjenopprette det til sin opprinnelige form, (2) fjerne sensordata som ikke er relevant for diagnostikk og (3) transformere signalet for å gjøre relevante målinger mer eksplisitte.

Tilstandsovervåkning

Dette nivået sammenligner nåtidsdata mot dens forventede verdier. Tilstandsovervåkingen skal være i stand til å gi alarmer basert på forhåndsbestemte operasjonelle grenseverdier.

Tilstandsvurdering

Hovedfokuset til dette nivået i et tilstandskontrollsystem er å vurdere om tilstanden til det overvåkede systemet har blitt degradert. Nivået skal videre kunne generere mulige diagnoser og foreslå mulige feilårsaker. Diagnosen skal baseres på trender i tilstanden, driftsstatus, vedlikeholdshistorie, FMECA og forhåndsbestemte regler.

Prognoser

Dette nivået krever data fra de andre nivåene. Hovedmålet med denne modulen er å kalkulere framtidens tilstand til et system eller en komponent. Prognosemodulen krever input i form av tilstand, feil, driftsstatus og vedlikeholdshistorie.

Beslutningsstøtte

De fem foregående nivåene bør bli integrert på en slik måte at det kan bli brukt som beslutningsstøtte for de best mulige løsningene. Hovedformålet med beslutningsstøtte er å gi anbefalte vedlikeholdsaksjoner for det aktuelle systemet. Videre kan tilleggsinformasjon som for eksempel produksjonsplanlegging og tilgang til personell implementeres i dette nivået.

Databasert vedlikeholdsstyringssystem (CMMS)

Det siste nivået mottar data fra tilstandsovervåkning, tilstandsvurdering, prognoser og beslutningsstøtte. Det viktigste er data fra tilstandsvurdering, prognose og beslutningsstøtte. Presentasjonsmodulen bygges gjerne inn i et brukergrensesnitt som gir tydelig informasjon som er relevant for brukeren.

Identifiserte fordeler av expert-system:

- Forbedring av beslutningskvaliteten
- Reduksjon i kostnader knyttet til bruk av menneskelige eksperter
- Det gir raske og effektive løsninger på problemer i et smalt spesialiseringsområde
- Tilbyr objektive og konsistente svar på repeterbare problemer
- Opprettholder et betydelig nivå av informasjon

- Hjelp til å få raske og nøyaktige svar
- Evne til å løse komplekse og utfordrende problemer
- Expert-system kan jobbe kontinuerlig uten å bli påvirket av følelser eller slitasje

Begrensinger til et expert-system:

- Kan ikke generere kreative svar i ekstraordinære situasjoner
- Feil i den oppbygde kunnskapsdatabasen kan føre til feil beslutning
- Vedlikeholdskostnad og brukskostnad til et expert-system er høy
- Repeterbare feil løses kun på en måte. Menneskelige eksperter kan finne nye og bedre løsninger på slike problem

4.1 Expert-system for optimal prosessplanlegging

ABB introduserte et verktøy for optimal prosessplanlegging på en fabrikk i Australia i 2009. Dette verktøyet fikk navnet ABB Expert Optimiser. En modell som inneholdt logiske og dynamiske beregninger ble brukt for å finne den optimale operasjonsstrategien i løpet av 43 timers operasjonstid. Den resulterende optimale driften førte til besparelser i form av materialer og energibruk, noe som førte til en dramatisk reduksjon i driftskostnader. Besparelser på \$ 1,2 millioner per år ble resultatet, noe som gjorde at systemet fikk en nedbetalingstid på kun seks måneder.[61]

I dette prosjektet var det to oppgaver som skulle optimaliseres. Den første oppgaven var å kontrollere produksjonsovner for å forbedre produksjon og kvalitet, mens den andre oppgaven var å planlegge driften i sanntid av produktet som skulle inn i ovnen.

For å planlegge produktet som skulle inn i ovnen bestemte optimaliseringssystemet:

- Når luftfilter måtte skiftes
- Når systemene skulle startes og stoppes
- Når tørkesystemene skulle brukes, og hvis de ble brukt, hvilken innstilling de skulle ha

Optimaliseringssystemet er i dag videre utviklet av ABB og er kapabel til blant annet å optimalisere drivstofforbruk, prosesser og andre produksjonsprosesser.

5. Sensorstyring og bruk av Expert-system i industrielle applikasjoner

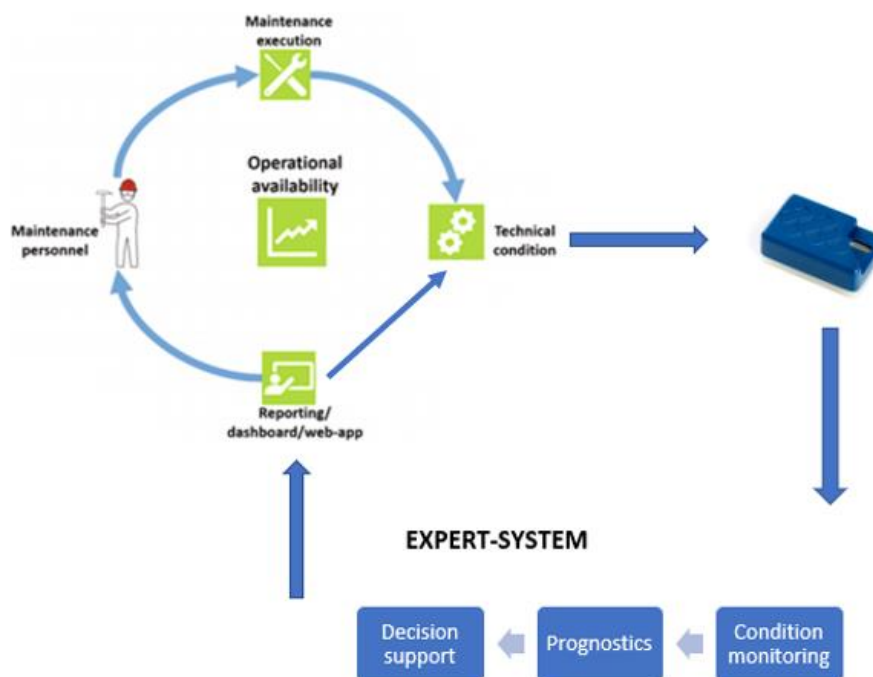
Oppgaven vil i dette kapitlet presentere hvordan sensorer, expert-system og vedlikehold kan sammenfattes i et konsept for vedlikeholdsstyring basert på disse punktene. Kapitlet vil benytte seg av teori fra de foregående kapitlene, framstilling av en revidert vedlikeholdsstyringsløyfe og vanlige industrielle maskiner som kompressorer og pumper. Hensikten er at konseptet skal kunne introduseres som en innovasjon knyttet mot smart vedlikehold og være et verktøy for at riktige beslutninger knyttet til vedlikehold blir gjennomført til riktig tid.

5.1 Konsept for implementasjon av sensorstyring og expert-system

Som tidligere beskrevet har Fordal presentert et konsept for sensorstyring av vedlikeholdsoperasjoner, se Figur 3-14. Studenten har utviklet dette konseptet videre for inkludering av expert-system som en del av styringsløyfen.

Figur 5-1 er en teknologisk innovasjonsutvikling av konseptet presentert av Jon Martin Fordal. Utviklingen av konseptet går ut på at sensorer og expert-system er en del av sløyfen. Dette vil si at teknisk tilstand blir bestemt ut fra sensorenes parametere som blir analysert av expert-systemet som inneholder tilstandsovervåkning, prognoser og beslutningsstøtte. Resultatet av analysen blir presentert på en hensiktsmessig måte i for eksempel CMMS som genererer eventuelle arbeidsordrer for vedlikeholdspersonellet. Dersom expert-systemet ikke finner det hensiktsmessig å gjennomføre vedlikeholdsaksjoner fortsetter sløyfen tilbake til teknisk tilstand der sløyfen fortsetter med avlesning av sensorer og parameteranalyser.

Se de neste delkapitlene for en mer utfyllende forklaring av innholdet i konseptet.



Figur 5-1 Konsept for sensorstyring og expert-system

5.1.1 Teknisk tilstand

Teknisk tilstand handler om den fysiske tilstanden til en enhet. Minimum teknisk tilstand refererer til enhetens laveste pålitelighet der den kan utøve krevd funksjon. Eksempelvis kan

en enhet degradere til et gitt nivå før en svikt inntreffer. Teknisk tilstand kan bestemmes ut av følgende faktorer:

- Restlevetid basert på MTTF, produsents anvisninger
- Tilstand basert på målinger, tilstandsovervåkning
- Tilstand basert på ytelse, ytelsesindikatorer

I Figur 5-1 er det tilstandsbaserte målinger basert på sensorovervåkning som danner grunnlaget for den tekniske tilstanden.

5.1.2 Sensorer

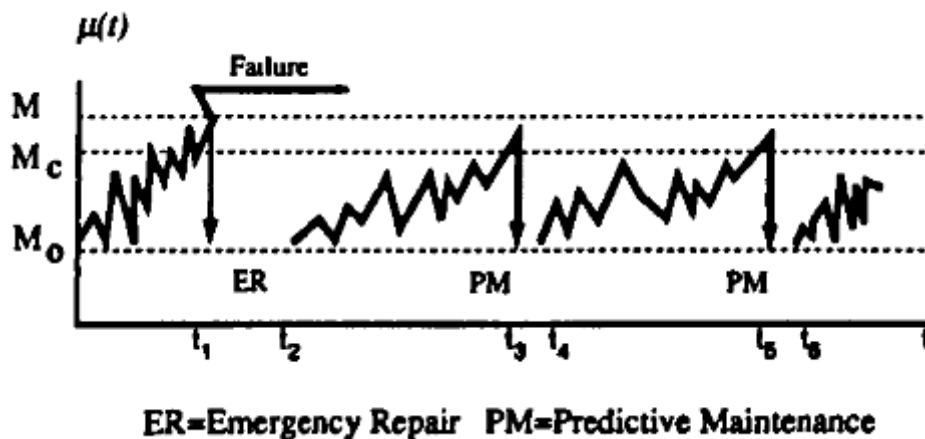
Sensorer har blitt beskrevet utfyllende i kapittel 3.2. Sensorer som er en del av Figur 5-1 må bestemmes ut fra flere faktorer. Disse faktorene har blitt beskrevet i kapittel 3.3 der det gjennomgås retningslinjer for en vellykket implementering av sensorsystemer.

5.1.3 Expert-system

Expert-system har blitt beskrevet i kapittel 4. Modulene dette systemet inneholder er tilstandsovervåkning, prognoser og beslutningsstøtte.

Tilstandsovervåkingen er basert på flere moduler: regler basert på FMECA, signal fra sensorer og tilstandskontroll. Ved uønskede verdier skal tilstandsovervåkingen generere alarmer i CMMS som gir en anbefaling på hvilken beslutning som må tas. Denne tilstandskontrollen er et grunnlag for en vedlikeholdsstrategi kalt tilstandsbasert prediktivt vedlikehold.

Siden de fleste feil utvikles gradvis over tid, er det god grunn til å anta at det tidlig kan oppdages degraderinger ved å overvåke parametere tilknyttet feilen. Prognostiske parametere er iboende i enheter og kan oppdages ved bruk av enten tidligere erfaringer (kunnskapdatabase) eller leverandørdata. Dersom systemet har en observerbar eller målbar prognostisk parameter kan prediktivt vedlikehold gjennomføres på følgende måte: Et bestemt kritisk nivå, M_c , er bestemt for parameteren $\mu(t)$. Hvis det som måles når det kritiske nivået M_c kan prediktivt vedlikehold gjennomføres. Derom svikten oppstår før det kritiske nivået er nådd, må akutt korrektivt vedlikehold gjennomføres. Se Figur 5-2.



Figur 5-2 Prognosebasert vedlikehold[62]

Prognoser vil videre bli presentert i CMMS, basert på grafen ovenfor.

Den siste sentrale modulen i expert-systemet er beslutningsstøtte. Beslutningsstøtte baserer seg på prognosemodulen i tillegg til tilstandsovervåkingen. Beslutningsstøtte vil være en sentral komponent i CMMS, og skal foreslå arbeidsordrer som må gjennomføres av vedlikeholdspersonell. Beslutningsstøtte skal i all hovedsak kunne vurdere hvilke arbeidsordrer som er mest kritiske for operasjonell tilgjengelighet, sikkerhet og andre relevante faktorer.

5.1.4 CMMS

CMMS skal fungere som et bindeledd mellom expert-systemet, vedlikeholdspersonellet og den tekniske tilstanden til systemet. Her er utformingen av et effektivt og presentabelt brukergrensesnitt sentralt. I CMMS skal brukeren kunne motta arbeidsordrer, generere egne arbeidsordrer, se relevante KPI og behandle reservedelslager på en hensiktsmessig måte. Gjennom teknologisk innovasjon har man nå tilgang på flere verktøy som effektiviserer operasjoner og tilbyr en tydeligere oversikt over maskinstatus og planlagte arbeidsoppgaver. CMMS vil videre bli beskrevet i kapittel 5.4.1.

5.1.5 Refleksjon

Som et sensorbasert vedlikeholdsstrategi er alle punktene som er nevnt i tilknytting til Figur 5-1 nøkkelpunkter for en vellykket implementering. Man er avhengig av en organisasjon som er avansert nok og som har mulighet til å implementere en endret planleggingsmetode. Med dette menes en organisasjon som har tilgjengelige ressurser, kompetent personell og kunnskap til å benytte dette som et verktøy.

Siden implementasjon av sensorer avhenger av flere faktorer er det svært viktig å kunne sette perspektiv på hva som er målsettingen med implementeringen. Det må tydelig fremgå av vedlikeholdsstyringen hva som er det overordnede målet. I Figur 5-1 er det satt operasjonell tilgjengelighet som nøkkelindikator. Om det er ønskelig kan andre nøkkelindikatorer benyttes og arbeides mot. Eksempler på nøkkelindikatorer som ønskes forbedret kan være forholdet mellom korrektivt vedlikehold og preventivt vedlikehold, og OEE.

Det er viktig å legge merke til at man i dette konseptet anser systemet som «perfekt». Dette vil si at man antar at sannsynligheten for at en svikt oppstår er lik null så lenge måleparameteren er under det kritiske nivået. Videre er antagelsen at med en gang måleparameteren passerer det kritiske nivået, er enheten i ferd med å degradere eller svikt oppstår momentant. På bakgrunn av disse antagelsene vil utvikling av mer grundige undersøkelser av degraderinger som har tett korrelasjon med måleparameteren et svært viktig punkt i utviklingen av tilstandsbasert prediktivt vedlikehold.

5.2 Prognostiske parametere

Prognostiske parametere er forskjellig fra enhet til enhet. Mange prognostiske parametere er hentet direkte fra sensoravlesninger, mens andre er indirekte parametere fra eksempelvis brukerobservasjoner. Disse parameterne sammen med det kritiske nivået, M_c , har blitt bygd inn i kunnskapsdatabasen i CMMS. I de neste delkapitlene blir eksempel på prognostiske parametere for industrielle maskiner som pumper og kompressorer presentert. Parameterne er utformet på bakgrunn av FMECA knyttet til de ulike maskinene.

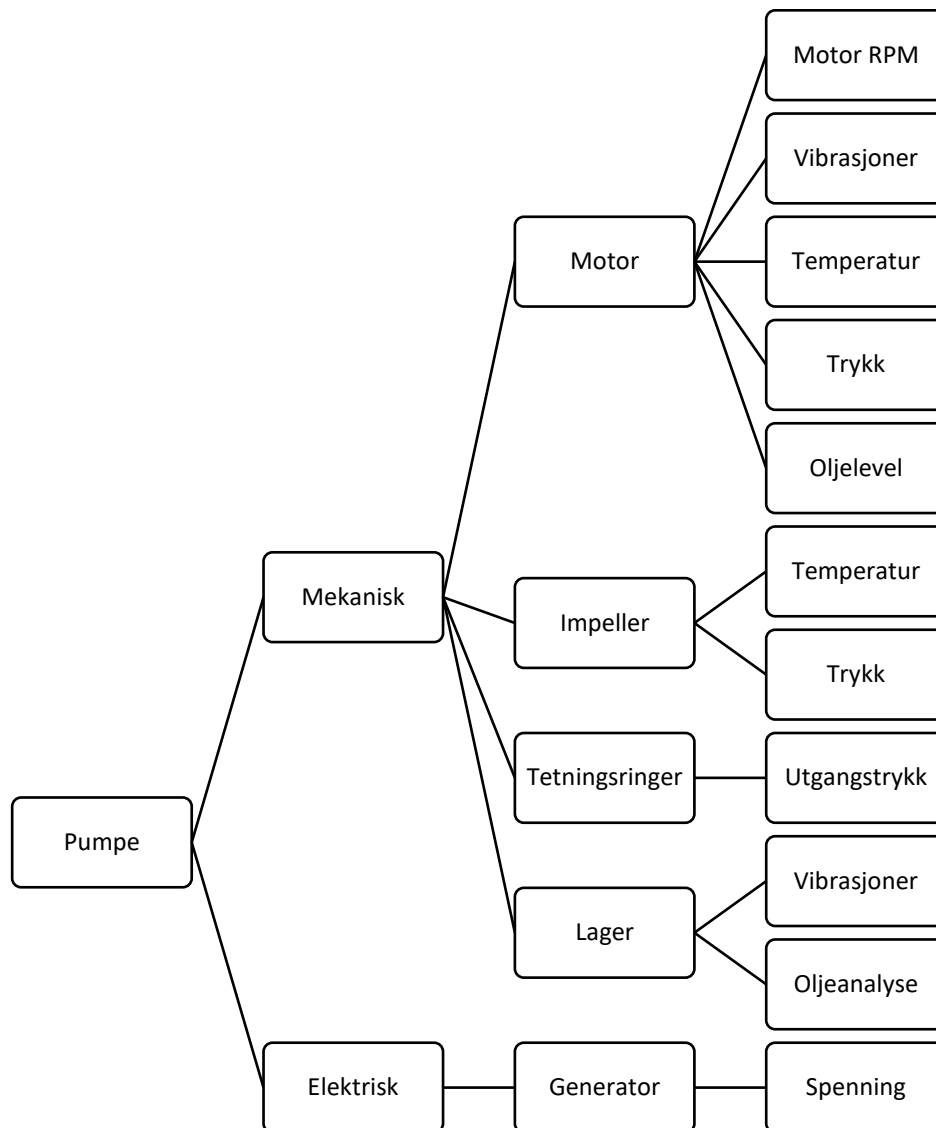
5.2.1 Industrielle pumper

Industrielle pumper er svært utbredt i industrien. Pumpene kan eksempelvis benyttes for pumping av vann, olje eller andre medium. Pumpen som er valgt i dette eksempelet er av typen sentrifugal som benytter seg av et løpehjul for å øke trykk og volumstrøm for et gitt medium.

NR.	KOMPONENT	POTENSIELL FEILMODE	EFFEKT AV SVIKT	FEILÅRSAKER	FOREBYGGING	OVERVÅKEDE PARAMETERE
1	Motor	Ingen pumpeeffekt	Produksjonsstans	Lite smøreolje, høy temperatur, elektrisitet	Sørge for tilstrekkelig kjøling. Overvåkning av temperaturer	Trykk, temperatur, volt (spenning), vibrasjon
2	Tetningsringer	Redusert pumpeeffekt	Redusert pumpeeffekt, lekkasjer, utstyrshavari	Høy temperatur fra mangel av smøreolje	Riktig materialvalg til pumpemedium	Utgangstrykk
3	Impeller (løpehjul)	Redusert pumpeeffekt	Temperaturøkning, kavitasjon	Høyt luftinnhold i løpehjulet	Riktig materialvalg til pumpemedium. Trykkkontroll	Temperatur, trykk
4	Lager	Redusert pumpeeffekt	Lagerslitasje, redusert kjøling, motorslitasje	Høy temperatur fra mangel av smøreolje. Redusert RPM og høye belastninger	Riktige lager og smøring	Vibrasjon, oljeanalyse (smøring)

Tabell 4 FMECA for industrielle pumper

I Tabell 4 er det presentert en enkelt FMECA der noen av sviktårsakene er presentert sammen med de overvåkede parameterne knyttet til hver enkelt komponent i en pumpe. Ut fra den enkle FMECAen er det mulig å generere prognostiske parametere for en pumpe. Disse parameterne vil videre være en del av kunnskapsdatabasen i et ekspert-system. I Figur 5-3 vises det hvordan en pumpes prognostiske parametere fremstilles.



Figur 5-3 Prognostiske parametere for industrielle pumper

Som man ser av Figur 5-3 ovenfor er det presentert hvilke prognostiske parametere som kan overvåkes i hver del av en pumpe. Beslutningslogikken til et expert-system vil ved hjelp av disse parameterne kunne bestemme hvor en feil befinner seg.

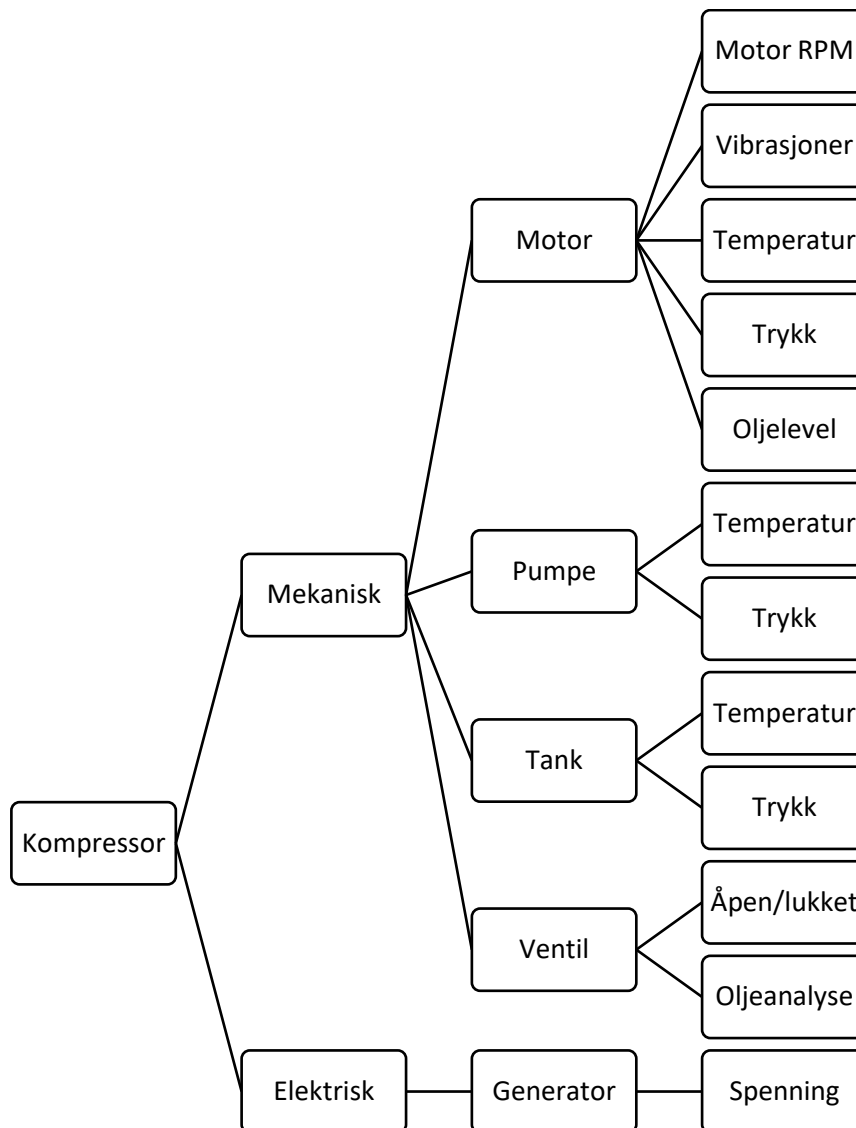
5.2.2 Industrielle kompressorer

En kompressor er en maskin som konverterer energi hentet fra enten strøm, diesel eller bensin til potensiell energi lagret i en trykktank. En kompressor presser mer og mer luft eller annet medium inn i en tank slik at trykket øker. Når trykket når et gitt nivå stanser motoren og trykket er tilgjengelig for bruk når det trengs. Kompressorer blir gjerne brukt i industrielle applikasjoner for lufting av rom, trykkstøtte og trykkstyring av andre maskiner.

NR.	KOMPONENT	POTENSIELL FEILMODE	EFFEKT AV SVIKT	FEILÅRSAKER	FOREBYGGING	OVERVÅKEDE PARAMETERE
1	Motor	Ingen pumpeeffekt	Produksjonsstans	Lite smøreolje, høy temperatur, elektrisitet	Sørge for tilstrekkelig kjøling. Overvåkning av temperaturer og vibrasjon	Trykk, temperatur, volt (spenning), vibrasjon
2	Pumpe	Ingen pumpeeffekt	Produksjonsstans	Lite smøreolje, høy temperatur, elektrisitet	Sørge for tilstrekkelig kjøling. Overvåkning av temperaturer og vibrasjon	Utgangstrykk, temperatur, vibrasjon
3	Tank	Lekkasje	Redusert lagringskapasitet, motorslitasje	Tank ikke tett, forsegling brutt	Riktig materialvalg til aktuelt medium. Trykkkontroll	Temperatur, trykk
4	Ventil	Permanent åpen/lukket	Ingen lagring/bruk av luft. Motorslitasje og trykkoppbygging	Mangel på smøring, rust, brukerfeil	Riktig smøring, opplæring, materialvalg	Åpen/lukket, oljeanalyse (smøring)

Tabell 5 FMECA for industrielle kompressorer

I tabellen ovenfor er det presentert en enkelt FMECA der noen av sviktårsakene er presentert sammen med de overvåkede parameterne knyttet til hver enkelt komponent i en pumpe. Ut fra den enkle FMECAen er det mulig å generere prognostiske parametere for en pumpe. Disse parameterne vil videre være en del av kunnskapsdatabasen i et ekspert-system. I Figur 5-4 vises det hvordan en pumps prognostiske parametere fremstilles.



Figur 5-4 Prognostiske parametere for industrielle kompressorer

Som man ser av figuren ovenfor er det presentert hvilke prognostiske parametere som kan overvåkes i hver del av en kompressor (svært forenklet). Beslutningslogikken til et ekspert-system vil ved hjelp av disse parameterne kunne bestemme hvor en feil befinner seg.

5.2.3 Refleksjon

I de to foregående delkapitlene har det blitt presentert prognostiske parametere for to ulike industrielle maskiner. Bakgrunnen for hvorfor disse maskinene ble valgt er at de er svært utbredt i industrien i dag. Det er viktig å legge merke til at de prognostiske parameterne er dannet på bakgrunn av en enkel versjon av FMECA, da oppgaven ønsker å presentere en forenklet versjon av hvordan prognostiske parametere kan fremstilles. Alle parametere i disse

eksemplene kan leses av ved hjelp av sensorer, men det er også muligheter for å implementere manuelle avlesninger der dette er hensiktsmessig eller at sensorer ikke fanger opp de riktige resultatene. Mer nøyaktige parametere kan videre fremstilles ved en mer grundig FMECA-analyse.

I de neste kapitlene vil det presenteres hvordan de fremstilte parameterne brukes for å bygge opp en kunnskapsdatabase, som igjen er nødvendig for å kunne gjøre de riktige beslutningene til riktig tid.

5.3 Beslutningsstøtte

En viktig forutsetning for at konseptet som har blitt presentert i dette kapitlet skal kunne fungere på en optimal måte er at det blir benyttet beslutningsstøtte som et verktøy for optimale vedlikeholdsintervaller. Som beskrevet i de foregående kapitlene er beslutningsstøtte bygget opp av en kunnskapsdatabase som gjenkjenner ulike feilmoder og degraderinger.

Beslutningsstøtteverktøyet ønskes å bygges inn i CMMS på en slik måte at operatører og vedlikeholdsledere kan se hvilke oppgaver som skal gjennomføres og hva oppgaven innebærer. I de neste delkapitlene vil det beskrives hvordan beslutningsstøtte blir bygd opp av kunnskapsdatabaser og regler, og hvordan dette vil vises i CMMS dashbord.

5.3.1 Kunnskapsdatabase

Innsamling av kunnskap er en svært viktig del av oppbyggingen av en kunnskapsdatabase. Innsamlingen er videre en komplisert del av oppbyggingen da det krever koordinering mellom de ulike ekspertene og operatørene. I dette konseptet vil oppbyggingen av kunnskapsdatabase belage seg på teknisk kunnskap hos studenten, da konseptet ønskes å presenteres som et forholdsvis enkelt verktøy og introduseres som en teknologisk innovasjon.

Kunnskapsdatabasen er i dette konseptet bygget opp av tre ulike deler:

1. Kunnskapsdatabase bygget opp av tilstandsovervåkning

Tilstandsovervåkingen er en konstant prosess som mottar sensordata og som overvåker de ulike parameterne bestemt ut fra de prognostiske parameterne.

2. Kunnskapsdatabase bygget opp av prediktive målemetoder

Prediktive målemetoder baserer seg på numeriske verdier slik som trender og avvik fra normale verdier. Disse blir kalkulert på bakgrunn av verdier hentet fra sensorer, og plassert i kunnskapsdatabasen. Videre er kunnskapsdatabasen bygget opp av de tidligere bestemte prognostiske parameterne og deres karakteristikkk.

3. Kunnskapsdatabase bygget opp av diagnoser

Diagnoser er bygget opp på samme måte som et feiltre. Forskjellen er at retningen er motsatt og man starter på bunnen av treet.

Et hypotetisk utdrag av sensoravlesninger basert på de presenterte prognostiske parametere knyttet til henholdsvis pumpe (Figur 5-3) og kompressor (Figur 5-4) er presentert i Tabell 6 og Tabell 7. Tabellene viser også konverteringen av sensorverdier til om de er OK eller ikke basert på bestemte grenseverdier.

Motor RPM	900 RPM	OK
Vibrasjoner (motor)	90 Hz	OK
Temperatur (motor)	95°C	OK
Trykk (motor)	1 Bar	OK
Oljelevel (motor)	3 Liter	OK
Temperatur (impeller)	5°C	OK
Trykk (impeller)	5 Bar	OK
Utgangstrykk (tetningsringer)	10 Bar	OK
Vibrasjoner (lager)	90 Hz	OK
Oljeanalyse (lager)	0	OK
Spenning (generator)	24 V	OK

Tabell 6 Hypotetisk utdrag av sensoravlesninger fra pumpe

Motor RPM	900 RPM	OK
Vibrasjoner (motor)	90 Hz	OK
Temperatur (motor)	95°C	OK
Trykk (motor)	1 Bar	OK
Temperatur (pumpe)	99°C	OK
Trykk (pumpe)	2 Bar	OK
Temperatur (tank)	8°C	OK
Trykk (tank)	20 Bar	OK
Åpen/lukket (ventil)	Lukket	OK
Oljeanalyse (ventil)	0	OK
Spenning (generator)	24 V	OK

Tabell 7 Hypotetisk utdrag av sensoravlesninger fra kompressor

5.3.2 Regelbasert beslutningsstøtte

Regelbasert beslutningsstøtte belager seg på oppbyggingen av den første nevnte databasen, tilstandsovervåkning. Som nevnt er dette en konstant pågående prosess som belager seg på sensoravlesninger. Regelbasert beslutningsstøtte bygges opp av gitte grenseverdier til de identifiserte parameterne som overvåkes. Reglene benytter seg av enkle datakommandoer slik som «OG», «ELLER» og «HVIS». Et eksempel på hvordan datamaskinen finner feilårsaken er presentert i Tabell 8 og baserer seg på pumpens prognostiske parametere.

REGEL	OVERVÅKET PARAMETER	GRENSEVERDI	KONKLUSJON
1	Hvis VIBRASJONER >	150 Hz	Stans motor
2	Hvis stans motor		Motor FEIL Mekanisk FEIL
3	Hvis TEMPERATUR (motor) >	120°C	Overoppheting
4	Hvis overoppheting OG OLJELEVEL (motor) <	0,1 Liter	Påfylling av olje
5	Hvis UTGANSTRYKK <	5 Bar	Lekkasje i tetningsringer
6	Hvis TRYKK (impeller) og TEMPERATUR (impeller) >	2 Bar og 5°C	Kavitasjon. Luft i inntak
7	Hvis SPENNING <	24V	Lav spenning
8	Hvis SPENNING er LAV		Generator FEIL Elektrisk FEIL

Tabell 8 Regelbasert beslutningsstøtte for pumpe

Som man ser av Tabell 8 er det utformet helt enkle regler for hva som fører til hva. Eksempelvis konkluderer systemet med at dersom spenning til generatoren er lav, feiler generatoren og det elektriske systemet har sviktet. Ut fra disse reglene og konklusjonene kan dermed vedlikeholdspersonell lettere forstå hva som er sviktårsaken og hva som skal repareres.

Basert på regelbasert beslutningsstøtte er det diagnostikk som er nøkkelordet. Bakdelen med dette fokuset og bruksområdet er at svikt gjerne har inntruffet før man får diagnostikk presentert. Den største fordelen med dette konseptet er tiden man sparer på feilsøking av hele maskinen.

5.3.3 Prediktiv beslutningsstøtte

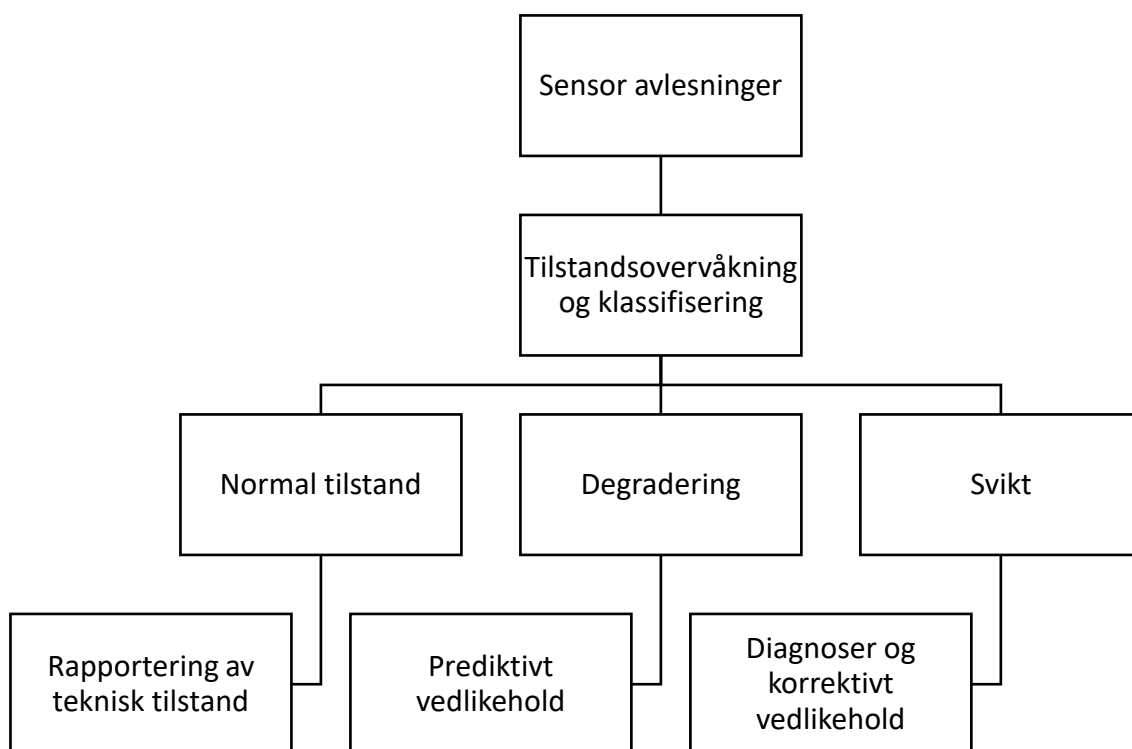
Prediktiv beslutningsstøtte bygger på numeriske verdier hentet fra sensorer i tillegg til trender og avvik fra normale verdier. I regelbasert beslutningsstøtte er det som nevnt diagnostikk som er prioritert, mens prediktiv beslutningsstøtte ønsker å avdekke feil før svikt oppstår.

Prediktiv beslutningsstøtte fungerer på en slik måte at grenseverdier for et gitt system eller enhet har blitt definert. Disse grenseverdiene er bestemt på bakgrunn av vurderinger gjort av kvalifisert personell eller av leverandørene. Beslutning om at vedlikehold skal gjennomføres belager seg dermed på avvik fra normale verdier.

Fordelene med prediktiv beslutningsstøtte er at det tidlig vil komme varsel om at enheten degraderer seg, eller at unormale verdier har blitt oppdaget. Dette gjør at vedlikeholdsaksjoner kan gjennomføres før en svikt oppstår. Ulempen med prediktive målemetoder er at kostnaden vanskelig kan forsvares dersom systemet som overvåkes ikke er kritisk for operasjonen.

5.3.4 Refleksjon

I de foregående kapitlene har to ulike verktøy for beslutningsstøtte blitt presentert. Tanken er at begge verktøyene inngår i det samme systemet og utøver ulike funksjoner. Dette er mulig da både regelbasert og prediktiv beslutningsstøtte belager seg på sensordata. I Figur 5-5 er sammenhengen mellom disse presentert. Her bestemmer tilstandsovervåkingen hvordan sensordataen skal klassifiseres. Dette baserer seg igjen på oppbygde kunnskapsdatabaser. Dersom tilstanden klassifiseres som normal, genereres det rapporter knyttet til teknisk tilstand. Se Figur 5-5. Dersom tilstanden har startet å degradere benyttes det prediktivt vedlikehold. Avslutningsvis, dersom svikt har oppstått, gjennomføres det diagnostikk og korrektive vedlikeholdsaksjoner.



Figur 5-5 Oppbygging av vurderingskriterier for expert-system

5.4 Utforming av CMMS

CMMS ble enkelt beskrevet i kapittel 5.1.4 som en del av konseptet for sensorstyring og bruk av expert-system. Videre beskrivelse av bruken av databaserte styringssystemer vil i dette kapitlet være sentralt. Utforming, innhold og brukergrensesnitt vil danne et grunnlag for styringssystemet i en vedlikeholdsorganisasjon.

CMMS, «Computerized Maintenance Management System», er datasystem som inneholder ulike moduler knyttet til aktiviteter innen produksjon, vedlikehold og reservedeler. Som nevnt har utviklingen av CMMS vært en del av den teknologiske utviklingen, og er en sentral del av mange vedlikeholdsorganisasjoner i dag. Organisasjoner er gjerne bygd opp rundt disse datasystemene siden de er kapable til å håndtere store mengder data, og de er fleksible når det gjelder hvilke moduler som skal være tilgjengelige for ulike aktører i en organisasjon.

Formålet med CMMS er ifølge [63] flerfoldig:

- Opprettholde optimal enhetsytelse ved å redusere nedetid noe som resulterer i lengre enhetslevetid
- Diagnostisere de overhengende problemene i stedet for å oppdage feil etter de har inntruffet, noe som resulterer i færre svikt og høyere tilgjengelighet

- Oppnå et høyere nivå av planlagte vedlikeholdsaktiviteter som muliggjør mer effektiv bruk av vedlikeholdspersonell
- Forutse lagerstyring og kjøp av reservedeler for å optimalisere lagerbeholdning
- Opprettholde optimal ytelse av systemet ved å redusere nedetid, for deretter å resultere i en lengre systemlevetid

5.4.1 Nøkkelementer i databaserte styringssystemer

I det ønskede styringssystemet knyttet til konseptet er det identifisert noen nøkkelementer som vil være en viktig del av verktøyet. Nøkkelementene er basert på tidligere «best practice», litteratur knyttet til implementering av CMMS, og elementer nødvendig for at konseptet knyttet til sensorstyring skal kunne brukes hensiktsmessig.

Identifiserte nøkkelementer basert på «best practice» er hentet fra [64] der små og mellomstore bedrifter har identifisert hvilke elementer som er viktigst i et databasert styringssystem:

- 100% av bedriftene peker på viktigheten av elementer knyttet til forvaltning/styring av planlagte og uplanlagte vedlikeholdsaktiviteter
- 100% av bedriftene ønsker muligheten for registrering og lagring av historiske data knyttet til organisasjonen
- 80% av bedriftene peker på analyse av historiske data som et viktig element i et styringssystem
- 70% av bedriftene krever et styringssystem som er kapabelt til å håndtere, generere og presentere arbeidsordrer
- 70% av de spurte bedriftene krever at styringssystemet er kapabelt til å kontrollere kostnader og budsjett
- 60% av bedriftene mener at reservedelsoversikt og reservedelsstyring er et viktig element i CMMS
- 40% av bedriftene krever et system som kan styre og kontrollere tekniske tegninger og dokumenter
- 30% peker på systemer som kan styre innkjøp knyttet til vedlikeholdsaksjoner
- 20% ønsker systemer som presenterer prosedyrer knyttet til tilstandsovervåkning
- 0% mener at et styringssystem skal inneholde styring og kontroll av tredjeparts ansatte

Litteratur og erfaringsbaserte artikler har på sin side identifisert følgende elementer som sentrale i et vedlikeholdsstyringssystem[65]:

- Arbeidsordresystem, vedlikeholdshistorie og preventivt vedlikehold
- Evne til å identifisere pålitelighetsmangler, analysere pålitelighetsmangler og å rapportere effektiviteten av pålitelighetskorrigeringer
- Enkel styring av arbeidsordrer, planleggingsfunksjoner, budsjett- og kostnadsfunksjoner, reservedelersstyring og nøkkelindikatorer
- Enkel funksjonalitet og integrering med annen kommersiell programvare
- Ressurs- og utstyrsstyring (ressursdata, arbeidshistorie, regnskapsdata, brukermanualer)

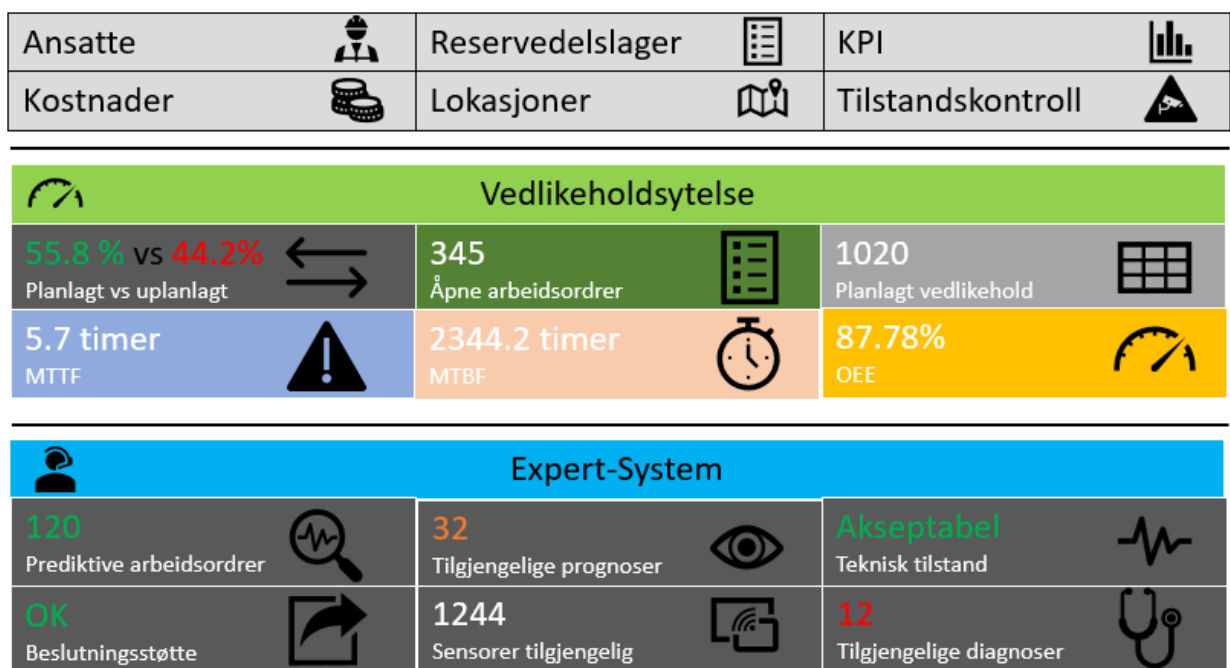
Avslutningsvis har følgende nødvendige moduler og nøkkelelementer blitt lokalisert for en hensiktsmessig utforming av styringssystem knyttet til konseptet for sensorstyring og expert-system:

- Et brukervennlig utformet arbeidsordresystem basert på anbefalinger fra den tekniske tilstanden og expert-systemet i kombinasjon med sensoravlesninger
- Moduler knyttet til presentering av aktuelle nøkkelindikatorer som OEE, tilgjengelighet og reservedelsstatus
- Reservedelsoversikt
- Fremtidige prognoser basert på prediktive analyser
- Et styringssystem som muliggjør bruk av portable enheter som nettbrett, mobiltelefoner og andre håndholdte enheter for enkel tilgang
- Forvaltning og styring av interne vedlikeholdsaktiviteter knyttet til både preventive, prediktive og korrektive aksjoner

5.4.2 Refleksjon

Et godt gjennomtenkt og utformet vedlikeholdsstyringssystem (CMMS) danner et viktig grunnlag for vedlikeholdsstyring i en organisasjon. CMMS gir organisasjonene muligheten til å kunne identifisere fokusområder, vedlikeholdsaksjoner og styring av personell. Dette gir en overordnet mulighet til å effektivisere vedlikeholdsprosessen og dermed kunne prege den operasjonelle tilgjengeligheten. Bakgrunnen for hvordan styringssystemet skal utformes baserer seg i hovedsak på hvilke behov en bedrift har. Videre er det viktig å inneha nødvendig kunnskap og erfaring for å identifisere hvilke moduler man trenger innad i organisasjonen. Basert på det som er presentert er moduler knyttet til arbeidsordrestyring, reservedelsstyring, nøkkelindikatorer, lagring av historiske data og kostnader sentrale i en eventuell utforming.

I dette delkapitlet har ulike moduler blitt identifisert i kombinasjon med de ønskede resultatene av implementering. Hovedfokuset har videre vært å kunne bruke de ulike tilgjengelige modulene for å implementere det foreslåtte konseptet for sensorstyring og bruk av expert-system. Et enkelt forslag til utforming av CMMS basert på studentens resultater illustreres i Figur 5-6.



Figur 5-6 Utforming av databasert vedlikeholdsstyringssystem

Figur 5-6 illustrerer hvordan ulike moduler kobles sammen i en helhetlig sammenstilling. Figuren er ment som illustrativ og tankegangen bak innholdet er videre beskrevet nedenfor i Tabell 9:

MODUL	BRUKSOMRÅDE
ANSATTE	En oversikt over tilgjengelige operatører, vedlikeholdspersonell og ledere
RESERVEDELSLAGER	Oversikt over tilgjengelige reservedeler
KPI	Key Performance Indicators. Forhåndsbestemte indikatorer som illustrerer graden av måloppnåelse
KOSTNADER	Illustrerer kostnader knyttet til ulike kostsentere, eksempelvis overtid, vedlikehold og innkjøp
LOKASJONER	Modul med oversikt over ulike områder og lokasjoner som organisasjoner råder over
TILSTANDSKONTROLL	Presenterer en oversikt over forhåndsbestemte enheter og hvilken teknisk tilstand disse er i
VEDLIKEHOLDSYTELSE	Illustrerer grad av ytelse til vedlikeholdsorganisasjonen. Inneholder eksempelvis moduler som OEE, MTTF og åpne vedlikeholdsordrer
EXPERT-SYSTEM	Modul som kobler sammen det presenterte konseptet for sensorstyring, expert-System og CMMS. Inneholder blant annet informasjon om prediktivt vedlikehold, beslutningsstøtte og sensorapplikasjoner

Tabell 9 CMMS-moduler

6. Konklusjon

Masteroppgavens hovedmål var å belyse teknologiske innovasjoner som har gjort seg gjeldende i lys av smart vedlikehold og Industri 4.0. Videre var målet til oppgaven å presentere hvilke endringer en digitaliseringsprosess fører med seg. Avslutningsvis var det også en målsetning å benytte de nevnte teknologiske innovasjonene for å presentere et konsept for vedlikeholdsstyring.

Oppgaven belyser hvordan Industri 4.0 og teknologiske innovasjoner har gjort det mulig å presentere nye vedlikeholdsstrategier og ny organisering av vedlikehold. Spesielt har oppgaven belyst vedlikeholdsstrategier som prediktivt og smart vedlikehold. Disse strategiene har gjort det mulig å planlegge vedlikeholdsaksjoner på en helt ny måte. Prediktive vedlikeholdsstrategier presenterer videre teknologiske innovasjoner som sensorapplikasjoner og expert-system som gjør det mulig å etterligne menneskelige beslutninger uten å være subjektive. Videre har oppgaven, i lys av Industri 4.0, presentert hvordan digitalisering gjør seg gjeldende i en fremtidig vedlikeholdsorganisasjon.

Oppgaven har presentert hvordan digitalisering kobler sammen større deler av en organisasjon enn tidligere, og hvordan digitalisering og sensorer kobler sammen den digitale og virkelige verden. Resultatet av en digitaliseringsprosess viser at organisasjoner kan operere mer effektivt og skape nye forretningsmodeller. Kombinasjonen mellom digitalisering og vedlikehold ser lovende ut med tanke på fremtidig vedlikeholdsstyring bygget opp av smart vedlikehold.

Siste hovedmål for oppgaven var å presentere et fremtidig konsept for vedlikeholdsstyring som var underbygget av teknologiske innovasjoner. Oppgaven presenterer et innovasjonsbasert konsept for fremtiden bygget opp av sensorer, expert-system og databasert vedlikeholdsstyringssystem og er et steg i retning av smart vedlikehold. Konseptet kobler sammen digitale verktøy på en slik måte at vedlikehold kan styres på en annen måte enn tidligere. Sentralt i konseptet er muligheten til å objektivt kunne få beslutningsstøtte for vedlikeholdsaksjoner.

Oppgavens overordnede formål var å skape et grunnlag for implementering i norsk industri som kunne føre til økt innsikt knyttet til eksisterende og fremtidig teknologi innen smart vedlikehold. Oppgaven har i stor grad tatt hensyn til hvor lite dagens industri er digitalisert,

og hensiktsmessig og enkelt presentert eksisterende og fremtidig teknologi som kan bli implementert.

Samtlige av masteroppgavens målsetninger er nådd, noe som har generert følgende resultater:

- Et teknologisk fundament for introduksjon av gjeldende og fremtidige teknologiske innovasjoner har blitt presentert
- Et rammeverk for hvordan digitaliseringsprosesser endrer, dikterer og tillater nye forretningsmodeller å oppstå, da tett knyttet til vedlikehold
- Et konsept som benytter seg av teknologiske innovasjoner knyttet til vedlikeholdsorganisasjonen

Oppgaven løser de gitte hovedmålene formulert av studenten og veileder i begynnelsen av oppgaveperioden. Studenten konkluderer derfor med at oppgaven har blitt løst på en hensiktsmessig måte, og er fornøyd med resultatet.

7. Videre arbeid

Teknologi utvikler seg svært raskt i dagens digitaliserte samfunn. Teknologiske verktøy knyttet til Industri 4.0 gjør at nye muligheter for implementasjon og utstrakt bruk gjør seg gjeldende svært ofte. Dette er videre en driver for utvikling av vedlikeholdsteknologi. I løpet av noen år kan det være tydeligere hvordan det som har blitt presentert kan være en viktig driver for ny utvikling i den forutstående industrielle revolusjonen og bevegelse mot smart vedlikehold. De neste årene er virkelig en interessant tid å være del av.

Et viktig punkt i videre arbeid med oppgaven vil være å analysere mer grundig hvordan Industri 4.0 og dens gjeldende teknologi påvirker industrien. Norge ligger langt bak i utviklingen og det vil være et nøkkelement for den norske industrien å ta inn over seg den revolusjonerende tiden.

Når det gjelder det presenterte systemet for hvordan sensorer og expert-system jobber sammen, vil det være nødvendig med prosjekter som bruker dette som applikasjoner i industrien. Løsningen vil måtte implementeres i stor nok grad for å kunne konkludere med et konsept for økning av eksempelvis operasjonell tilgjengelighet. Videre vil det være nødvendig å utvikle et databasert vedlikeholdsstyringsystem som har muligheten til å implementere det nye konseptet for vedlikeholdsstyring. Dette gjelder også et dashbord som er hensiktsmessig utformet med lignende moduler som har blitt presentert i denne oppgaven.

8. Referanser

1. Standard.no, *Vedlikehold - Vedlikeholdsterminologi, NS-EN 13306:2017*. 2019.
2. Stenström, C., et al., *Preventive and corrective maintenance – Cost comparison and cost–benefit analysis*. Vol. 12. 2015.
3. MainTech. *Vedlikeholdsstyring*. Ditt konkurransefortrinn? 2018 [cited 2019 04.03]; Available from: <http://www.maintech.no/tjenester/vedlikeholdsstyring/>.
4. Regjeringen, *Helse, miljø og sikkerhet i petroleumsvirksomheten*, A.-o. sosialdepartement, Editor. 2017-2018. p. 42-43.
5. Oljedirektoratet, *Basisstudie vedlikeholdsstyring*. 1998.
6. Standard, N., *Risk based maintenance and consequence classification*. 2017: Standard.no.
7. Petroleumstilsynet, *Principles for barrier management in the petroleum industry*. 2013, PTIL.
8. Petroleumstilsynet, *Prinsipper for barrierestyring i petroleumsvirksomheten: BARRIERENOTAT 2017*. 2017, PTIL.
9. Moen, E.F., *Maintenance and barriers: Principles for barrier management in the petroleum industry will be more and more important and It is fundamental to understand the maintenance function in the barrier management*, P. Schjøllberg, Editor. 2014, Institutt for produksjons- og kvalitetsteknikk.
10. Moubray, J., *Reliability-centered maintenance*. 1997.
11. Rausand, M. and J. Vatn, *Reliability Centred Maintenance, in Complex System Maintenance Handbook*, K.A.H. Kobbacy and D.N.P. Murthy, Editors. 2008, Springer London: London. p. 79-108.
12. Nowlan, F.S. and H.F. Heap, *Reliability Centered Maintenance*. 1978.
13. Vishnu, C.R. and V. Regikumar, *Reliability Based Maintenance Strategy Selection in Process Plants: A Case Study*. *Procedia Technology*, 2016. **25**: p. 1080-1087.
14. Emovon, I., R.A. Norman, and A.J. Murphy. *Elements of maintenance system and tools for implementation within framework of Reliability Centred Maintenance- A review*. 2016.
15. Rajan, V., A.A. Sambrekar, and D. R. Sridharan, *Maintenance strategies for realizing Industry 4.0: An overview*. 2018. p. 341-350.
16. Byrd, J. *What Is Total Productive Maintenance?* 2016; Available from: <https://www.qualitydigest.com/inside/operations-article/010716-what-total-productive-maintenance.html>.
17. Venkatesh, J. *An Introduction to Total Productive Maintenance (TPM)*. 2015; Available from: http://www.plant-maintenance.com/articles/tpm_intro.shtml.
18. Mobley, R.K., *18 - World-Class Maintenance*, in *An Introduction to Predictive Maintenance (Second Edition)*, R.K. Mobley, Editor. 2002, Butterworth-Heinemann: Burlington. p. 394-433.
19. Meland, O., et al., *Forskning og utvikling innen vedlikehold med relevans for petroleumsvirksomheten*. 2009, SINTEF Teknologi og samfunn. p. 186.
20. Schjøllberg, P., *5S*. 2015, NTNU: Blackboard.
21. Standard.no, *Vedlikehold - Hovedindikator for ytelse innenfor vedlikehold. NS-EN 15341:2007*. 2007.
22. Rødseth, H., J. Strandhagen, Ola, and P. Schjøllberg. *Key Performance Indicators for Integrating Maintenance Management and Manufacturing Planning and Control*. in

- IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems (APMS)*. 2015. Tokyo, Japan.
23. NORDIGI. *Nordigi i industri 4.0*. 2016; Available from: <https://nordigi.no/index.php/no/blogg/17-nordigi-i-industri-4-0>.
 24. Gilchrist, A., *Industry 4.0 : The Industrial Internet of Things*. 2016, Apress : Imprint: Apress: Berkeley, CA.
 25. Kagermann, H., et al., *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the Future of German Manufacturing Industry ; Final Report of the Industrie 4.0 Working Group*. 2013: Forschungsunion.
 26. Burgess, M., *What is the Internet of Things?* . WIRED, 2018.
 27. Lee, E.A. *Cyber Physical Systems: Design Challenges*. in *2008 11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC)*. 2008.
 28. Chukwuekwe, D.O., *Condition Monitoring for Predictive Maintenance: - A Tool for Systems Prognosis within the Industrial Internet Applications*, P. Schjøllberg and T. Glesnes, Editors. 2016, NTNU.
 29. Mahbobi, G. *Internet of Things/ Industry 4.0*. 2014.
 30. Buck, C. *Internet of Things - The Next Network*. 2014 20.03.19]; Available from: <https://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/digitalization-and-software/internet-of-things-embedded-systems.html>.
 31. Lee, J., B. Bagheri, and H.-A. Kao, *A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems*. *Manufacturing Letters*, 2015. **3**: p. 18-23.
 32. Regjeringen, *Industrien – grønnere, smartere og mer nyskapende*, Fiskeridepartement, Editor. 2016-2017, Stortinget.
 33. Han, T. and B.-S. Yang, *Development of an e-maintenance system integrating advanced techniques %J Comput. Ind.* 2006. **57**(6): p. 569-580.
 34. Andersen, E. and R. Sannes. *Hva er digitalisering?* 2017 [cited 2019 05.03.19]; Available from: <https://www.magma.no/hva-er-digitalisering>.
 35. Bloomberg, J. *Digitization, Digitalization, And Digital Transformation: Confuse Them At Your Peril*. 2018 [cited 2019 05.03.19]; Available from: <https://www.forbes.com/sites/jasonbloomberg/2018/04/29/digitization-digitalization-and-digital-transformation-confuse-them-at-your-peril/#767b4ae02f2c>.
 36. Selcuk, S., *Predictive maintenance, its implementation and latest trends*. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 2016. **231**(9): p. 1670-1679.
 37. Sullivan, G., et al., *Operations & Maintenance Best Practices: A Guide to Achieving Operational Efficiency*, USDepartmentofEnergy, Editor. 2010, U.S Department of Energy: FEDERAL ENERGY MANAGEMENT PROGRAM p. 321.
 38. Jantunen, E., et al., *e-Maintenance: trends, challenges and opportunities for modern industry*. *IFAC Proceedings Volumes*, 2011. **44**(1): p. 453-458.
 39. Holmberg, K., et al., *E-maintenance*. 2010, Springer London: London.
 40. Muller, A., A. Crespo Marquez, and B. lung, *On the concept of e-maintenance: Review and current research*. *Reliability Engineering & System Safety*, 2008. **93**(8): p. 1165-1187.
 41. Bokrantz, J., et al., *Maintenance in digitalised manufacturing: Delphi-based scenarios for 2030*. *International Journal of Production Economics*, 2017. **191**: p. 154-169.

42. Keidanren. *Society 5.0: Co-creating the future*. 2019 [cited 2019 10.05]; Available from: http://www.keidanren.or.jp/en/policy/2018/095_proposal.pdf.
43. Keidanren. *Designing Future Society for Our Lives*. 2018; Available from: <https://www.japanjournal.jp/society/pt20181010131502.html>.
44. Rouse, M. and I. Wigmore. *Definition: Sensor*. 2012 [cited 2019 05.03.19]; Available from: <https://whatis.techtarget.com/definition/sensor>.
45. Wilson, J.S., *Sensor Technology Handbook*. 2004, Oxford, UNITED STATES: Elsevier Science & Technology.
46. Bogue, R., *Sensors for condition monitoring: A review of technologies and applications*. Sensor Review, 2013: p. 295-299.
47. MathWorks. *Vibration Analysis of Rotating Machinery*. 2019 02.04.19]; Available from: <https://www.mathworks.com/help/signal/examples/vibration-analysis-of-rotating-machinery.html>.
48. Hennessy, W., CHAPTER 10 - Flow and Level Sensors, in *Sensor Technology Handbook*, J.S. Wilson, Editor. 2005, Newnes: Burlington. p. 237-254.
49. Midtskogen, S. *1-wire og MoistEx*. 2007 03.04.19]; Available from: <http://voksenlia.net/met/moistex/moistex.php>.
50. ElWatch. *Informasjon om El-Watch*. 2019 04.04.19]; Available from: <https://www.el-watch.com/kontakt/>.
51. Skjølvold, S. *El-Watch med ny teknologi i verdensklasse*. 2017 04.04.19]; Available from: <https://www.trollheimsporten.no/el-watch-med-ny-teknologi-i-verdensklasse.5970777-402060.html>.
52. Campbell, S. *ABB Ability Smart Sensor*. 2019 04.04.19]; Available from: <http://www.campbellelectricmotors.com/shop/abbsensor/>.
53. Fleischer, J., et al., *Guideline sensors for Industrie 4.0. Options for cost-efficient sensor systems*. VDMA Forum Industrie 4.0, 2018.
54. Syre, B., *Muligheter og utfordringer i forbindelse med videre utvikling av Tilstandsbasert Vedlikehold på Ula og Tambar*, in *DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET*. 2009, UIS. p. 114.
55. Coleman, C., et al. *Making maintenance smarter*. 2017; Available from: https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/3828_Making-maintenance-smarter/DUP_Making-maintenance-smarter.pdf.
56. Rastegari, A. and M. Mobin. *Maintenance decision making, supported by computerized maintenance management system*. in *2016 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*. 2016.
57. Fordal, J.M., H. Rødseth, and P. Schjøberg. *Initiating Industrie 4.0 by Implementing Sensor Management – Improving Operational Availability*. in *Advanced Manufacturing and Automation VIII*. 2019. Singapore: Springer Singapore.
58. Lee, J., C. Jin, and B. Bagheri, *Cyber physical systems for predictive production systems*. Production Engineering, 2017. **11**(2): p. 155-165.
59. Feigenbaum, E., P. McCorduck, and H.P. Nii, *The rise of the expert company*. 1988: Times Books. 322.
60. Simeón, E.A. and A.J. Álvares, *AN EXPERT SYSTEM FOR FAULT DIAGNOSTICS IN CONDITION BASED MAINTENANCE*. ABCM Symposium Series in Mechatronics, 2010. **4**: p. 304-313.
61. ABB. *Optimum process scheduling*. 2009 [cited 2019 28.05]; Available from: <https://search->

ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK104295D7855&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch.

62. Zhu, K.X., *Sensor-based Condition Monitoring and Predictive Maintenance—An Integrated Intelligent Management Support System*. Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management, 1996. **5**(4): p. 241-258.
63. Balouei Jamkhaneh, H., et al., *Impacts of computerized maintenance management system and relevant supportive organizational factors on total productive maintenance*. 2018. **25**(7): p. 2230-2247.
64. Fumagalli, L., M. Macchi, and M. Rapaccini, *Computerized Maintenance Management Systems in SMEs: a survey in Italy and some remarks for the implementation of Condition Based Maintenance*. IFAC Proceedings Volumes, 2009. **42**(4): p. 1615-1619.
65. Munyensanga, P., et al., *Information management to improve the effectiveness of preventive maintenance activities with computerized maintenance management system at the intake system of circulating water pump*. Procedia CIRP, 2018. **78**: p. 289-294.

Vedlegg 1 – Forkortelser

CMMS	Computerized Maintenance Management System
CPS	Cyber Physical System
ES	Expert-System
FMECA	Failure mode, effects, and criticality analysis
HMS	Helse, Miljø, Sikkerhet
IoS	Internet of Services
IoT	Internet of Things
KPI	Key Performance Indicators
MTTF	Mean Time to Failure
NORSOK	Norsk Sokkels Konkurransesposisjon
NS	Norsk Standard
NTNU	Norges Teknisk- Naturvitenskapelige Universitet
OEE	Overall Equipment Effectiveness
PdM	Predictive maintenance
PTIL	Petroleumstilsynet
RAMS	Reliability, Availability, Maintainability, Safety
RCM	Reliability Centered Maintenance
RH	Relative Humidity
SJA	Sikker Jobb Analyse
TPM	Total Productive Maintenance
WCM	World Class Maintenance



Masteroppgave Eirik Hove

**Smart vedlikehold som en del av fremtidens
innovative vedlikeholdssatning**

Forprosjekt Eirik Hove

NTNU

Institutt for maskinteknikk og produksjon

Forord

Som en del av mastergraden i undervannsteknologi ved NTNU skal det skrives en masteroppgave. Denne forstudierapporten skal danne grunnlaget for hvordan oppgaven skal struktureres og planlegges. Videre skal dette dokumentet tydeliggjøre hva oppgaven skal handle om, hva som er målsetningen og hvordan man oppnår denne.

Jeg ønsker å takke min veileder Per Schjølberg for hans hjelp og veiledning i dette forprosjektet.

Innhold

Forord.....	2
1. Introduksjon	4
2. Prosjektbeskrivelse.....	4
3. Målsetninger	5
3.1 Resultatmål.....	5
3.2 Effektmål	5
4. Problemstilling.....	5
5. Prosjektdeltagere	6
5.1 NTNU	6
6. Prosjektstyring.....	6
6.1 Prosjektplan.....	6
6.2 Risikostyring.....	7
6.3 Kvalitetssikring.....	8
7. Begrensinger.....	8
7.1 Tid.....	8
7.2 Litteratur og datainnsamling	8
8. Risikoanalyse	9
9. Referanser	10
Vedlegg A – Prosjektoversikt.....	11
Vedlegg B – Kostnad, tid og ressurser (KTR).....	12
B1 Arbeidspakke 1	12
B2 Arbeidspakke 2	13
B3 Arbeidspakke 3	14
B4 Arbeidspakke 4	15
Vedlegg C – GANTT-skjema	16

1. Introduksjon

For å kunne være konkurransedyktig i fremtiden må industrien være forberedt på å ta innover seg endringer og ny teknologi knyttet til Industri 4.0. Dette gjelder også for nye metoder knyttet til vedlikehold.

Prosjektet ønsker i hovedsak å fokusere på hvordan et fremtidig vedlikeholdskonsept kan bli seende ut for ledende industribedrifter. Videre blir det naturlig å beskrive tilknyttede tema til utviklingen av et slikt konsept. Naturlige tema som på dette tidspunkt har blitt identifisert er teknologi knyttet til Industri 4.0, og mer spesifikt sensorapplikasjoner og expert-system, et system for beslutningsstøtte.

Videre vil prosjektet kunne implementere andre relevante temaer knyttet til digitaliseringsprosesser og prediktive vedlikeholdsstrategier.

Avslutningsvis vil temaene samles sammen til en sammenfattet oppgave om vedlikeholdsstyring

2. Prosjektbeskrivelse

Masteroppgaven skrives som en del av mastergraden i undervannsteknologi ved NTNU, med spesialisering innenfor drift og vedlikehold. Masteroppgaven tilsvarer 30 studiepoeng og skrives i siste semester av det to-årige masterprogrammet. Før masteroppgaven gjennomføres har det blitt laget en prosjektoppgave samtidig som det har blitt tatt et spesialiseringsemne for å understøtte oppgavene.

Masteroppgaven vil bli skrevet av student Eirik Hove ved masterstudiet i undervannsteknologi – Drift og vedlikehold, ved Institutt for produksjon og kvalitetsteknikk (IPK), i samarbeid med veileder ved NTNU, Per Schjøllberg.

Studenten har selv kommet med temaer som han ønsker å presentere i oppgaven for deretter å legge dette frem for veileder Per Schjøllberg. Oppgaven skal presentere et fremtidig vedlikeholdskonsept som benytter seg av de nyeste teknologiske endringene i kjølvannet av Industri 4.0, da gjerne i kombinasjon med et CMMS (Computerized Maintenance Management System). Videre skal oppgaven presentere hva som kjennetegner Industri 4.0 og hvordan industri kan konvertere fra reaktive til proaktive strategier knyttet til vedlikeholdsfunksjonen.

3. Målsetninger

3.1 Resultatmål

Målet med denne oppgaven er å kunne presentere hva Industri 4.0 kjennetegner seg ved, og hvordan bedrifter tar del i denne utviklingen. Videre ønskes det å kunne legge frem en oppgave med relevant og dagsaktuell tematikk.

Prosjektet ønskes å ferdigstilles innen fastsatt tidsfrist, juni 2019. Dette er et prosjekt som ikke kreves kapital, så kostnadsrammen for prosjektet er lik null.

3.2 Effektmål

Målet med oppgaven vil være å presentere aktuell tematikk knyttet til vedlikehold i dag slik at oppgaven kan brukes av bedrifter til å kunne bedre sin tilgjengelighet og effektivitet.

4. Problemstilling

Problemstillingen i prosjektet har blitt utformet i samarbeid mellom student Eirik Hove og veileder Per Schjølberg. Et revidert forprosjekt vil lages etter at veileder Per Schjølberg har signert arbeidsavtale og lagt fram sine tilbakemeldinger på studenten ønske om fokusområder.

Studenten har lagt frem følgende stikkord til fokusområder:

- Industri 4.0
- Sensortechnologi/Sensorstyring
- Prediktive vedlikeholdsstrategier
- Moderne vedlikehold og hva som kjennetegner dette
- Expert-system som beslutningsstøtte for vedlikehold
- CMMS/Databaserte vedlikeholdsstyringssystem

5. Prosjektdeltagere

I tillegg til studenten er det foreløpig en annen deltager i dette prosjektet. Kort beskrivelse av denne deltageren vil følge.

5.1 NTNU

NTNU er Norges største universitet etter at det slo seg sammen med høgskolene i Ålesund, Gjøvik og Sør-Trøndelag. Dette betyr at omtrent 40.000 studenter tar utdannelsen sin ved universitetet. NTNU består av åtte fakulteter med ulike fokusområder.[1]

Oppgaven vil i sin helhet skrives i samarbeid med fakultet for ingeniørvitenskap og institutt for produksjon- og kvalitetsteknikk.

6. Prosjektstyring

For å kunne kontrollere fremgangen og styre fremgangsmåten vil ulike verktøy knyttet til prosjektstyring bli brukt. KTR-skjema vil bli knyttet opp til de ulike arbeidsoppgavene som skal gjøres. Der fremkommer det hvor lang tid det planlegges å bruke på oppgaven og hva som kreves for å gjennomføre den. Et foreløpig GANNT-skjema vil også brukes for å kunne se fremgangen i prosjektet og se hvor man ligger i forhold til tidsbruk.

6.1 Prosjektplan

Det planlegges å dele prosjektet opp i flere arbeidspakker og identifisere milepæler med fastsatte datoer. Disse arbeidspakkene vil man finne igjen i GANTT-skjemaet der man ser når arbeidspakken skal startes opp og når den er planlagt avsluttet.

For å ha kontroll på ulike de ulike arbeidspakkene vil det bli et laget en lagringsplattform der alle relevante dokumenter vil samles på et sted. Dette gjøres for å enkelt kunne finne fram riktig oppgave og sikre at relevant informasjon er lagret et sted det enkelt kan finnes frem.

Følgende arbeidspakker har blitt identifisert på dette stadiet:

- Arbeidspakke 1, forprosjekt
 - o Definerings av problemstilling
 - o Fastsette effektmål, resultatmål og rammer
 - o Redegjøre for arbeidsoppgaver
 - o Innlevering av forprosjekt
- Arbeidspakke 2, informasjonssamling

- o Litteraturstudie:
 - Industri 4.0
 - Prediktivt vedlikehold/Moderne vedlikehold
 - Sensor management/Sensorteknologi
 - Databaserte styringssystemer for vedlikehold
 - Vedlikeholdsstyring
- Arbeidspakke 3, informasjonsbehandling
 - o Sammenfatning av resultater fra informasjonssamling
 - o Resultatpresentering
- Arbeidspakke 4, rapportskrivning
 - o Oppbygging av rapport
 - o Sammenfatning av resultater fra informasjonsbehandling
 - o Lage presentasjon av prosjektet
 - o Rettskriving av prosjektrapport
 - o Kildebehandling
 - o Innlevering av prosjektrapport

I tillegg til at prosjektet er delt inn i arbeidspakker, følger prosjektet noen viktige milepæler.

Følgende milepæler er foreløpig fastsatt:

- Milepæl 1, innlevering av forprosjekt og fastsetting av problemstilling og arbeidsbeskrivelse
- Milepæl 2, litteraturstudie gjennomført for gjeldende temaer
- Milepæl 3, Sammenfatning av informasjonsbehandlingen
- Milepæl 4, innlevering av masteroppgave i juni 2019

6.2 Risikostyring

Som en del av forprosjektet vil det bli presentert ulike risikofaktorer som må tas hensyn til i forprosjektet. Disse skal videreføres til prosjektoppgaven for å være klar over de ulike risikoene som kan danne begrensninger for resultatet. Risikostyring vil bli et fokusområde i rapporten og vil endres etter hvert som prosjektet beveger seg fremover. En foreløpig risikoanalyse er presentert i kapittel 8.

6.3 Kvalitetssikring

For å oppnå høyest mulig kvalitet vil det gjennomføres en kvalitetssikring der veileder har en sentral rolle. For å kunne gjennomføre denne kvalitetssikringen vil tett kontakt mellom aktuelle aktører være nødvendig. Videre vil nøye gjennomgang av kilder være et sentralt tema i prosjektet.

7. Begrensinger

Det er noen viktige begrensinger som det må tas hensyn til i dette prosjektet. Disse begrensningene vil bli kort beskrevet i de neste delkapitlene.

7.1 Tid

Prosjektstart er fastsatt til 15.01.19. Innlevering av forprosjekt er fastsatt til 08.02.19. Innlevering av prosjektoppgave er fastsatt til 11.06.19. Masteroppgaven tilsvarer 30 studiepoeng, noe som tilsvarer 40 arbeidstimer i uken. Dette tilsvarer en arbeidsmengde på omtrent 800 timer.

7.2 Litteratur og datainnsamling

Gjennom NTNU vil det være tilgang på mye relevant litteratur og gode datapunkter. Videre vil det være nødvendig å skaffe god og innsiktsfull informasjon om andre industrier for å danne et godt grunnlag for prosjektet.

8. Risikoanalyse

Her er det tatt hensyn til de risikoene som er mest aktuelle for dette prosjektet. Det kommer også frem hvilke tiltak som vil bli iverksatt for å redusere risikoen så mye som mulig. I risikoanalysen brukes det en kvalitativ vurdering ut i fra beste forståelse. Etter å ha gjennomført tiltak vil man forhåpentligvis kunne redusere risikoen. Se Tabell 1 for risikoanalyse.

Innhold	Beskrivelse	Bakgrunn	Konsekvens	Risiko	Tiltak	Ny risiko
A	Ikke finne nødvendig materiale og litteratur	Dårlig kunnskap i bruk av litteratur Ikke tilgang til nødvendig data	Kvalitet	Høy	Skaffe nødvendig opplæring fra bibliotek Kontakt bibliotek for tilgang	Medium
B	Mangel på nødvendig tid for å fullføre prosjekt	Prioritering av andre emner Ikke følge oppsatt arbeidsplan	Kvalitet	Høy	Prioritere emner med mindre arbeidsmengde mindre Forvent høy arbeidsmengde	Medium
C	Mangel på nødvendig informasjon og involvering fra veileder	Prioritering fra veileder ved NTNU	Kvalitet	Høy	Fast jevnlig kontakt mellom student og veileder	Medium
D	Mangel på nødvendig tilbakemelding på prosjekt	Oppgaven skrives alene	Kvalitet	Høy	Veileder ved NTNU må informeres ofte og jevnlig om status ved prosjekt for å få tilbakemelding	Medium

Tabell 1 Risikoanalyse

9. Referanser

1. NTNU, *Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet*. 2018: Store Norske Leksikon.

Vedlegg A – Prosjektoversikt

Prosjektoversikt			
Prosjektnavn:	Moderne vedlikehold i Industri 4.0		
Ansvarlig person:	Eirik Hove	Revisjons dato:	28.01.19
Oppgave:			
<ol style="list-style-type: none">1. Definere hva som kjennetegner moderne vedlikehold i Industri 4.02. Litteraturstudie knyttet til gjeldende tema3. Presentere en masteroppgave med høy kvalitet			
Målsetning:			
<ul style="list-style-type: none">- Beskrive hvordan moderne vedlikehold kan brukes for å skape et fremtidig vedlikeholdskonsept- Innlevering av prosjekt innen 11.06.19- Lage en rapport som er tilfredsstillende etter studentens målsetning og veileder ved NTNU			
Suksessfaktorer:			
<ul style="list-style-type: none">- Kontroll over prosjekt- Behandling av risikofaktorer knyttet til prosjekt- Tett samarbeid og kommunikasjon mellom studenten og NTNU			

Vedlegg B – Kostnad, tid og ressurser (KTR)

B1 Arbeidspakke 1

Kostnad, tid og ressurser (KTR)			
Prosjektnavn:		Revisjonsdato:	
Moderne vedlikehold i Industri 4.0		28.01.19	
Arbeidspakke nr:	Arbeidspakke navn:	Ansvarlig person:	
1	Forprosjekt	Eirik Hove	
Arbeidsoppgaver:			
<ul style="list-style-type: none"> - Definerings av problemstilling - Fastsette effektmål, resultatmål og rammer - Redegjøre for arbeidsoppgaver - Innlevering av forprosjekt 			
Målsetning:			
<ul style="list-style-type: none"> - Levere et tilfredsstillende forprosjekt som formulerer oppgavene godt og som skaper et godt utgangspunkt for videre prosjekt 			
Fokusområder:			
<ul style="list-style-type: none"> - Tidlig sette fokus på leveranse av kvalitet og nøyaktighet - Tidsforbruk 			
Litteratur og ressurser:			
Arbeidsmåte:			
<ul style="list-style-type: none"> - Oppstart av prosjekt - Definerings av problemstilling i samarbeid med veileder 			
Utfordringer:			
<ul style="list-style-type: none"> - Definere oppgaven tilfredsstillende 			
Resultater:			
<ul style="list-style-type: none"> - Forprosjekt 			
Estimert tids- og ressursforbruk			
Estimert oppstart:	Estimert fullført:	Arbeidsmengde:	Lengde:
15.01.19	05.02.19	30 timer	10 dager

B2 Arbeidspakke 2

Kostnad, tid og ressurser (KTR)			
Prosjektnavn:		Revisjonsdato:	
Moderne vedlikehold i Industri 4.0		28.01.19	
Arbeidspakke nr:	Arbeidspakke navn:	Ansvarlig person:	
2	Informasjonssamling	Eirik Hove	
Arbeidsoppgaver:			
- Litteraturstudie knyttet til aktuelle temaer beskrevet i forprosjektet			
Målsetning:			
- Innhente nok relevant litteratur til å skaffe et godt grunnlag for videre arbeid			
Fokusområder:			
- Litteratur med høy kvalitet			
- Lære mer om Industri 4.0 og teknologiske applikasjoner			
Litteratur og ressurser:			
- Kontakte bibliotek for relevant litteratur			
Arbeidsmåte:			
- Innhenting av litteratur			
Utfordringer:			
- Datasamling og litteratur må være av god nok kvalitet til videre arbeid			
Resultater:			
- Informasjonssamling			
Estimert tids- og ressursforbruk			
Estimert oppstart:	Estimert fullført:	Arbeidsmengde:	Lengde:
05.02.19	15.03.19	100 timer	39 dager

B3 Arbeidspakke 3

Kostnad, tid og ressurser (KTR)			
Prosjektnavn:		Revisjonsdato:	
Moderne vedlikehold i Industri 4.0		28.01.19	
Arbeidspakke nr:	Arbeidspakke navn:	Ansvarlig person:	
3	Informasjonsbehandling	Eirik Hove	
Arbeidsoppgaver:			
<ul style="list-style-type: none"> - Sammenfatning av resultater fra informasjonssamling (Arbeidspakke 2) - Resultatpresentering 			
Målsetning:			
<ul style="list-style-type: none"> - Presentere resultater på en enkel og forståelig måte - Resultatene skal bære preg av arbeidsmengden 			
Fokusområder:			
<ul style="list-style-type: none"> - Gode begrunnelser og argumenter - Referansebehandling 			
Litteratur og ressurser:			
<ul style="list-style-type: none"> - Litteratur fra forrige arbeidspakke blir brukt 			
Arbeidsmåte:			
<ul style="list-style-type: none"> - Presentering av resultater 			
Utfordringer:			
<ul style="list-style-type: none"> - Argumenter må være underbygd av annen forskning/litteratur/data 			
Resultater:			
<ul style="list-style-type: none"> - Presentere resultater i prosjektet 			
Estimert tids- og ressursforbruk			
Estimert oppstart:	Estimert fullført:	Arbeidsmengde:	Lengde:
15.03.19	01.05.19	100 timer	21 dager

B4 Arbeidspakke 4

Kostnad, tid og ressurser (KTR)			
Prosjektnavn:		Revisjonsdato:	
Moderne vedlikehold i Industri 4.0		28.01.19	
Arbeidspakke nr:	Arbeidspakke navn:	Ansvarlig person:	
4	Rapportskriving	Eirik Hove	
Arbeidsoppgaver:			
<ul style="list-style-type: none"> - Oppbygging av rapport - Sammenfatning av resultater fra informasjonsbehandling - Lage presentasjon av prosjektet - Rettskriving av prosjektrapport - Kildebehandling - Innlevering av prosjektrapport 			
Målsetning:			
- Levere en tilfredsstillende prosjektoppgave med gjennomgående høy kvalitet			
Fokusområder:			
<ul style="list-style-type: none"> - Rapportskriving - Kvalitetskontroll - Referansekontroll 			
Litteratur og ressurser:			
- All ekstern litteratur som har blitt brukt skal være med i referanselisten			
Arbeidsmåte:			
- Rapportskriving			
Utfordringer:			
<ul style="list-style-type: none"> - Siden rapporten skrives alene kan det bli en utfordring å se sine egne feil - Tidsbruk på rettskriving av rapport 			
Resultater:			
- Prosjektrapport			
Estimert tids- og ressursforbruk			
Estimert oppstart:	Estimert fullført:	Arbeidsmengde:	Lengde:
01.05.19	01.06.19	100 timer	37 dager

Vedlegg C – GANTT-skjema

Arbeidsoppgave	Start dato	Slutt dato	Varighet
Arbeidsoppgave 1 - forprosjekt	15.01.2019	06.02.2019	21
Delbare prosjektering	15.01.2019	31.01.2019	16
Fasitene etabliert, medlemmer og samner	15.01.2019	28.01.2019	13
Redigerte for arbeidsoppgaven	15.01.2019	06.02.2019	21
Invitering av forprosjekt (Mikael I)	04.02.2019	06.02.2019	1
Arbeidsoppgave 2 - Informasjonsanlyse	06.02.2019	15.03.2019	38
Indstøtt I-0	06.02.2019	20.02.2019	15
Seminarering/Semarteknologi	10.02.2019	25.02.2019	15
Prøvetest vedtatt/bedre erfaring	15.02.2019	01.03.2019	14
Spørreskjema og CMS	20.02.2019	15.03.2019	23
Arbeidsoppgave 3 - Informasjonsdelstilling	15.03.2019	01.05.2019	47
Seminarstilling av medlemmer i Informasjonsanlyse (Mikael)	15.03.2019	01.05.2019	47
Redigerte prosjektering	15.03.2019	01.05.2019	47
Arbeidsoppgave 4 - Rapportering	01.05.2019	01.06.2019	31
Oppfølging av rapport	01.05.2019	06.05.2019	7
Seminarstilling av medlemmer i Informasjonsdelstilling	01.05.2019	20.05.2019	19
Lage presentasjon av prosjekt	25.05.2019	01.06.2019	7
Redigerte av rapport	25.01.2019	01.06.2019	127
Arbeidsoppgave	01.05.2019	01.06.2019	31
Invitering av prosjekteringsgruppen (Mikael I)	01.06.2019	11.06.2019	10

