

Håvar Vold
Kristine Gyth-Dehli

Evaluering av trådløs vibrasjonssensor og tilhørende datasystem for tilstandsbasert vedlikehold

Bacheloroppgave i Maskiningeniør, Drift og vedlikehold
Veileder: Viggo G. Pedersen
Medveileder: Audun Kim Midttveit
Mai 2023

Håvar Vold
Kristine Gyth-Dehli

Evaluering av trådløs vibrasjonssensor og tilhørende datasystem for tilstandsbasert vedlikehold

Bacheloroppgave i Maskiningeniør, Drift og vedlikehold
Veileder: Viggo G. Pedersen
Medveileder: Audun Kim Midttveit
Mai 2023

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



Kunnskap for en bedre verden

RAPPORT BACHELOROPPGAVEN**Tittel:**

Evaluering av trådløs vibrasjonssensor og tilhørende datasystem for tilstandsbasert vedlikehold
Evaluation of wireless vibration sensor and associated data system for condition-based maintenance

Prosjekt nr:

MTP-D-2023-06

Forfattere:

Kristine Gyth-Dehli
Håvar Vold

Oppdragsgiver eksternt:

ABB

Veileder internt:

Viggo G. Pedersen

Rapporten er ÅPEN

Dato levert: 22.05.2023

Kort sammendrag:

Sammendrag:

Denne bacheloroppgaven undersøker fordeler og ulemper ved ABB Smart Sensor-systemet med fokus på vibrasjonsanalyse og brukervennlighet. Metoder som ståstedsanalyse, intervjuer og lab-forsøk er brukt for å evaluere systemet. Resultatene indikerer at både Wireless HART og Bluetooth er brukervennlige og egnet for tilstandsbasert vedlikehold. Vibrasjonsanalysen kan forbedres, men Smart Sensor bidrar likevel til ressursoptimalisering og økt driftssikkerhet.

Summary:

This bachelor's thesis examines the advantages and disadvantages of the ABB Smart Sensor system, focusing on vibration analysis and user-friendliness. Methods such as site analysis, interviews, and laboratory experiments have been used to evaluate the system. The results indicate that both Wireless HART and Bluetooth versions are user-friendly and suitable for condition-based maintenance. Although there is room for improvement in vibration analysis, the Smart Sensor contributes to resource optimization and improved operational reliability.

Stikkord:

- Smart Sensor
- Vibrasjonsmålinger
- Brukervennlighet
- Pålitelighet
- Tilstandsbasert vedlikehold

Keywords:

- Smart Sensor
- Vibration analysis
- Usability
- Reliability
- Condition-based maintenance

Sammendrag

I denne bacheloroppgaven er det undersøkt fordeler og ulemper med ABB Smart Sensor systemet. Det har blitt testet *ABB Smart Sensor Wireless HART G2* og *ABB Smart Sensor Bluetooth G2*, som har hvert sitt ulike datasystem. Fokusområdet for testene har vært vibrasjonsanalyse og brukervennlighet. Det er også utført vurderinger på hvordan Smart Sensor systemet egner seg til bruk i et tilstandbasert vedlikehold. Det diskuteres i hvilken grad Smart Sensoren, som en digitalisert løsning, bidrar til et bærekraftig samfunn. Hensikten med bacheloroppgaven er å undersøke og evaluere Smart Sensor systemet i forhold til brukervennlighet og vibrasjonsanalyse. I tillegg er formålet å vurdere Smart Sensoren i forhold til et tilstandsbasert vedlikehold.

For å besvare problemstillingen er det tatt i bruk flere metoder. Det er gjennomført ståstedsanalyse generelt av Smart Sensor, og ståstedsanalyse med grunnlag i befaringer og intervjuer av brukere av både Wireless HART- og Bluetooth sensoren. Ståstedsanalysen er gjennomført for å kartlegge hvordan to bedrifter bruker sensorene i dag. Det er også gjennomført egne lab-forsøk, og forsøk som er utført av ABB. Disse forsøkene danner grunnlag for vurdering av vibrasjonsanalyse-verktøyene, samt brukervennligheten.

Det er funnet fordeler og ulemper med både Wireless HART-og Bluetooth sensoren, men funnene gir ingen klar konklusjon på hvilken som fremstår mest fordelaktig. Både ståstedsanalysen og lab-forsøkene indikerer at både Wireless HART-og Bluetooth sensoren er brukervennlige nok til å bli implementert i tilstandsbasert vedlikehold. Begge versjonene gir bruker et godt oversiktsbilde på tilstandsparametere. Imidlertid er det funnet ut at vibrasjonsanalysen for både Smart Sensor Wireless HART-og Bluetooth sensoren fremstår upresise og har rom for forbedringer. Smart Sensoren bidrar likevel til ressursoptimalisering, og er et element som øker driftssikkerheten.

Abstract

This bachelor's thesis examines the advantages and disadvantages of the ABB Smart Sensor system. The *ABB Smart Sensor Wireless HART G2* and *ABB Smart Sensor Bluetooth G2* have been tested, each with their own separate data system. The focus of the tests has been aimed towards vibration analysis and user-friendliness. Assessments have also been made on how the Smart Sensor system is suitable for condition-based maintenance. The extent to which the Smart Sensor, as a digital solution, contributes to a sustainable society is also discussed. The purpose of the bachelor's thesis is to investigate and evaluate the Smart Sensor system in terms of user-friendliness and vibration analysis. Additionally, the aim is to assess the Smart Sensor in relation to condition-based maintenance.

To answer the research question, multiple methods have been utilized. A general situational analysis of the Smart Sensor system has been conducted, as well as situational analysis based on field visits and interviews with users of both the Wireless HART-and Bluetooth sensor. The situational analysis was carried out to assess how two companies currently use the sensors. In addition, independent laboratory experiments and experiments conducted by ABB have been performed. These experiments form the basis for evaluating the vibration analysis possibilities as well as user-friendliness.

Advantages and disadvantages have been found for both Wireless HART-and Bluetooth sensor, but the findings do not provide a clear conclusion for which one is more advantageous. Both the situational analysis and the laboratory experiments indicate that both Wireless HART-and Bluetooth sensor are user-friendly enough to be implemented in condition-based maintenance. Both versions provide users with a good overview of condition parameters. However, it has been found that the vibration analysis for both Smart Sensor Wireless HART-and Bluetooth sensor appears to be imprecise and has room for improvement. Nevertheless, the Smart Sensor contributes to resource optimization and is a component that increases operational reliability.

Forord

”Evaluering av trådløs vibrasjonssensor og tilhørende datasystem for tilstandsbasert vedlikehold” er et resultat av emnet MAST2900 - Bacheloroppgave Maskin. Bacheloroppgaven er skrevet i forbindelse med studieprogram maskiningeniør med studieretning i drift og vedlikehold. Oppgaven er gjennomført våren 2023 i samarbeid med ABB.

Prosessen har vært lærerik, spennende og utfordrende. Gjennom bacheloroppgaven har gruppen benyttet seg av kunnskap bygget opp gjennom studiet. I tillegg har vi tilegnet oss verdifull kunnskap, og hatt mulighet til et dypdykk i emner som vibrasjonsmålinger, vibrasjonssensorer og tilstandsbasert vedlikehold. Gruppen har fått god tilknytting til arbeidslivet da vi har vært på befaring hos både Denofa, Skogn Biokraft og besøkt ABB i Bergen.

Vi vil rette en stor takk til veileder fra ABB, Audun Kim Midttveit, som har vært engasjert, gitt bra faglig innspill og vært en god støttespiller gjennom prosessen. I tillegg vil vi takke Tommy Hanssen som har bidratt i veiledninger og hjulpet med henvendelser angående Bluetooth sensor. Vi vil også takke Denofa og Skogn Biokraft som har gitt oss mulighet til å gjennomføre befaring og intervjuer. Til slutt vil vi takke vår interne veileder, Viggo G. Pedersen, som har hjulpet og veiledet oss gjennom både bachelorskriving og to år på studiet. Alle ovennevnte har bidratt til å løftet det faglige nivået for denne bacheloroppgaven.

Trondheim, 22.05.2023



Kristine Gyth-Dehli



Håvar Vold

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	iii
Abstract	iv
Forord	v
Figurer	xi
Tabeller	xii
Ordliste og forkortelser	xiii
1 Innledning	1
1.1 Motivasjon	1
1.2 Oppgavens mål	1
1.2.1 Resultatmål	2
1.3 Interessenter	3
1.4 Om ABB	4
1.5 Begrensninger	4
1.6 Disposisjon	5
2 Metode	6
2.1 Litteraturstudie	7
2.2 Dokumentstudie	8
2.3 Teams-møter med ABB veileder	8
2.4 Besøk til ABB i Bergen	8
2.5 Befaring og intervju	9
2.6 Lab-metode	9
2.6.1 Vibrasjonsmålinger gjort av ABB veileder	9
2.6.2 Metode for eget forsøk	11
2.7 Kvalitetssikring og validitet	12

3	Teori	14
3.1	Industri 4.0	14
3.1.1	IoT	14
3.2	Vedlikehold	15
3.2.1	Generelt om vedlikehold	15
3.2.2	Vedlikeholdsstryingssløyfen	16
3.2.3	Vedlikeholdsstyringssystemer - CMMS	17
3.2.4	Vedlikeholdstyper	18
3.2.5	Tilstandskontroll	19
3.2.6	PF-intervall	20
3.3	Driftssikkerhet	22
3.4	Generelt om vibrasjoner	23
3.4.1	Amplitude, frekvens og periode	23
3.4.2	Akselerasjon, hastighet og forskyvning	24
3.4.3	Vibrasjonsamplituden	26
3.5	Signalbehandling	27
3.5.1	Frekvens-og tidsdomene	27
3.5.2	Fast Fourier Transformasjon (FFT)	28
3.5.3	Samplingsrate	28
3.5.3.1	Anti-aliasing	29
3.5.4	Oppløsning	30
3.5.5	Filter	31
3.5.6	Windowing	31
3.5.7	Envelope	32
3.5.8	Bakgrunnsstøy	33
3.5.9	Resonans	33
3.6	Vibrasjonsanalyse	34
3.6.1	Diagnostisering av feil på roterende utstyr	34
3.6.2	Nettfrekvens	36
3.6.3	Lagerskedefrekvenser	37

3.7	Lagerskadefaser	39
3.8	Alarmgrenser	40
3.9	Viktigheten av riktig teknisk data	40
3.10	Montering og plassering av vibrasjonssensor	40
3.11	Holdningsendringer	41
3.12	Mennesker og datasamhandling	41
3.12.1	Brukergrensesnitt	44
3.13	FN-bærekraftmål	45
3.14	Nedvekst	46
3.15	Retten til å reparere	46
4	Ståstedsanalyse: Generelt om Smart Sensor	48
4.1	Smart Sensor spesifikasjoner	49
4.1.1	Teknsik data	50
4.2	Trådløs kommunikasjonsmetode	52
4.2.1	Wireless HART	52
4.2.2	Bluetooth	52
5	Ståstedsanalyse: Bruk av Smart Sensor i industrien	54
5.1	Situasjonsbeskrivelse Skogn Biokraft	54
5.1.1	Anvendelse av Smart Sensor systemet hos Skogn Biokraft	55
5.1.2	Skogn Biokrafts erfaringer med Smart Sensor systemet	56
5.2	Situasjonsbeskrivelse av Denofa	57
5.2.1	Anvendelse av Smart Sensor systemet hos Denofa	58
5.2.2	Denofas erfaringer med Smart Sensor systemet	59
6	Analyse, sammenligning og diskusjon av vibrasjonsmålinger med Wireless HART-og Bluetooth sensor	60
6.1	Frekvensspekter fra Wireless HART sensor, før og etter skade	61
6.1.1	Vibrasjonsanalyse med Wireless HART sensor	62

6.1.2	Sammenligning og diskusjon av frekvensspekter fra Wireless HART sensor	63
6.2	Frekvensspekter fra Bluetooth sensor, før og etter skade	64
6.2.1	Vibrasjonsanalyse med Bluetooth sensor	65
6.2.2	Sammenligning og diskusjon av frekvensspekter fra Bluetooth sensor .	65
6.3	Sammenligning og diskusjon av Wireless HART- og Bluetooth spekter, etter lagerskade	66
6.3.1	Mangelfull indikasjon på lagerskade i begge spekter	66
6.3.2	Fellesårsaker for at spektrene er mangelfulle og ikke viser lagerskaden	67
6.3.2.1	Måleprofiler - samplingsrate, filtreringsområde og antall linjer	67
6.3.2.2	Feilberegning av BPFO	68
6.3.2.3	Envelope	68
6.3.3	Analyseringsverktøy	69
6.3.4	Varsling av lagerskaden i datasystemene til AssetInsight og Powertrain	70
7	Vurdering av brukervennligheten og brukeropplevelsen til Smart Sensor systemet	71
7.1	Presentasjon, sammenligning og diskusjon av datasystemene	72
7.1.1	Forside	72
7.1.1.1	Sammenligning og diskusjon av forside	73
7.1.2	Tilstandsmåling	74
7.1.2.1	Sammenligning og diskusjon av tilstandsmåling	75
7.1.3	Informasjonsmengde	76
7.1.3.1	Sammenligning og diskusjon av informasjonsmengde	77
7.1.4	Design og farger	78
7.1.4.1	Sammenligning og diskusjon av design og farger	79
7.1.5	Presentasjon av feilmeldinger	80
7.1.5.1	Sammenligning og diskusjon av feilmeldinger	81
7.2	Brukeropplevelse fra eget forsøk	82
7.2.1	Mekanisk installasjon	82

7.2.2	Konfigurering av Bluetooth sensor med Powertrain	83
8	Resultat: Fordeler og ulemper, og forbedrings- potensial	84
8.1	Helhetsvurdering av resultat-tabell	85
8.2	Forbedringsområder av Smart Sensor systemet	85
9	Diskusjon av Smart Sensor systemet i et tilstandsbasert vedlikehold og i et bærekraftsperspektiv	87
9.1	Brukervennlighet for endring til tilstandsbasert vedlikehold	87
9.2	Analysebehov i tilstandsbasert vedlikehold	88
9.3	Smart Sensor systemet i et tilstandsbasert vedlikehold	89
9.4	Smart Sensor systemet i et bærekraftsperspektiv	91
9.5	Refleksjon av eget arbeid	93
10	Konklusjon	95
11	Videre arbeid	97
	Referanseliste	98
A	Vedlegg	103
A.1	ABB Smart Sensor brosjyre	103
A.2	Teknisk data High Performance Smart Sensor	104
A.3	DE envelope akselerasjon, Raw Data Rapport Bluetooth	105

Figurer

1	Interessentanalyse (1)	3
2	Disposisjon	5
3	Lagerskade ytterring, forsøk utført av ABB	10
4	Motorrigg ABB	11
5	Lagerskade yttering og kuleholder	12
6	Testrigg, maskintog	12
7	Vedlikeholdsstryingsløyfen (7)	16
8	vedlikeholdstyper	18
9	PF-intervall	20
10	Driftsikkerhetspyramide	22
11	Amplitude (X_o) og periode (T)(8)	24
12	Faseforskyvning mellom akselerasjon, hastighet og forskyvning(8)	25
13	Sammenheng mellom akselerasjon, hastighet og forskyvning (8)	26
14	RMS, peak og peak-to-peak(8)	27
15	Tidsdomene, frekvensdomene og FFT(11)	28
16	Aliasing, undersampling(11)	30
17	Hanning window(19)	32
18	Envelope (22)	33
19	Parallell skjevoppretting (11)	35
20	Nettfrekvens, line frequency (8)	36
21	BPFO-skade i spekter og lagerkomponenter(24)	38
22	Smart Seneser generasjon 2 (38)	48
23	Smart Sensor på motor, Skogn Biokraft	55
24	Smart Sensor på motor, Denofa	58
25	Flytskjema for oppbygning av kapittel 6	60
26	WH <u>uten</u> skade	62
27	WH <u>med</u> skade	62
28	BT <u>uten</u> lagerskade	64

29	BT <u>med</u> lagerskade	64
30	Forside WH: Plant Aasset View	72
31	Forside BT: Condition Monitoring	72
32	Tilstandsmåling WH: Asset View	74
33	Tilstnadsmåling BT: Operational Parameters	74
34	Informasjonsmengde WH	76
35	Informasjonsmengde BT	76
36	Maskintilstand WH	78
37	Maskintilstand BT	78
38	Feilmelding: Plant Aasset KPI's	80
39	Feilmelding: Event Log	80
40	Monteringbrakett for kjøleribber	82

Tabeller

1	Resultatmål	2
2	Interessenter	3
3	Kvalitative metoder	6
4	Kvantitative metoder	6
5	Eksempler på typiske feilmoder for roterende utstyr(12)	35
6	Tabell for faseinndeling av lagerslitasje	39
7	Åtte gylne regler for samhandlingsdesign(29)	43
8	Ulike tilstandsparamtere som måles	49
9	Driftsparametere	50
10	Teknisk data for målere	51

11	Brukerprofil Skogn Biokraft	54
12	Brukerprofil Denofa	57
13	Samlet tabell med fordeler og ulemper av WH og BT	84

Forkortelser og begreper

A/D omformer - Analog til digital omformer

AssetInsight - Datasystem til Wireless HART sensor

BT - Bluetooth Smart Sensor

CMMS - Computerized maintenance management system, vedlikeholdsstyringssystem

EX - Eksplosjonsfarlige områder

FFT - Fast Fourier Transformasjon

IoT - Internet of Things

Frekvenskomponent - I FFT brukes frekvenskomponent om en bestemt frekvens i et signal.

MTTR - Mean-Time-To-Repair

LOR - Line of resolution, antall frekvensbånd

LF - Line frequency, nettfrekvens

Powertrain - Datasystem til Bluetooth sensor

RMS - Root-mean-square, effektverdien

RPM - Rounds per minute, omdreininger per minutt

Smart Sensor system - Fellesbetegnelse for både Smart Sensor Wireless HART og Smart Sensor Bluetooth

WT - Wireless HART Smart Sensor versjon

1 Innledning

Dette kapittelet gir en innledning til bacheloroppgaven. Den tar for seg motivasjon og oppgavens mål. Det legges frem problemstilling og tilhørende resultatmål. I tillegg inneholder kapittelet oversikt over interessenter og informasjon om ABB. Til slutt beskrives oppgavens begrensninger og disposisjon.

1.1 Motivasjon

Gruppen har i løpet av studieperioden og studieretning arbeidet mye med tilstandsbasert vedlikehold. Dette danner grunnmotivasjonen for oppgavevalg og problemstillingen i bacheloroppgaven. Gjennom samtaler med ABB fikk gruppen undersøke hvordan ABB sin Smart Sensor brukes. Gruppen fikk mulighet til å utarbeide sin egen problemstilling i forhold til hva som var mest interessant å undersøke. Et samarbeid med en av de største leverandørene av industrielt utstyr gir gruppen motivasjon til å levere en nyttig rapport som ABB kan bruke til å avdekke forbedringer ved sitt produkt.

1.2 Oppgavens mål

Smart Sensor systemet er en trådløs vibrasjonsmåler, designet for overvåking av roterende utstyr. Sensoren kommer i to versjoner med forskjellige kommunikasjonsteknologi og tilhørende datasystemer. *ABB Smart Sensor Wireless HART G2* benytter et datasystem som heter AssetInsight. *ABB Smart Sensor Bluetooth G2* benytter et datasystem som heter Powertrain.

Gruppen vil gjennom oppgaven undersøke fordeler og ulemper av Smart Sensor systemet. Det skal testes de to ulike versjonen av Smart Sensor systemet. *ABB Smart Sensor Wireless HART G2* og *ABB Smart Sensor Bluetooth G2* vil bli testet mot hverandre for å kunne kartlegge fordeler og ulemper. Det skal fokuseres på forventninger av målinger ved en kjent feil på en el-motor, i tillegg til brukervennligheten av datasystemene AssetInsight og Powertra-

in. Gruppen vil fremlegge mulige forbedringsområder som fremkommer gjennom forsøkene. I tillegg skal gruppen vurdere hvordan Smart Sensor systemet kan brukes i et tilstandsbasert vedlikehold. Ut i fra dette har gruppen utviklet problemstillingen: ”Hva er fordelene og ulempene ved Smart Sensor systemet, og hvordan kan det brukes i et tilstandsbasert vedlikehold?”

Problemstillingen undersøkes fordi gruppen i samsvar med ABB vil ha et innblikk i hva som kan forventes av Smart Sensor systemet, i tillegg til å kartlegge mulige forbedringsområder. Dette begrunnes med at systemet er relativt nytt og det finnes enda usikkerheter på hva både ABB og bruker kan forvente.

1.2.1 Resultatmål

I Tabell 1 presenteres fire resultatmål som beskriver bacheloroppgavens hovedfokus.

Nr:	Resultatmål:
1.	Ståstedsanalyse av Smart Sensor systemet og hvordan det brukes i industrien i et tilstandsbasert vedlikehold.
2.	Undersøke fordeler og ulemper med Smart Sensor systemet i forhold til vibrasjonsanalyse og brukervennlighet.
3.	Foreslå forbedringer av Smart Sensor systemet.
4.	Evaluere Smart Sensor systemet i et tilstandsbasert vedlikehold og bærekraftig perspektiv.

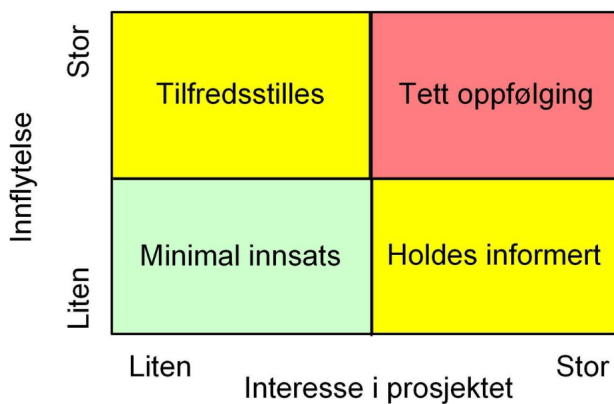
Tabell 1: Resultatmål

1.3 Interessenter

Tabell 2 viser en oversikt over interessenter for bacheloroppgaven. Tabellen presenterer også kontaktperson, roller og grad av oppfølging som tar utgangspunkt i en mal for interessentanalyse vist i Figur 1.

Interessent:	Kontaktperson	Rolle	Oppfølging
ABB	Audun Kim Midttveit	Veileder ABB	Tett oppfølging
NTNU	Viggo Gabriel Pedersen	Veileder NTNU	Tett oppfølging
Skogn Biokraft	Skogn Biokraft	Bruker av Smart Sensor Wireless HART	Tilfredstilles
Denofa	Denofa	Bruker av Smart Sensor Bluetooth	Tilfredstilles

Tabell 2: Interessenter



Figur 1: Interessentanalyse (1)

1.4 Om ABB

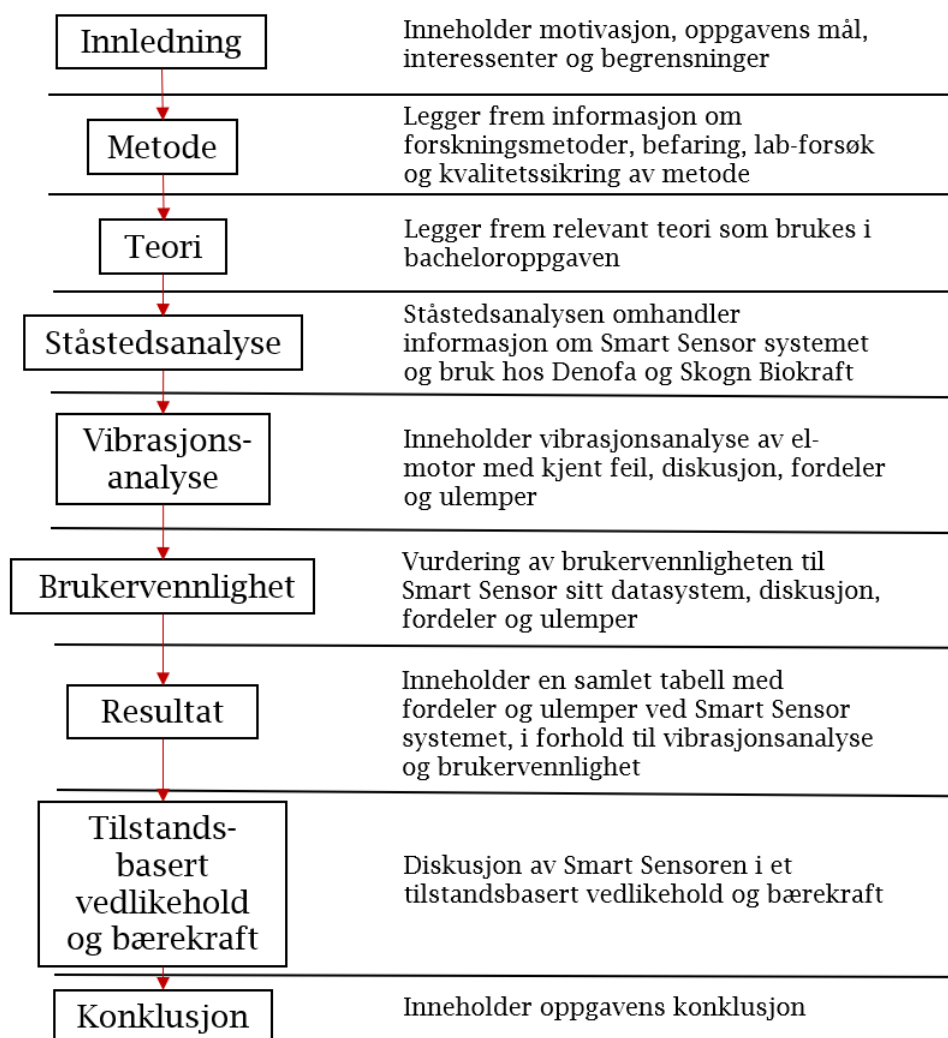
ABB er et multinasjonalt industrikonsern fra Sveits. De lever løsninger til industri innenfor energi, automasjon og robotikk. ABB ble grunnlagt i 1988, etter en sammenslåingen av et svensk og sveitsisk elektronikkselskap. I 2020 omsatte selskapet for ca. 26 milliarder amerikanske dollar og hadde omtrent 105 000 ansatte. (2)

1.5 Begrensninger

Bacheloroppgaven begrenses til en sammenligning av de to forskjellige versjonene av ABB Smart Sensor. Gruppen har kun mulighet til å utføre egne målinger med Bluetooth versjonen. Målinger med Wireless HART er utført av ABB veileder, og tilsendt til gruppen. Dette begrunnes i at oppsett Wireless HART var for ressurs-og tidskrevende. Brukeropplevelsen av Wireless HART baseres derfor på befaring og intervju med Skogn Biokraft, og opplæring av systemet ved bedriftsbesøk til ABB Bergen. Brukeropplevelsen av Bluetooth baseres på befaring og intervju med Denofa, og personlige erfaringer fra eget forsøk.

1.6 Disposisjon

Flytskjemaet under Figur 2 illstrerer hvordan bacheloroppgaven er bygd opp.



Figur 2: Disposisjon

2 Metode

Dette kapittelet legger frem hvilke metoder gruppen har benyttet seg av for å besvare problemstillingen. Kapittelet gir informasjon om hva slags kvantitative og kvalitative metoder som er benyttet, og en beskrivelse av disse. I tillegg beskrives metoder for lab-forsøk som er gjennomført. Til slutt diskuteres kvalitetsikring og validitet av metodene.

For å innhente relevant data og kunnskap for oppgaven er det både benyttet kvalitative og kvantitative forskningsmetoder. Kvalitativ metode benyttes ofte for innsamling av informasjon i form av tekst. Kvantitativ metode benyttes for datainnsamling av tall og målbare data. Tabellene 3 og 4 under viser hva slags informasjonskilder som har blitt benyttet i bacheloroppgaven, og hva slags type forskningsmetode kildene tilhører.(3)

Forskningsmetode	Informasjonskilde	Beskrivelse
Kvalitativ	Litteraturstudie	Pensumbøker, forelesningsnotater, forskningsartikler
Kvalitativ	Dokumentstudie	Datablad til Smart Sensor og datasystemet, og standarder
Kvalitativ	Befaring og intervju	Denofa og Skogn Biokraft
Kvalitativ	Teams-møter	Opplæring av systemet og deling av dokumenter
Kvalitativ	Besøk til ABB Bergen	Gjennomgang av AssetInsight

Tabell 3: Kvalitative metoder

Forskningsmetode	Informasjonskilde	Beskrivelse
Kvantitativ	Egne forsøk	Vekselstrømmotor med Bluetooth Smart Sensor
Kvantitativ	Tilsendte målinger fra ABB	Målinger med begge Smart Sensor versjonene
Kvantitativ	Tilgang til Denofas ABB Powertrain	Mulig å navigere i systemet, og følge med på feilutvikling og feilmeldinger

Tabell 4: Kvantitative metoder

2.1 Litteraturstudie

Det er utført et litteraturstudie for å tilegne gruppen teoretisk kunnskap for bacheloroppgavens temaer. Det er benyttet pensumbøker, forskningsartikler og forelesningsnotater. Det meste av litteraturen som er tatt i bruk er anerkjente kilder anbefalt av veileder ved NTNU. ”Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance” og ”An introduction to predictive maintenance” er to pensumbøker som er mye brukt i bacheloroppgaven. Det har vært fokus på kvalitetsikre kilder. Gruppen har derfor benyttet seg av NTNU Teknologibiblioteket og Oria for litteratursøk.

2.2 Dokumentstudie

Dokumentstudie er benyttet for å øke forståelsen av Smart Sensorens tekniske spesifikasjoner. Dette har primært vært studie av datablad tilhørende Smart Sensoren, samt datasystemene AssetInsight og Powertrain. I tillegg har dokumentstudiet innebært å innhente informasjon fra ISO-og NS standarder.

2.3 Teams-møter med ABB veileder

Gruppen har jevnlig gjennomført Teams-møter med veileder fra ABB. Møtene har bestått av opplæring og diskusjon av Smart Sensor systemet. Det har også vært gjennomgang av tilsendte vibrasjonsmålinger. Teams har vært en plattform som har blitt brukt til å dele dokumenter og annen informasjon fra ABB. Det har vært god kommunikasjon med ABB-veilederen gjennom hele prosessen.

2.4 Besøk til ABB i Bergen

Gruppen var på et bedriftsbesøk til ABB i Bergen, der vår veileder holder til. Under besøket hadde veileder en gjennomgang av Wireless HART sensoren og tilhørende datasystem AssetInsight. I tillegg fikk gruppen mulighet til å navigere seg rundt i AssetInsight til Skogn Biokraft, med tilsyn fra veileder.

Sammen med veileder var det planlagt å gjøre målinger på en motor før og etter skade, med både Wireless HART-og Bluetooth sensorene. De planlagte målingene var derimot ikke mulig å gjennomføre denne dagen da det oppsto en feil med test-motor. Målingene ble derfor gjort i etterkant av ABB veileder og tilsendt til gruppen. Dette er beskrevet nærmere i kapittel 2.6.1. Gruppen fikk likevel mye nyttig kunnskap fra besøket, og en økt forståelse av bruk og funksjoner av AssetInsight.

2.5 Befaring og intervju

Det har blitt gjennomført befaring og intervjuer av to ulike bedrifter. Disse bedriftene benytter seg av de to ulike Smart Sensor systemene. Denofa bruker Smart Sensor Bluetooth versjonen. Skogn Biokraft bruker Smart Sensor Wireless HART versjonen.

Befaring og intervjuer har gitt gruppen innblikk i hvordan Smart Sensor systemet brukes hos to ulike bedrifter. I tillegg har det belyst bedriftenens tilnærming til tilstandkontroll og tilstandsbasert vedlikehold. Bedriftenes erfaringer og bruk av Smart Sensor systemet er et nødvendig grunnlag for å besvare oppgavens resultatmål.

Ved befaring til Denofa fikk gruppen samtidig tilgang til Denofas ABB Powertrain datasystem for å følge med på feilutvikling og feilmeldinger.

2.6 Lab-metode

For å kunne gjøre en grundig undersøkelse av Smart Sensor systemet med de to ulike versjonene er det gjort lab-forsøk for å innhente data og erfaringer.

Det er gjort et lab-forsøk av vibrasjonsmålinger med både Wireless HART-og Bluetooth sensoren, utført av ABB. I tillegg har gruppen selv gjennomført et lab-forsøk med Bluetooth versjonen. Lab-metode kapitlet beskriver metoden for forsøk utført av ABB og metoden for forsøk utført av gruppen.

2.6.1 Vibrasjonsmålinger gjort av ABB veileder

Vibrasjonsmålingene som var planlagt å gjøre i Bergen ble gjennomført av ABB veileder i etterkant av besøket. Målingene er utført av veileder fra ABB da gruppen ikke har hatt tilgang på Wireless HART systemet i denne bacheloroppgaven. Dette begrunnes med ressurs- og tidsbegrensninger da det ville kreve mye forarbeid for å sette opp et HART nettverk, samt AssetInsight.

Hensikten med forsøket var å undersøke hvordan begge versjonene av Smart Sensoren kan benyttes for å gjennomføre vibrasjonsanalyse, og hvordan de responderer på samme type lagerskade.

Forsøket utført av ABB veileder bestod av to steg:

Steg 1: Vibrasjonsmålinger på motor uten lagerskade med både Wireless HART sensor og Bluetooth sensor.

Steg 2: Vibrasjonsmålinger på motor med lagerskade med både Wireless HART sensor og Bluetooth sensor.

På denne måten er det mulig å sette en referanseverdi ut ifra motor i god tilstand. Deretter se utviklingen av nå-verdi, som tas når motoren er i en dårlig tilstand. Motoren hadde et turtall på ca. 1500 RPM (rounds per minute).

Testutstyr:

- Asynkron vekselstrømmotor 2,2 kW
- Smart Sensor Bluetooth versjon
- Smart Sensor Wireless HART versjon

I forbindelse med forsøket ble det påført en lagerskade på drivende ende av den ene motoren. Lagertypen er et NSK 6306 lager. Skaden ble påført i yttering ved hjelp av en roterende fil. Bilde av lagerskaden vises i Figur 3.



(a) Slipemetode



(b) Skadeomfang

Figur 3: Lagerskade yttering, forsøk utført av ABB

Testtriggene som ble brukt er vist i Figur 4. Motoren til høyre er motoren uten lagerskade, og motoren til venstre er motoren med påført lagerskade.



Figur 4: Motorrigg ABB

2.6.2 Metode for eget forsøk

Gruppen har kun hatt tilgang til Smart Sensor Bluetooth versjonen for eget forsøk. Forsøket ble utført på en testrigg bestående av en vekselstrømsmotor med en bremsende enhet. På testtriggen har det vært mulig å overvåke strømtrekk og driftsmoment, slik at motoren arbeider under samme forhold ved gjentatte forsøk.

Hensikten med forsøket var å kartlegge brukereopplevelsen ved mekanisk installasjon, oppsett av dataprogram og evnen til å gi feilmeldinger på kjent lagerfeil. I tillegg har forsøket vært viktig for å evaluere systemet i sin helhet, og danne et grunnlag for besvarelse av

problemstilling.

Forsøket er utført i to steg:

Steg 1: Vibrasjonsmålinger på motor uten lagerskade med Bluetooth sensor.

Steg 2: Vibrasjonsmålinger på samme motor med lagerskade med Bluetooth sensor.

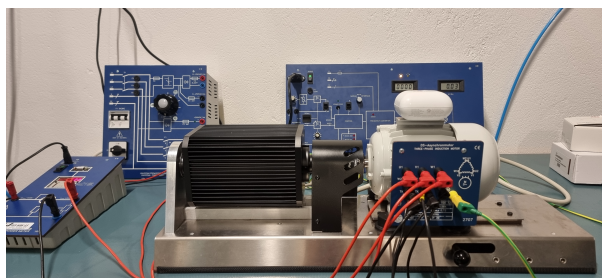
Testutstyr:

- Asynkron vekselstrømmotor 0,37 kW
- Smart Sensor Bluetooth versjon

I forbindelse med forsøket var det påført en lagerskade i drivende ende. Lagerskaden ble påført ved hjelp av en roterende fil og området for skaden er merket med rødt i Figur 5. Det er påført skade både på yttering og kuleholder. Lagertypen er NSK 2602Z. Oppsett av testtrigg vises i Figur 6



Figur 5: Lagerskade yttering og kuleholder



Figur 6: Testtrigg, maskintog

2.7 Kvalitetssikring og validitet

Gjennom bacheloroppgaven har kvalitetssikring av informasjon og teori vært vektlagt. Informasjon og litteratur som er benyttet er anbefalt av veiledere og ABB, og anses som kvalitets sikre kilder. Det har også vært fokus på at andre kilder skal være pålitelige og sikre. Det har derfor blitt hentet litteratur fra Oria og NTNU bibliotekene. Dette bidrar til å øke bacheloroppgavens validitet. I tillegg har gruppen har vært kritisk til eget arbeid. Det er gjort vurdering av kildene for å sikre god kvalitet og relevans til bacheloroppgavens

problemstilling.

Befaring og intervjuer av brukere av begge systemene bidrar til en økt validitet på oppgaven. Dette øker validiteten i forhold til problemstilling da det gir innsikt i brukeropplevelsen av begge systemene.

Muligheten for tilgang til Denofas ABB Powertrain, og muligheten til å undersøke i Skogn Biokraft sin AssetInsight ved ABB besøket er faktorer som øker validiteten i forhold til problemstilling. Validiteten kunne vært forbedret dersom det var mulig å gjennomføre egne målinger med Wireless HART. Konfigurering av Wireless HART var derimot for tids-og ressurskrevende å gjennomføre, og er en av oppgavens begrensninger.

3 Teori

Dette kapittelet presenterer relevant teori som er brukt i bacheloroppgaven. Målet med teori-kapittelet er å gi leseren en teknisk forståelse av oppgavens temaer og terminologi. Det omfatter blant annet generell informasjon om vedlikehold og vibrasjonsanalyse, samt viktige aspekter innen bærekraft.

3.1 Industri 4.0

Industri 4.0 anses som den siste industrielle revolusjonen. Den har oppstått i Tyskland som et resultat av at myndighetene ville sette et mål for hvordan fremtidige fabrikker skal være. Resultat av dette har blitt et felles mål om automatiserte fabrikker. Dette skal være mulig å oppnå, men det forutsetter at alle delene av industrien kan styres eller overvåkes ved hjelp av nettverk. Dette gjelder hele veien fra leverandører til ferdig produkt. Effekten av denne revolusjonen vil være effektiv produksjon med tanke på ressurser som energi, materiale og arbeidskraft. (4)

For å oppnå denne typen overvåkning og styring må fabrikker ta i bruk sensorer og styrings-systemer for overvåkning av spesifikke maskiner. Det er også viktig å skape kommunikasjon mellom maskinene og fabrikkene. Det er ikke fastsatt noen krav til teknologien eller kommunikasjonsmåter for revolusjonene. Dette må hver enkelt fabrikk ha ansvar for selv og finne den løsningen som er best for deres situasjon. (4)

3.1.1 IoT

Internet of Things (IoT), på norsk kalt tingenes internett et begrep som brukes for å beskrive nettverket som eksisterer internt i en fabrikk. IoT er et sentralt begrep i Industri 4.0. Som en del av Industri 4.0 skal IoT gjøre det mulig for alle maskiner i en fabrikk å kommunisere eller styre hverandre. En god overvåkning av maskineri skaper muligheter for bedre logistikk, og gjør det lettere å planlegge produksjon, bestillinger og stanser. Dagens teknologi gjør det

mulig å ettermontere nye sensorer på gammelt utstyr. En annen løsning kan være å utvikle nytt utstyr med kommunikasjonsteknologi integrert i designet. (4)

3.2 Vedlikehold

3.2.1 Generelt om vedlikehold

I følge SINTEF defineres vedlikehold som: ” *Aktiviteter som gjennomføres for å opprettholde eller gjenvinne et systems funksjonsegenskaper.*” (5)

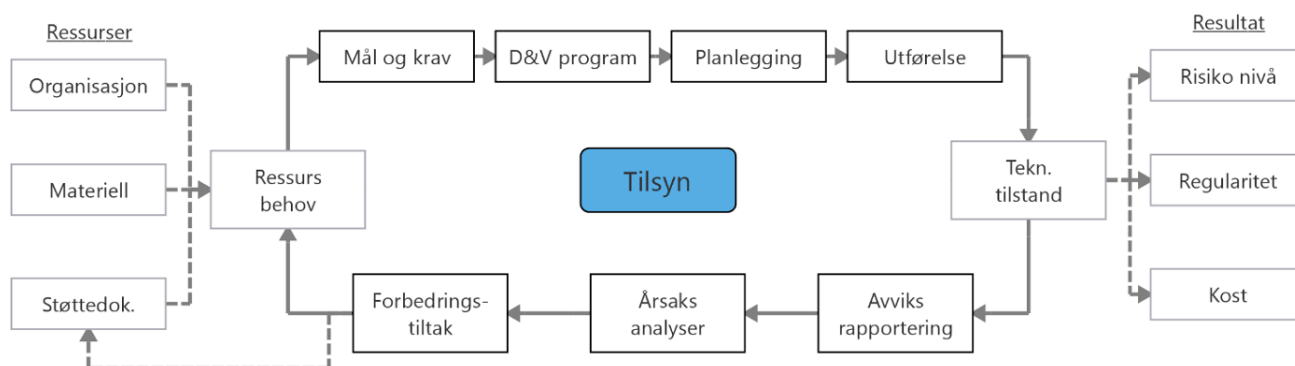
I dette kapittelet legges det frem forskjellige typer vedlikehold knyttet til industri og hvilke metoder som er sentrale innenfor vedlikehold.

Et godt vedlikehold vil sikre forutsigbar produksjonskapasitet. Dagens bedrifter opplever et krevende konkurransemarked og i den sammenheng vil det være viktig å kunne levere varene for best pris til avtalt tid. En av suksesskriteriene for at dette skal være mulig er at fabrikken alltid kan beholde produksjonsplanen. Et godt vedlikehold er kritisk for å holde produksjonsplanene og unngå havari eller nedetid av produksjonssystemer.

Moderne fabrikker inneholder som regel teknisk komplekse anlegg hvor uforutsette stans medfører høye avbruddskostnader. Det vil derfor være viktig å stille strenge krav til regulering og sikkerhet. (6)

3.2.2 Vedlikeholdsstryingsløyfen

Vedlikeholdsstryingsløyfen er en skjematisk modell som brukes for å beskrive hvilke hovedkomponenter som kreves for å oppnå et effektivt vedlikehold. Den skjematiske modellen er avbildet i Figur 7.



Figur 7: Vedlikeholdsstryingsløyfen (7)

Sløyfen er bygget opp med et utgangspunkt i at man starter med de tilgjengelige ressursene i organisasjonen. Disse ressursene skal deretter utnytttes best mulig for å oppnå det resultatet man ønsker. Vedlikeholdsstryingsløyfen vil fungere best når alle delene av sløyfen fungerer og den kan anses som lukket. Et sentralt ledd i denne modellen er *Tilsyn*. Tilsyn settes i midten i modellen fordi dette skal utføres i alle ledd.

Mål og krav settes med hensyn til hva man vil oppnå i organisasjonen. *D&V Program* beskriver hvilke type vedlikehold som skal gjennomføres på de forskjellige systemene og delsystemene. Vedlikeholdsstyringssystem (CMMS-Computerized maintenance management system) er en viktig komponent for å sikre dokumentasjon og utførelse av tiltak. *Planlegging* av vedlikeholdsaktiviteter settes ut fra D&V programmet. Det er viktig at planleggingen tilpasses driften. Det skal etterstrebtes å unngå driftstans. Videre i sløyfen skal arbeid *utføres* etter prosedyrer og *teknisk tilstand* dokumenteres. *Avviksrapportering* utføres gjennom CMMS og eventuelle feil må rettes opp gjennom årsaksanalyser og *forbedrende tiltak*.(7)(6)

3.2.3 Vedlikeholdsstyringssystemer - CMMS

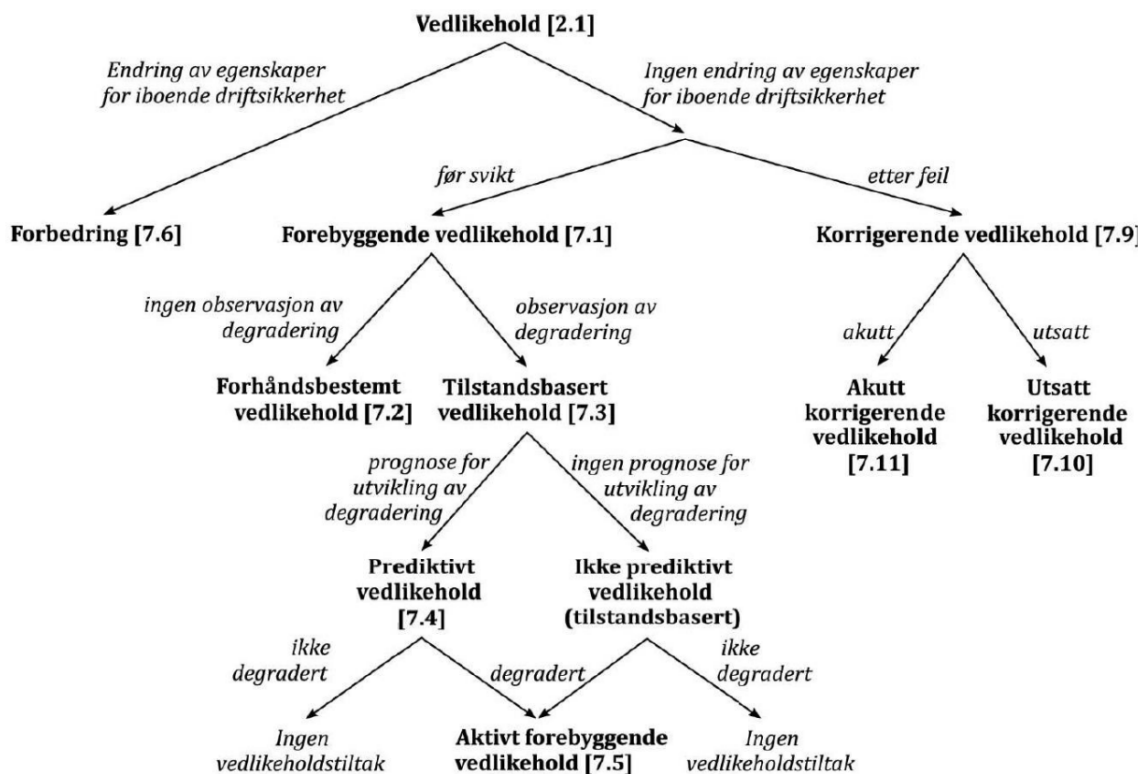
Moderne fabrikker som består av komplekse systemer bruker digitale vedlikeholdsstyringssystemer for å organisere vedlikehold og drift på en god måte. CMMS - Computerized Maintenance Management Systems, er digital metode for å effektivt styre vedlikeholdsaktiviteter og innhenting av data. Det brukes også som et verktøy som støtte for å ta beslutninger. Som en oppsummering kan man si at det er en digitalisering av nesten alle leddene i vedlikeholdssløyfen fra kapittel 3.2.2.

Informasjon i alle leddene kan legges inn eller genereres automatisk. Denne typen organisering ville vært en krevende oppgave uten digitale hjelpemidler som datamaskin. Det er derfor viktig at CMMS implementeres i alle leddene i en fabrikk for at bedriften skal få nytte av det.

CMMS vil føre til lavere drift og vedlikeholdskostnader, og økt tilgjengelighet på systemene. Det forutsettes at dette kun er mulig hvis CMMS systemet tilpasses bedriften og deres behov, og at hele organisasjonen er villig til å bruke dette. (6, 7)

3.2.4 Vedlikeholdstyper

Vedlikehold kan deles inn i to hovedkategorier, *korrektiv* eller *forebyggende* vedlikehold. De forskjellige typene vedlikehold er videre delt inn i underkategorier, som vist i Figur 8.



Figur 8: vedlikeholdstyper

Korrektivt vedlikehold - utføres når det har oppstått en feil eller svikt på maskinen som gjør at den ikke lenger kan levere ønsket ytelse. Denne typen vedlikehold vil man ha færrest mulig tilfeller av, og de skal i stor grad være planlagte. Enkelte feil på en maskin vil bringe med seg store konsekvenser hvis man velger å kjøre med feilen, og må korrigeres akutt. Dette kalles uforutsett eller akutt korrigerende vedlikehold. I motsetning kan mindre feil med lavere konsekvenser, korrigeres i nær fremtid. Dette kalles utsatt eller planlagt korrigerende vedlikehold. Dette vurderes ut ifra situasjonen og feilsøkingprosessen.

Forebyggende vedlikehold - Denne typen vedlikehold utføres før funksjonssvikt har oppstått. Disse handlingene skal føre til at maskinen ikke svikter ved et uforutsett tidpunkt. Disse handlingen har som formål å redusere sannsynligheten for nedetid, skade på utstyr, personell eller miljø. Det forebyggnede vedlikeholdet utføres etter en tidsplan, kontinuerlig eller ved behov.

Tilstandsbasert forebyggende vedlikehold- Dette er vedlikehold som utføres for å undersøke tilstanden på maskiner og utstyr. Dette kan foregå periodisk, eller kontinuerlig. Denne typen vedlikehold er målinger av oljenivå, smøring med fett eller oljer, målinger av vibrasjon eller funksjonstester.

Hvis disse målingene tilfredstiller de forhåndsbestemte kravene utføres ingen videre handlinger. Om tilstanden i motsetning ikke tilsvarer kravene vil det iverksettes handlinger for å utbedre.

Oppdages påbegynnende feil og den utbedres før den forårsaker en funksjonssvikt, anses dette som forbyggende vedlikehold. Utbedres feilen etter funksjonssvikt har oppstått anses dette som korrektivt vedlikehold.

3.2.5 Tilstandskontroll

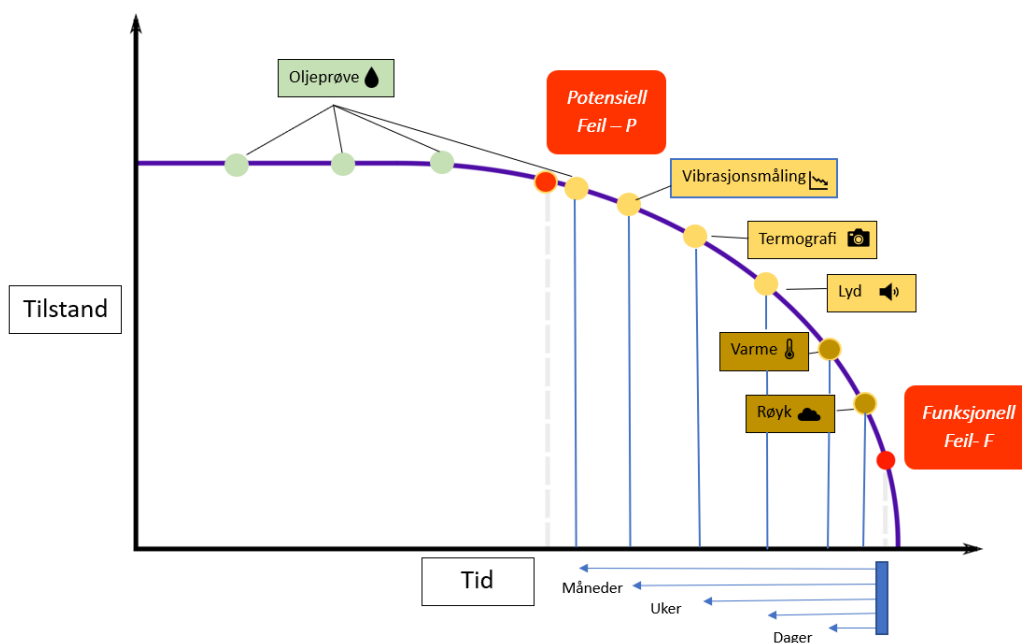
Et tilstandabsert vedlikehold forutsetter at tilstanden til maskiner eller hele system kan måles. Uførelse av tilstandskontroll benyttes for å danne et bilde av tilstanden til maskiner og enkeltkomponenter. Kontrollmetodene vil variere med hensyn til ulike maskiner. Forskjellige metoder blir også kombinert for å skape et presist bilde av tilstanden. Suksesskriterier for gode tilstandskontroller er kompetente arbeidere som er godt kjent med måleteknikker og måleutstyr. Tilstandsmålinger brukes i stor grad til å se etter endringer over tid. Det er vanlig å utvikle en referansekarakteristikk som sammenlignes med en nåverdi. Endringen i nåverdiene bruker som vurderingsgrunnlag for å bedømme hvilke vedlikeholdsaktiviteter som burde utføres. (6)

Den vanligste metoden er visuell inspeksjon. Dette er også den enkleste metoden, denne

vil kunne oppdage feil sent i feilutviklingen og krever god erfaring. Inspeksjonmetoder som krever måleinstrumenter gir gjerne mer presise målinger. Slike målinger i kombinasjon med historikk vil gjøre det mulig å måle maskinenes tilstand presist. Metoder som er mye brukt er vibrasjonsmåling, oljeprøver og temperatur. Ikke alle metodene er like relevante for alt utstyr, og metodene krever tilpasning til maskineriet.

3.2.6 PF-intervall

PF-intervallet brukes for å beskrive tidsintervallet mellom P, potensiell feil, og F, funksjonell feil for et system. Dette intervallet estimeres ut fra tilstandskontroller. Deretter gjennomføres det vurderinger av hvilke vedlikeholdstiltak som skal utføres. Det er ønskelig å ha størst mulig tidsintervall mellom P og F. Dette gjør det lettere å organisere vedlikeholdstiltak. PF-intervallet er avbildet i Figur 9. Teorien som er beskrevet i dette delkapittelet er hentet fra forelesinger fra emnet MAST2012. (8)



Figur 9: PF-intervall

Forskjellige tilstandskontroller vil gi forskjellig mulighet til å se degradering av maskiner. Velges det riktig metode, kan potensielle feil oppdages tidligst mulig. Dette medfører at tilstandskontrollmetodene må tilpasses maskinene og hvordan de brukes.

Oljeprøver er den metoden som hvis utført på rett tidpunkt kan gi tidligst indikasjon på degradering av en maskin. Denne metoden gir opp til flere måneder med forvarsel om at maskinen har en potensiell feil.

Vibrasjonsanalyser er en mye anvendt og presis metode for måling av tilstanden til roterende utstyr. Denne metoden måler vibrasjoner over tid. Endringer i vibrasjonbildet vil si noe om maskinens tilstand. Denne metoden vil å oppdage feil flere uker og opp til flere måneder før F. Dette vil variere med presisjonen av sensoren som anvendes i målingene. Denne metoden er beskrevet nærmere i kapittel 3.4.

Termografiske bilder av maskiner er en enkel og anvendelig metode. Denne metoden antyder P opp til flere uker før F. Det forutsettes at også disse målingene utføres til rett tidpunkt eller kontinuerlig.

Endring i lydbildet gir indikasjon på P opp til uker før F. Lydutfvikling eller endring i lydbildet kommer som en etterfølge av vibrasjonsendringer. Endring i lydbildet tilsier større degradering av kulelager eller mekaniske kontaktflater. Denne metoden anses som litt mindre presis siden menneskelige sanser kan variere mellom individer.

Temperaturmåling vil kunne oppdage P opp til dager før F. Disse degraderingene har stort omfang og medfører at større deler av maskinen opplever en oppheting.

Røykutvikling oppstår så nærme F at det er vanlig å anta dette som samme tidspunkt for funksjonsfeil. Her vil det mest sannsynlig være omfattende skader på maskinkomponenter eller komponenter rundt skadeområdet. Maskiner under oppsyn blir skjeldent kjørt til dette punktet.

3.3 Driftssikkerhet

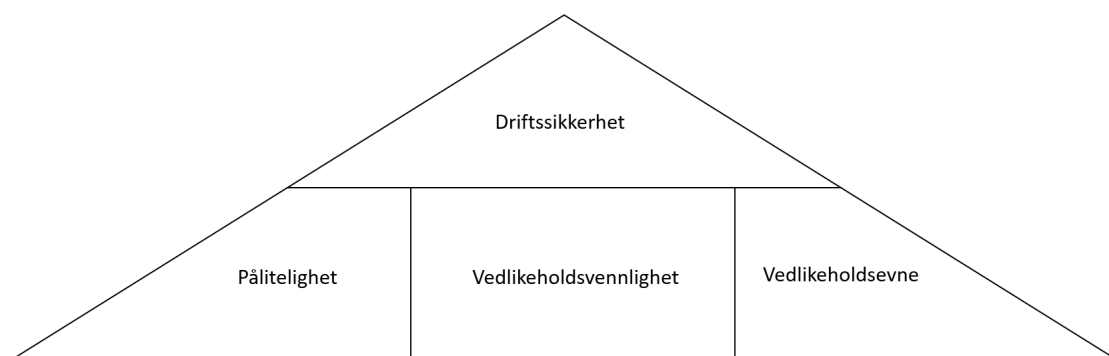
I følge standarden NS-EN 13306 defineres driftssikkerhet som ”evnen til å fungere som det kreves og slik det kreves” (9) .

Som illustrert i Figur 10 er driftssikkerhet avhengig av tre faktorer: Pålitelighet, vedlikeholdsvennlighet og vedlikeholdsevne. Pålitelighet er enhetens evne til å utføre krevd funksjon, innen et gitt tidsintervall.

Vedlikeholdsvennlighet er hvor enkelt og effektivt det er å utføre vedlikehold på en enhet. Dette kan måles som Mean-Time-To-Repair (MTTR).

Vedlikeholdsevnen avhenger av det organisatoriske, inkludert vedlikeholdsstrategien, holdningene og kompetansen til de ansatte.

En god driftssikkerhet gir redusert nedetid og vedlikeholdskostnader. Gruppen har illustrert relasjonen som en pyramide for å understreke viktigheten av de tre faktorene i grunnmuren i Figur 10. (9)



Figur 10: Driftssikkerhetspyramide

3.4 Generelt om vibrasjoner

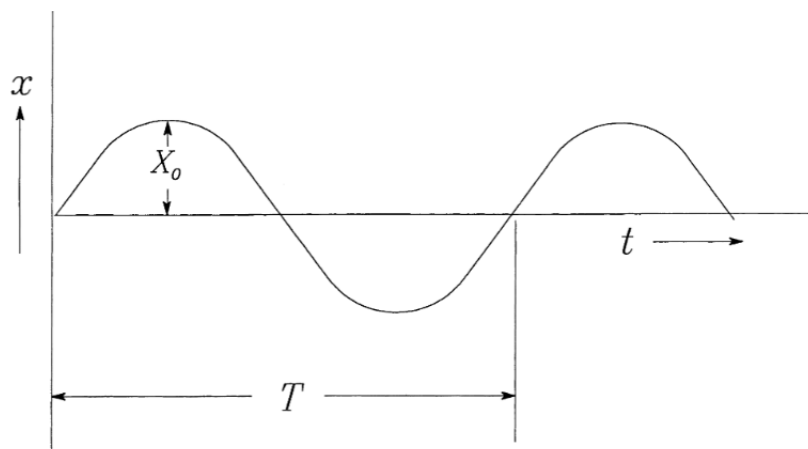
Vibrasjonsanalyse er en tilstandskontrollmetode som brukes på roterende utstyr for å avdekke begynnende feil. For roterende utstyr vil de fleste feil eller skader gi et økt vibrasjonsnivå. Ved å overvåke roterende utstyr med vibrasjonsanalyse vil det kunne oppdages skadeutvikling i form av forandring i vibrasjonsnivået i forhold til en normalverdi. Vibrasjonsmåling er en av de vanligste metodene for overvåking av maskinens tilstand fordi den reagerer raskt på en endring. Det kan derfor benyttes til kontinuerlig målinger. (10)

En frisk motor gir ut en vibrasjonkarakteristikk der de ulike komponentene i en motor gir ut en egen spesiell frekvenskarakteristikk. Ved hjelp av vibrasjonsanalyse er det mulig, ut ifra de ulike frekvensene, å indikere hvilken komponent som har en skadeutvikling eller hvilken type feil som har oppstått. Typiske feil som kan oppdages er blant annet lagerskade, ubalanse, skjevoppretting, girslitasje og kavitasjon. Hver av disse type feilene vil ha en unik frekvenskarakteristikk. Fra en vibrasjonsanalyse vil frekvensen indikere kilden til vibrasjon, og amplituden angir alvorlighetsgraden til feilen. Hensikten med vibrasjonsanalyse er å øke utstyrets levetid, forhindre havari og planlegge vedlikehold. I tillegg vil det bidra til å redusere nedetid og vedlikeholdskostnader. (6)

3.4.1 Amplitude, frekvens og periode

Vibrasjon kan forklares som når en maskin eller maskindel beveger seg frem og tilbake mellom to ytterpunkter med utgangspunkt i et nullpunkt. Vibrasjon er periodiske og harmoniske svingninger som kan illustreres som en sinuskurve. Målinger av vibrasjon er bevegelsen rundt et nullpunkt i forhold til tid, og beskrives med amplitude, frekvens og periode.

Amplitude er høyden fra nullpunktet til en bølgetopp. Amplituden gir indikasjon på hvor mye energi som overføres fra systemet til omgivelsene. Perioden til en vibrasjon beskriver tiden det tar for en full svingning, og måles i sekunder (s). Frekvens er hvor mange svingninger som skjer per sekund og måles i hertz (Hz). Amplitude og periode er illustrert i Figur 11. (11)

Figur 11: Amplitude (X_o) og periode (T)(8)

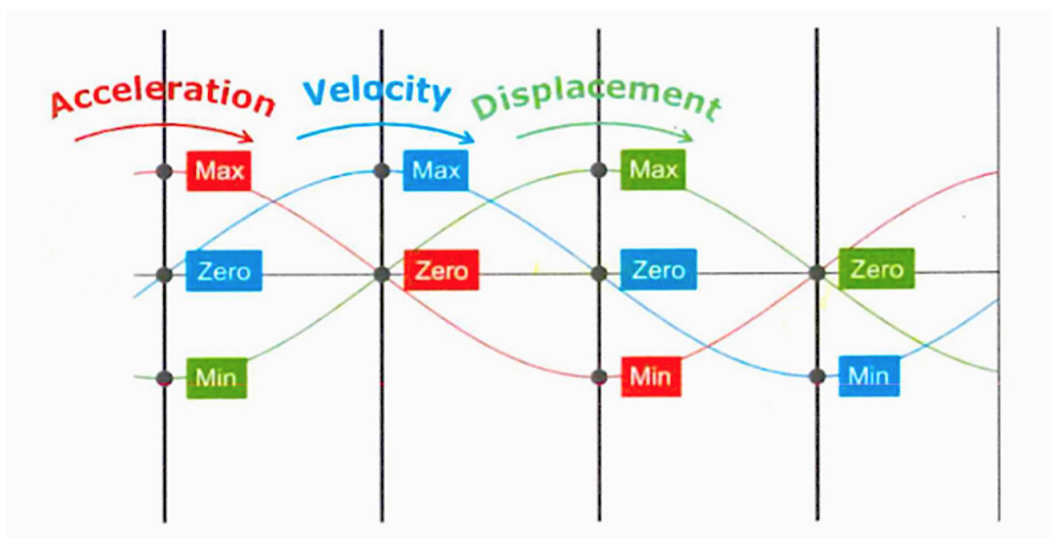
Frekvens og periode er knyttet sammen ved Formel 1:

$$f = \frac{1}{T} \quad (1)$$

(11)

3.4.2 Akselerasjon, hastighet og forskyvning

Vibrasjon kan måles som akselerasjon, hastighet eller forskyvning. Amplituden av vibrasjonen fra en av disse tre parameterene er det første som indikerer noe om maskinens tilstand. Vibrasjonsamplituden korresponderer til intensiteten i vibrasjonen og alvorlighetsgraden av feilen. Akselerasjon, hastighet og forskyvning er faseforskyvet med 90 grader for hverandre. Dette er vist i Figur 12.



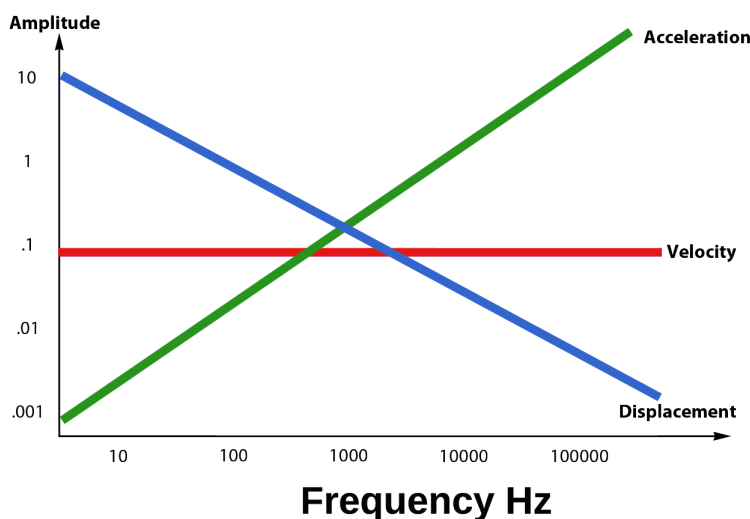
Figur 12: Faseforskyvning mellom akselerasjon, hastighet og forskyvning(8)

Hvilken av disse tre parameterene som skal benyttes, er avhengig av hva som måles og hvilket frekvensområde bevegelsen er i. Eksempelvis vil bevegelser ved 10 Hz ha veldig små vibrasjonsamplitude målt som akselerasjon ($1g = 9.81 \frac{m}{s^2}$), moderate vibrasjonsamplituder målt i hastighet ($\frac{mm}{s}$) og størst vibrasjonsamplituder målt i forskyvning(mm). Forskyvning vil derfor benyttes ved lavfrekvente vibrasjoner, slik som ved en frekvens på 10 Hz.

Hastighet ($\frac{mm}{s}$) benyttes ved frekvenser mellom 10 Hz og 1000 Hz. Vibrasjoner i dette frekvensområde vil ofte være følbare vibrasjoner.

Akselerasjon ($g = 9.81 \frac{m}{s^2}$) benyttes ved frekvenser over 1000 Hz. Akselerasjon er høyfrekvent og hørbart, det vil si at vibrasjonen er noe som oppfattes ved en ulyd i maskinen. Hastighet er den mest brukte parameteren å måle vibrasjonsmåling da roterende utstyr ofte opererer i frekvensområde mellom 100-1000 Hz. (11) (12)

Målområdene for akselerasjon, hastighet og forskyvning er illustrert i Figur 13.



Figur 13: Sammenheng mellom akselerasjon, hastighet og forskyvning (8)

3.4.3 Vibrasjonsamplituden

Vibrasjonsamplituden kan angis ved peakverdi, peak-til-peak og RMS (Root Mean Square). Peakverdi er avstanden fra nullpunktlinjen til maksimal utslag, det vil si den høyeste verdien vibrasjonssignalet i en tidsperiode.

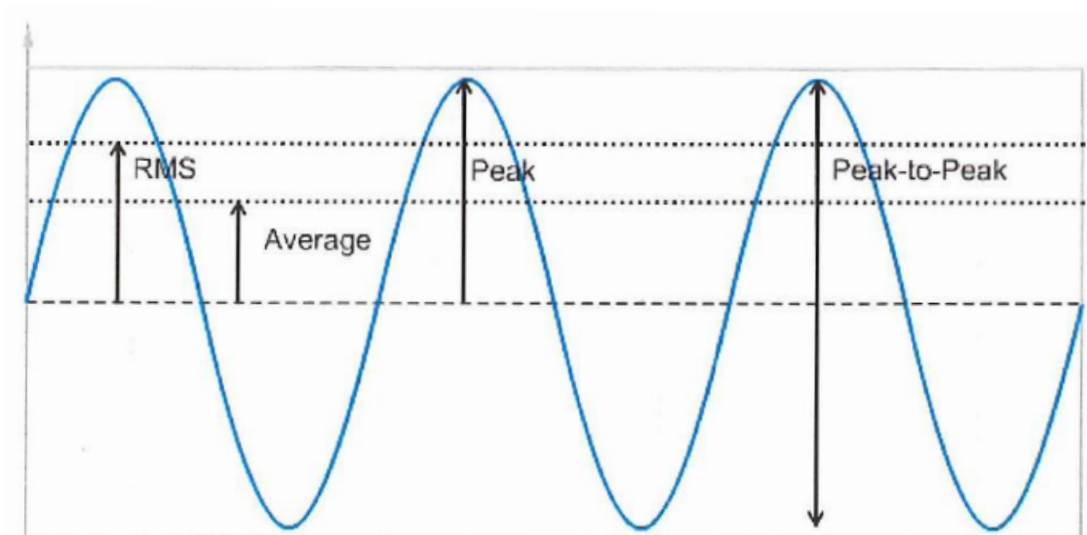
Peak-til-peak beskriver den totale amplituden fra hvert ytterpunkt av vibrasjonen. Denne verdien måles fra maksimal utslag under nullpunktlinjen til maksimal utslag over nullpunktlinjen.

RMS, også kalt effektverdien, er et gjennomsnittsmål for energiinnholdet i vibrasjonen. Enhetene for de ulike målene av vibrasjonsamplituden varierer med om det måles i akselerasjon, hastighet eller forskyvning. Måleenhetene kan være g eller ($\frac{mm}{s}$). For sinusbølger kan RMS uttrykkes ved Formel 2:

$$RMS = \frac{peakverdi}{\sqrt{2}} = 0.707 \cdot peakverdi \quad (2)$$

(11)

I Figur 14 vises prinsippet for hvordan RMS, peak og peak-til-peak måles på en kurve.



Figur 14: RMS, peak og peak-to-peak(8)

3.5 Signalbehandling

3.5.1 Frekvens-og tidsdomene

Vibrasjoner kan fremstilles som et tidsdomene eller et frekvensdomene. Vibrasjonsmålinger blir først registrert i tidsdomene, og kan ved hjelp av Fast Fourier Transformasjon (FFT) gjøres om til frekvensdomene. FFT forklares nærmere i neste delkapittel 3.5.2

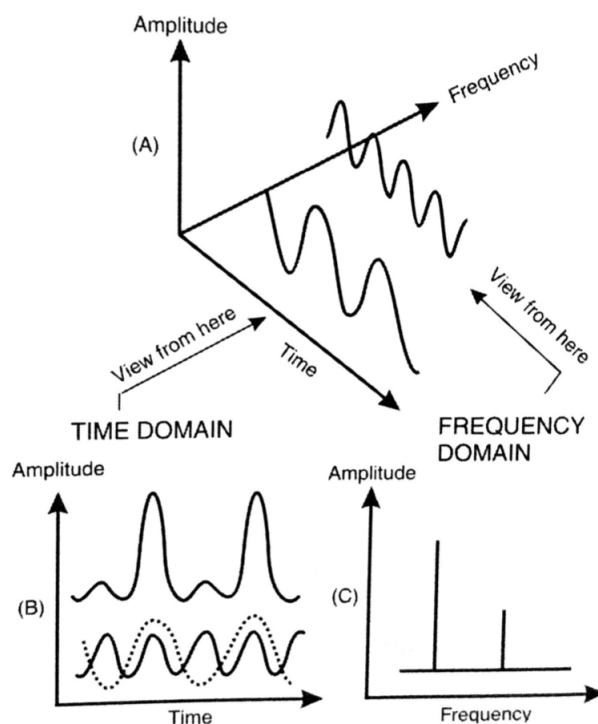
Tidsdomene presenterer amplituder som varierer med tiden, og gir informasjon om hvordan vibrasjonsintensiteten endrer seg over tid. Frekvensdomene viser vibrasjonsdataen fordelt over ulike frekvensområder der vibrasjonsamplituden av enten akselerasjon, forskyvning eller hastighet er presentert som en funksjon av frekvensen.

I frekvensdomene er det enklere å identifisere vibrasjonsmønster. I tillegg er det lettere å skille ut de ulike frekvenskarakteristikkene som tilhører individuelle komponenter i en maskin. Det er lettere å foreta en mer nøyaktig vibrasjonsanalyse i frekvensdomene som kan gi en bedre indikasjon på hva slags feiltilstand maskinen har. Det er derfor vanligst å fremstille vibrasjonsanalyse i et frekvensdomene. (11, 13)

3.5.2 Fast Fourier Transformasjon (FFT)

Fast Fourier Transformasjon (FFT) er en matematisk algoritme som plotter signal fra et tidsdomene til et frekvensdomene. FFT separerer bølgene i tidsdomene og konverterer det til en rekke sinusfunksjoner i frekvensdomene, også kalt frekvensspekter.

Amplituden av enten forskyvning, akselerasjon eller hastighet til sinusfunksjonene presenteres som en funksjon av frekvensen. For vibrasjonsanalyse utføres FFT av en digital spektralanalysator. (14, 15) Sammenhengen mellom tids- og frekvensdomene ved hjelp av FFT er illustrert i Figur 15.



Figur 15: Tidsdomene, frekvensdomene og FFT(11)

3.5.3 Samplingsrate

Sampling er en prosess der det tas punktmålinger av et signal i et bestemt tidsintervall for å kunne generere ut en kurve. Vibrasjoner måles som et analogt signal, og når det tas samplinger omgjøres dette til digitale målepunkter. Slik er det mulig å konstruere en kurve

fra signalet. Dette gjøres ved analog til digital omformer (A/D omformer).

For å få med mest mulig informasjon fra det opprinnelige signalet er det viktig å velge riktig samplingsrate. Samplingsrate (F_s), også kalt samplingsfrekvens, er antall punktmålinger som tas per sekund og måles i Hertz (Hz) eller samplinger per sekund (S/s). Dersom samplingsraten er på 10 000 Hz vil det si at signalet blir målt 10 000 ganger per sekund.

I følge Nyquist-teoremet må samplingsraten (F_s) være minst dobbelte så høy som den høyeste frekvenskomponenten til signalet (F_{max}). Frekvenskomponent beskriver en bestemt frekvens i et signal. Nyquist-teoremet brukes for å unngå å miste nødvendig informasjon. (11) Teoremet kan uttrykkes ved Formel 3:

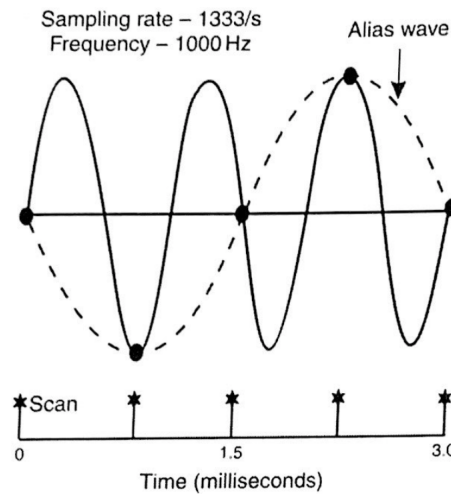
$$F_s = F_{max} \cdot 2 \quad (3)$$

(11)

3.5.3.1 Anti-aliasing

Dersom samplingsfrekvensen er lavere enn ved Nyquist-teoremet vil det oppstå undersampling som kalles aliasing. For vibrasjonsanalyse vil dette føre til et unøyaktig vibrasjonsbilde. For å unngå aliasing i vibrasjonsanalysen kan et anti-aliasing-filter benyttes. Dette filteret er som regel integrert i den digitale spektralanalysator som utfører FFT. Anti-aliasing-filteret blokkerer frekvenser som er under halvparten av samplingsraten. (16)

Figur 16 viser hvordan aliasing-kurven ser ut i forhold til det faktiske signalet. Det illustreres hvordan informasjon uteblir dersom samplingsraten er for lav.



Figur 16: Aliasing, undersampling(11)

3.5.4 Oppløsning

Oppløsning er antall frekvensbånd som er brukt for å vise frekvensspekteret gitt av en FFT. I frekvensspekteret kan flere vibrasjonsamplituder ligge veldig tett, og en høy oppløsning vil sørge for at disse skilles ut i signalet.

Oppløsning velges ut i fra antall frekvensbånd (line of resolution- LOR) og verdi på Fmax. LOR er vanlig å sette på 400, 800, 1600, 3200 eller 6400. Fmax velges ut ifra hvilken type roterende utstyr som skal måles.

Oppløsning, Fmax og LOR har denne matematiske sammenhengen er vist i Formel 4:

$$\text{Oppløsning} = \frac{F_{max}}{LOR} \quad (4)$$

Eksempelvis vil en LOR på 1600 og en Fmax på 800Hz gi en oppløsning på 2 Hz. Det vil si at dersom det er vibrasjonsamplitude på både 100 Hz og 101 Hz, vil vi kun se en av dem. Det er derfor viktig med en god oppløsning for en nøyaktig analyse av frekvensspekteret. (11, 17)

3.5.5 Filter

Ved vibrasjonsanalyse er det vanlig å filtrere ut deler av frekvensspekteret. Dette er for å kunne fokusere på det området som er relevant for analysen, og blokkere ut det som er irrelevant. Filter brukes også for å fjerne støy i signalet. Det finnes tre filterer som er vanlige å bruke: (13)

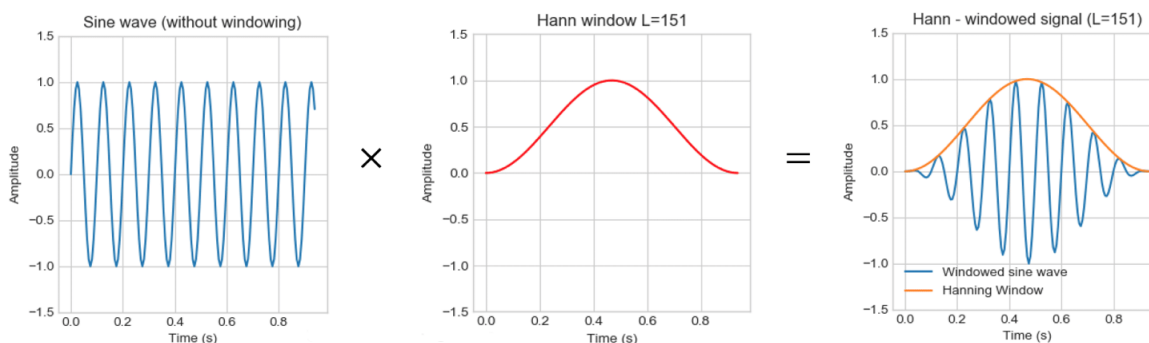
- Lavpass filter slipper gjennom lavfrekvente signaler, og blokkerer ut signal med høye frekvenser.
- Høypass filter slipper gjennom høyfrekvente signaler, og blokkerer ut signal med lave frekvenser.
- Båndpass filter brukes for å isolere et bestemt frekvensområde. Eksempelvis brukes båndpass filter i envelope-teknikken beskrevet i kapittel 3.5.7.

Lavfrekvent område defineres fra 0-1000 Hz. Høyfrekvent område defineres fra 1000 Hz og oppover. (18)

3.5.6 Windowing

Windowing er en teknikk som brukes før FFT. Når signalet går gjennom en A/D-omformer risikeres det at noe av signalet lekkes ut. Dette er på grunn av samplingsraten. Signalet kan bli avkortet ved start og slutt, slik at signalet fremstår som diskontinuerlig.

Windowing brukes til å tvinge signalet til å starte ved null både ved start og slutt av signalet i frekvensspekteret. Ved å multiplisere signalet med window-funksjonen får en en windowing. I Figur 17 er et eksempel på et signal som multipliseres med en windowing-funksjon, kalt Hanning Window. (11)

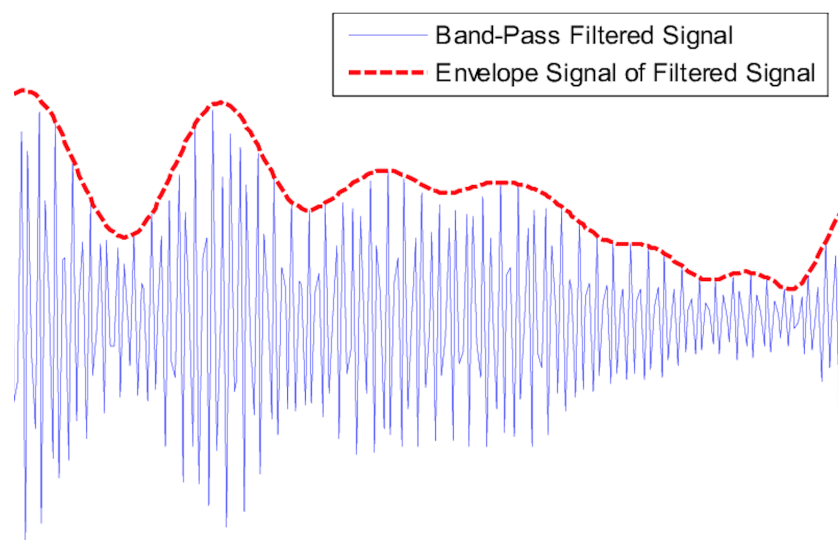


Figur 17: Hanning window(19)

3.5.7 Envelope

Envelope er en teknikk som blir brukt for å detektere tidlig skader på lager og girboks. Prinsippet bak envelope er å se etter frekvenser i det høyfrekvente området, deretter presenteres det lenger ned i spekteret. En lagerskade gir et repeterende vibrasjonssignal. Dette signalet vil være høyfrekvent, men med lav amplitude. Vibrasjonssignalet vil ha så lav energi i amplituden at den kan fort bli borte i annet støy fra maskinen. Envelope gjør en slags amplitude-modulasjon. Det tas et omriss av signalet som fører til en reduksjon av frekvensene og samtidig forsterker amplituden i området som korresponderer med det repetitive vibrasjonssignalet. (18)

I tillegg bruker envelope et båndpass filter som filtrerer ut irrelevante lavfrekvenser og annet støy. Dette resulterer i en mer synlig presentasjon av vibrasjonssignalene i et lavere frekvensspekter. På denne måten vil det være lettere å identifisere og analysere frekvensen knyttet til en lagerskade. (20, 21)



Figur 18: Envelope (22)

3.5.8 Bakgrunnsstøy

Støy er vanlig at forekommer i frekvensspekteret. I følge NS-ISO 2041 er støy definert som et uønsket signal som ikke viser til definerte frekvenskomponenter. (23) Det er viktig å være bevisst på dette når det gjøres vibrasjonsanalyse. Det er også en rekke metoder som kan brukes for å redusere støy. Støy kan reduseres ved å bruke filter som forklart i kapittel 3.5.5. (11)

3.5.9 Resonans

Resonansområder er noe som kan fremkomme i frekvensspekteret. Resonans skjer når systemet treffer en frekvens som matcher systemets egenfrekvens. Dette vil føre til at amplitudene blir forsterket i dette området. (11)

3.6 Vibrasjonsanalyse

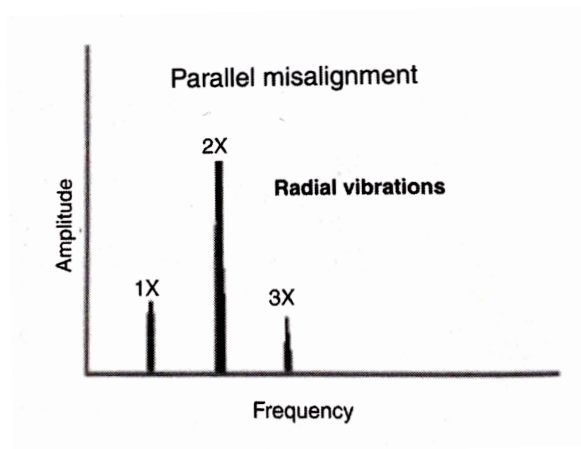
3.6.1 Diagnostisering av feil på roterende utstyr

Ved diagnostisering av feil er det viktig å ha en referanseverdi på det roterende utstyret. Denne verdien måles da utstyret er i normal driftstilstand. Endringer i frekvensspektret, i forhold til referanseverdiene, er det som indikerer at feil kan ha oppstått. Da er det viktig å se etter endringer i amplitudeverdier i forhold til de ulike frekvenskarakteristikkene.

Grunnfrekvensen, også kalt turtallsfrekvensen, er et viktig element innen vibrasjonsanalyse. For diagnostisering av feil brukes grunnfrekvensen som et utgangspunkt for feil som blant annet ubalanse, skjevoppretting og lagerskader. Disse feilmodene vises som et antall ganger grunnfrekvensen, og en økning av amplitude i disse frekvens-multiplene kan indikere at det har oppstått en feil. Harmoniske frekvenser er multipler som er et heltall ganget med grunnfrekvensen. Subharmoniske frekvenser er multipler som er mindre enn grunnfrekvensen. Grunnfrekvensen kan uttrykkes som:

$$Grunnfrekvens = \frac{Turtall(RPM)}{60sek} \quad (5)$$

Eksempelvis vil ubalanse ofte sees som 1x ganger grunnfrekvensen. Parallell skjevoppretting vil vises som $1 \times$, $2 \times$ og $3 \times$ ganger grunnfrekvensen. Hvordan parallell skjevoppretting vil vises i frekvensspekteret er illustrert i Figur 19. Når mutiplene blir beskrevet som $1 \times$, $2 \times$, $3 \times$ osv betyr det henholdsvis $1,2,3 \times$ grunnfrekvens. (12)



Figur 19: Parallell skjevoppretting (11)

I Tabell 5 listes vanlige feilmøder som kan oppstå i roterende utstyr.

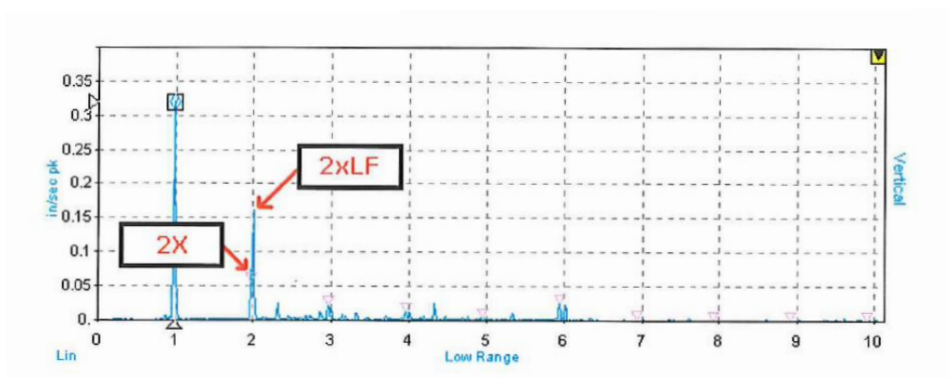
Feilmøde	Frekvens
1. Ubalanse (statisk og dynamisk)	$1 \times$
2. Bøyd aksel	$1 \times$ (fremtredende), $2 \times$
3. Skjevoppretting, vinkelavvik	$1 \times$ (fremtredende), $2 \times$ og/eller $3 \times$
Skjevoppretting, paralell	$1 \times$, $2 \times$ (fremtredende), $3 \times$
4. Strukturell løshet	$1 \times$
5. Løse deler	Subharmoniske frekvenser og $2 \times$ (fremtredende)
6. Lagerslitasje	Høyfrekvenser, pulserende
7. Skade på tannhjul	Tannantall ganger grunnfrekvens
8. Kavitasjon	Skovleantall ganger grunnfrekvens

Tabell 5: Eksempler på typiske feilmøder for roterende utstyr(12)

For vibrasjonsanalyse er det viktig å ha riktig informasjon om turtallet til utstyret som skal overvåkes. Ved ukjent turtall vil grunnfrekvensen bli feilberegnet. Dette vil riskikere at analysen blir unøyaktig og feil.

3.6.2 Nettfrekvens

Nettfrekvens (LF - Line frequency) er frekvensen for strømtilførsel. Det er viktig å ta hensyn til LF når det gjøres en vibrasjonsanalyse. Noen frekvenskarakteristikker kan skyldes at det er nettfrekvens som slår inn, istedenfor en faktisk feil med maskinen. For eksempel, for en to-polet motor kan $2 \times$ multiplum representere 2 ganger nettfrekvens ($2 \times LF$), istedenfor skjevoppretting. Dette er vist i Figur 20. Det er derfor viktig å vite hva nettfrekvensen for å ikke gjøre en feil diagnose. Norge benytter seg av 50 Hz nettfrekvens. (8)



Figur 20: Nettfrekvens, line frequency (8)

3.6.3 Lagerskadefrekvenser

Ved en lagerskade er det mulig å regne ut hvor i lageret skaden sitter. Lagerkomponentene vil gi ut ulike frekvenser. Disse frekvensene kan regnes ut ved følgende formler:

Kulepasseringsfrekvens innerring (BPFI):

$$BPFI = \frac{Nb}{2} \cdot \left(1 + \frac{Bd}{Pd} \cos \theta\right) \cdot \frac{\text{RPM}}{60} \quad (6)$$

Kulepasseringsfrekvens yttering (BPFO):

$$BPFO = \frac{Nb}{2} \cdot \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \cos \theta\right) \cdot \frac{\text{RPM}}{60} \quad (7)$$

Kulespinnfrekvens (BSF):

$$BSF = \left(\frac{Pd}{2Bd}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{Bd}{Pd}\right)^2 \cos^2 \theta\right] \cdot \left(\frac{\text{RPM}}{60}\right) \quad (8)$$

Frekvens for skadet kuleholder (FTF):

$$FTF = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \cos \theta\right) \cdot \frac{\text{RPM}}{60} \quad (9)$$

Nb = Antall kuler eller ruller

Bd = Diameter på kule/rulle (mm)

Pd = Diameter kulesenter

θ = Kontaktvinkel mellom kule og ringoverflate

RPM = Revolution per minute (omdrening per minutt)

$BPFI$ = Kulepasseringsfrekvens innerring

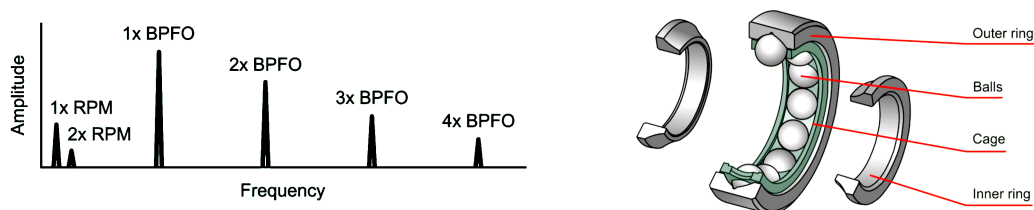
$BPFO$ = Kulepasseringsfrekvens yttering

BSF = Kulespinnfrekvens

FTF = Frekvens for skadet kuleholder

Formlene er hentet fra boken Practical Machinery Vibration Analysis & Predictive Maintenance. (11) Ved beregning av lagerskedefrekvensene er det viktig med riktig turtalls-måling for å få ut riktige verdier. Det er normalt å ha et standardavvik på ± 1 Hz på lagerskedefrekvensen. (18)

Et eksempel på en BPFO lagerskade vises i Figur 21. BPFO har avtakende harmoniske multipler. I det høyfrekvent-spekteret vil multiplene fremstå som pulserende. Figuren viser også hvordan et lager er bygd opp.



Figur 21: BPFO-skade i spekter og lagerkomponenter(24)

3.7 Lagerskadefaser

Lagerskade og resterende levetid kan variere mellom produsenter og maskinenes virkemåte. Maskiner som ofte påføres store støt, skjev montering, oppbygging eller dårlig smøring vil naturlig ha en kortere levetid enn forventet fra produsentetn. Skadene på et rullelager oppstår gradvis og det er vanlig å dele skadeomfanget inn i forskjellige faser. I tabellen under er det satt opp hvilke symptomer som kan knyttes til den spesifikke fasen. Det referere til L10 levetidsberegning i denne tabellen. L10 er en levetidsmetode for å beregne restlevetiden på rulle-og kulelager. (25)

Fase 1	Mindre skader, så små at de kan eksistere under overflaten på lageret. Her vil høyfrekvente måleteknikker fungere. Ca 10- 20 % igjen av L10 levetidsberegning. Det foreslås å finne rotårsaken og monitorere skaden kontinuerlig.
Fase 2	Mindere skader. Her vil høyfrekvente måleteknikker fungere spesielt i akselerasjonsspekteret. 5-10% av levetidsberegningen L10. Det vil være fornuftig å se etter tidsrom det kan passe å bytte lageret.
Fase 3	Skadene vil være lett synlig, og de fleste måleteknikker for vibrasjon vil fungere. Forventes at mindre enn 5 % av levetidsberegningen gjenstår. Bytt lageret så fort det er mulig.
Fase 4	Alvorlig skade på lageret. Vibrasjoner vil oppdages som lyd og hørbar støy. Mindre enn 5% igjen av levetidsberegningen. Lageret må byttes snarest.

Tabell 6: Tabell for faseinndeling av lagerslitasje

3.8 Alarmgrenser

Formålet med vibrasjonsovervåking er å oppdage feil tidligst mulig, og dermed økes driftssikkerhet og levetid til utstyret. Det er kritisk at bruker får varsel i tide, før maskinen havner i et uakseptabelt vibrasjonsområde. Dersom vibrasjonsmålingene overskrider en alarmgrense bør maskinen fortsatt kunne driftes i en periode, mens inspeksjon og eventuelle tiltak planlegges.

Valg av akseptabelt vibrasjonnivå og alarmgrenser kan være utfordrende. Det er umulig å fastsette absolutte vibrasjonsgrenser gjeldene alle typer maskiner. Alarmgrenser vil vanligvis være satt i forhold til en referanseverdi. Referanseverdien måles når en maskin er i god driftstilstand.

Det finnes standarder (ISO 20816-serien) som gir erfaringsmessige veiledning for valg av alarmgrenser. Anbefalinger fra maskinprodusenter kan også være aktuelt. (12) (26)

3.9 Viktigheten av riktig teknisk data

Riktig teknisk data er essensielt for at vibrasjonsanalysen skal være riktig. Dersom det er oppgitt feil teknisk data på eksempelvis turtall eller lagerstørrelse, risikeres det å gjøre feil i vibrasjonsanalysen.

Som et resultat av feil teknisk data kan for eksempel være at en lagerskade ikke kommer til syne i frekvensspektret. Da vil maskinen kjøre med feil uten at bruker er klar over at det skjer en endring i vibrasjonsnivået til lageret. Dette kan i verste fall føre til store skader på utstyret, og økt vedlikeholdskostnader. I tillegg vil hensikten med et godt tilstandsbasert vedlikehold svekkes. (27)

3.10 Montering og plassering av vibrasjonssensor

Montering og plassering av vibrasjonssensor er viktig for å oppnå korrekte målinger. Sensoren bør skrues fast i maskinen. Lim kan også benyttes, men det anbefales ikke da det kan

føre til reduksjon av vibrasjonene. Overflaten bør være flat og fri for støv. Plassering av vibrasjonssensorer bør være så nær lageret eller andre kritiske komponenter som mulig. I tillegg bør det være et sted med minimale materialeoverganger og vibrasjonsdemping. (12)

3.11 Holdningsendringer

Holdningsendringer og riktig holdninger trekkes frem som en av hjørnesteinene i LEAN teori og World class maintainence. LEAN er en ledelsesmåte som ble utviklet på grunnlag av Toyota sin produksjonsprinsipper. LAEN tar utgangspunktet i at alle ledd i en bedrift skal være mulig å forbedre, selv små forbedringer skal utføres hvis mulig, fordi det vil gi en stor samlet forbedring. World class maintainance legger vekt på at et godt vedlikehold sikrer god produksjon til en hver tid. Begge styringsmetodene har vist seg å gi gode konkurransefortrinn for de bedriftene som benytter seg av de. (28)

Basert på teori fra begge disse metodene er det er viktig at de ansatte i en organisasjon er enige om de samme retningslinjene. Dette vil føre til raskere endringer, og at det vil være mulig å se resultatene som følge av de fastsatte endringene. For å oppnå dette gjelder det at hele bedriften gjenspeiler disse holdningene. Det gjelder helt fra ledelsen og frem til linjearbeiderene. Det legges vekt på at hele organisasjonen har et like stort ansvar for sine roller. Det oppfordres også til at alle tar ansvaret for å finne forbedringer og at de er velkommene til å ta del i å løse problemer i sin arbeidshverdag.

Dette begrunnes med at mennesken som jobber med systemene hver dag ofte har best forståelse av problemstillingen. De vil derfor ha mulighet til å se løningen på problemet. Dette er en kostnadseffektiv måte å løse problemet på. (14)

3.12 Mennesker og datasamhandling

I dette kapittelet blir det presentert teori rundt samhandling mellom mennesker og data. Informasjonen er hentet fra en boken: Design the User Interferanse henholdsvis kapittel 1 og

2. (29) Denne typen samhandling krever i stor grad en tilpasning av datasystemet mot den antatte brukeren. For å oppnå en god brukervennlighet har det gjennom tid oppstått noen retningslinjer det er fornuftig å følge. Retningslinjene vil holde seg forholdsvis like, men det vil være mulig å finne variasjoner innenfor forskjellige fagfelt. De åtte gyldne reglene for bruker og datasamhandling finnes i Tabell 7. Det blir også presentert hvilke type brukergrensesnitt som bruker datasamhandling.

Regel	Forklaring
1. Etterstrebe kontinuitet	Datoprogrammet skal være mulig å navigere på lik måte for å løse lignende problemer. Det legges vekt på presis terminologi i menyer og hjelpevinduer, konsistent oppsett av menyer, skriftfont, og farger.
2. Etterstrebe universell brukervennlighet	Gjenkjenn de forskjellige behovene til den antatte brukeren. Variasjoner i fysiske arbeidsplasser, ulike kognitive evner, personlighetsforskjeller, kulturelt mangfold, brukere med handicap, alder, imøtekomme databehandlingsevne.
3. Tilby informative meldinger	For hver kommando brukeren utfører bør det være en tilbakemelding fra systemet. For ofte og små kommandoer trengs det beskjedene tilbakemeldinger, men ved større og mer omfattende handlinger bør det gis tydelige beskjeder om handlingene og eventuelle konsekvenser.
4. Design sekvenser for lukking	Like handlingssekvenser burde settes inn i grupper med start, midt og slutt. Dette gir brukeren mulighet til å utføre de like handlingene i hver sin gruppe og deretter flytte fokuset over på den neste gruppen med handlinger. Dette opprettholder kontinuitet og gir brukerne en følelse av mestring.

5. Unngå muligheter for feil	Tilrettelegg så brukeren skal unngå å opprette en feil og gi tilbakemelding om hva som eventuelt er utført feil. Eksempler på dette er å fjerne menyvalg som ikke er hensiktsmessig å bruke, ikke tillate bokstaver i numeriske handlinger. Det skal også være enkelt å endre på en spesifikk feil uten å behøve å utføre hele sekvenser på nytt.
6. Åpne for å angre handlinger	Det skal på et hvert tidspunkt være mulig å angre en handling. Dette hindrer nervøsitet og oppmuntrer for å utforske alle delene av programmet.
7. Støtte erfaren bruk	Erfarene brukere vil etterlenge å ha god kontroll over programmet, og vil ikke ha endringer eller overraskelser i like sekvenser for handlinger. De vil plages med tidkrevende handlingssekvenser og av vanskeligheter rundt lagring av viktig informasjon.
8. Minimer belastningen av korttidshukommelse	Mennesker har begrensede kapasitet ved å prosessere informasjon med korttidshukommelse. Det er her viktig å gjøre det mulig å lagre nøkkelinformasjon underveis som sier hvilke sekvens brukerne utfører er eller hva den er i ferd med å gjøre.

Tabell 7: Åtte gyldne regler for samhandlingsdesign(29)

For å skape en god brukervennlighet av et datasystemet er det viktig å utforme et brukergrensesnitt som passer til den antatte målgruppen. Det vil derfor være viktig å kartelegge en brukerprofil for hvem som mest sannsynlig blir brukeren, deretter utvikle, teste program og funksjonsmåter nøye før det kan anses som et ferdig produkt. Brukervennligheten vil også påvirkes av andre faktorer som ytelse, funksjonalitet og kvalitet på innholdet. (29)

3.12.1 Brukergrensesnitt

Brukergrensesnitt beskriver hvordan mennesker samhandler med et datasystem. Det er vanlig å skille mellom tekstlig og grafisk brukergrensesnitt. Grafiske brukergrensesnitt er det folk flest er vant med å bruke i dagens samfunn. Det betyr at brukeren vil kunne navigere gjennom fastsatte menyer ved hjelp av touchskjermer eller en form for peker. Denne typen brukergrensesnitt gir brukeren god oversikt over valgmulighetene som eksisterer.

Tekstlig brukergrensesnitt er ikke vanlig i moderne tid. Dette baserer seg på at brukeren skriver inn en kommando som tekst eller tall. Dette ble i stor grad benyttet på 1980-tallet på grunn av datamaskinens begrensede kapasitet. (30)

3.13 FN-bærekraftsmål

FNs-bærekraftsmål er satt opp som retningslinjer for å opparbeide et mer bærekraftig samfunn. De 17 målene er satt opp for å utrydde fattigdom, utjevne ulikeheter og stoppe klimaendringene innen 2030. Målene er utviklet slik at man skal forsøke å imøtekomme dagens behov, samtidig som man ikke skal ødelegge for kommende generasjoner. Alle disse kan leses om på FN sine hjemmesider. Mange av målene har en innvirkningsgrad på hverandre, men bærekraftsmål nr. 9 og 12 vil fremstå som mest relevante i denne oppgaven. (31)

Bærekraftsmål nr 9: Industri, innovasjon og infrastruktur

”Bygge solid infrastruktur og fremme inkluderende og bærekraftig industrialisering og innovasjon” - FN (32)

Målet består av flere underkategorier, hvor det legges vekt på spesielt høy kvalitet på infrastruktur, industri og styrke teknologisk utvikling. Det trekkes også frem utvikling og inkludering av de delene av verden hvor det har vært en lavere utvikling. Det er de minst utviklede delene av verden som er de mest sårbare for å havne utenfor den nødvendige utviklingen, og det er derfor viktig å inkludere disse. (32)

Bærekraftsmål nr 12: Ansvarlig forbruk og produksjon

”Sikre bærekraftig forbruks- og produksjonsmønstre” - FN(33)

Dette målet dreier seg om at FN mener samfunnet bruker for mye av dagens ressurser og må endre dagens forbruk. Det skal være et mål å gjøre mer ut av mindre ressurser. Dette målet er hovedsaklig rettet mot forbrukere og forbrukermarked, men det trekkes frem at ansvarlig produksjon også er viktig. Noen av hovedpunktene som trekkes frem er også å redusere avfallsmengden av produksjon, og løfte mindre utviklede lands kunnskap om bærekraftig produksjonsmønstre. Det er viktig at godt utviklede land går foran som gode eksempler. (33)

3.14 Nedvekst

Nedvekst belyser en problematikk ved den delen av bærekraft som omhandler ulikheter i samfunnet. Det å jevne ut ulikheten i samfunnet betyr ikke at alle skal løftes til det fremste nivået, men at det er mer fornuftig å flytte alle mot det beste nivået for miljøet. Det kan bety av noen deler av verden må utvikles og noen deler av verden må gjennomgå en nedvekst.

Det trekkes også inn at økonomisk vekst kan forverre miljøbelastningen. Det legges vekt på at de delene av verden som har høy økonomisk vekst er den delen av verden som belaster miljøet mest. Det kan derfor være en idé om at de mest utviklede delene av verden burde gjennomgå en nedvekst for å bidra til et mer bærekraftig samfunn. Et mer bærekraftig samfunn vil også bety at de lavt utviklede landene vil gjennomgå en økonomisk vekst, men at det er bærekraftig veksten som skal ligge som det felles målet. (34, 35)

3.15 Retten til å reparere

I dagens samfunn blir heller diverse utstyr kastet, istedenfor å bruke tid på å reparere. Før, var det et større fokus på å reparere ting når det ble ødelagt, sammenlignet med det det er i dag. I dag er det slik at det heller ikke er en selvfølge at alle produkter kan repareres. Dette er et problem bestående av to hovedgrunner. Den ene grunnen er at produsenten ikke vil at brukeren skal kunne reparere produktet. Dette oppnår de ved at produktene designes slik at de ikke skal være mulig å reparere, og består av veldig komplekse systemer. En annen måte å oppnå dette er ved at bruker ikke får tilgang på informasjon, deler eller programvare de trenger for å gjennomføre en reparasjon. En annen grunn til at elektronisk utstyr blir ødelagt er at de som designer det faktisk designer det for å gå i stykker. Enkelte produkter har en forventet levetid og blir derfor designet slik at de mister funksjonsevnen da. Lyspærer er et godt eksempel på et produkt som er designet for å kun lyse i et bestemt antall timer før de går i stykker. Det finnes flere andre produkter som også har planlagte funksjonssviker. Det er mange mennesker i dag som er frustrerte og misliker at det ikke legges til rette for å reparere eller bruke produkter så lenge som mulig. Selv om mange er frustrerte er det et

vanskelig problem å ta tak i, og hovedansvaret ligger i stor grad hos produsenter som velger å utvikle produkter som er ment for å feile. (36)

4 Ståstedsanalyse: Generelt om Smart Sensor

I dette kapitlet beskrives Smart Sensor. Det legges frem relevant teknisk data og spesifikasjoner av sensoren, uavhengig om det er Wireless HART - eller Bluetooth sensoren. I tillegg blir Wireless HART og Bluetooth beskrevet som hver sin trådløse kommunikasjonsmetode.

ABB Smart Sensor er en trådløs vibrasjonsmåler utviklet av ABB. Den er tiltenkt som en rimelig og brukervennlig løsning for kontinuerlig tilstandsovervåkning av roterende utstyr. Roterende utstyr spesifiseres som lavspenningsmotorer, pumper, kompressorer, frittstående lagerhus og girkasser. ABB Smart Sensoren er ment for å måle vibrasjon, magnetfelt, temperatur, energiforbruk og andre parametere som er anvendelig i tilstandsovervåkingen. (37)



Figur 22: Smart Senesor generasjon 2 (38)

Sensoren i denne oppgaven er den andre generasjonen av Smart Sensor. Den har en antatt batterilevetid på ca. 15 år, dette vil variere med bruk og innstillinger. Den er tilpasset for bruk i EX-områder (eksplosjonsfarlige områder), og tåler fuktige miljøer eller anlegg som vaskes regelmessig.

Smart Sensoren kommer i to forskjellige versjoner. Den ene versjonen benytter Bluetooth for å sende målingsdata, den andre versjonen bruker Wireless HART for å sende målingsdata. Begge versjonene ser helt like ut i designet og monteres på samme måte. Sensoren er ment for montres med en skrue i gjenget hull eller med monteringsbrakett for overflater eller kjøleribber. Begge versjonene er mulig å integrere i ABB sitt kontrollsystem 800xA. (18)

4.1 Smart Sensor spesifikasjoner

Smart Sensor spesifikasjonen er gjeldene for begge type sensor, det vil si at det er uavhengig av wireless HART og Bluetooth variant av sensoren. Informasjonen er fra ABB datablad og brosjyrer, samt samtaler med ABB veileder. Sensoren bruker et integrert akselerometer, en magnetsfelt-måler og en ultrasoniske mikrofon. Smart Sensoren har også en A/D omformer. Enkelte parametere kan måles både i SI-systemet og det imperiale systemet. For denne bacheloroppgaven er det kun tatt utgangspunkt i SI-systemet.

I Tabell 8 og Tabell 9 presenteres tilstandsparametere og driftsparametere som sensoren måler. Informasjonen er hentet fra ABB Smart Sensor brosjyre, vedlagt i vedlegg A.1.

Sensoren måler disse tilstandsparametere:

Tilstandsparameter	Kommentar	Måleenhet
Total tilstand	Bruker fargekoder	
Total vibrasjon	Viser høyeste verdi av tre retninger(radiell, aksiell og tangensiell)	RMS ($\frac{mm}{s}$)
Lagertilstand	1-5: Ingen tegn på skade 5-10: Utviklende skade oppdaget 10 og oppover: Betydelig skade oppdaget	
Overflatetemperatur roterende utstyr	Målt ved kontaktpunktet der sensoren berører monteringsdelen	°C

Tabell 8: Ulike tilstandsparametere som måles

Sensoren monitorerer disse driftsparameterne:

Driftsparameter	Måleenhet
Vibrasjon i 3 akser (radial, aksial og tangensial)	- Hastighet (RMS, $\frac{mm}{s}$) - Akselerasjon (RMS, g) - Akselerasjon (peak-to-peak, g)
Turtall	RPM
Total drifttid	Timer
Antall start	
Tilførselsfrekvens	Hz
Utgangseffekt	kW
Smøreintervall	

Tabell 9: Driftsparametere

4.1.1 Teknisk data

I Tabell 10 presenteres relevant teknisk data om Smart Sensoren. Denne informasjonen er hentet fra Smart Sensor datablad fra ABB, vedlagt i vedlegg A.2

I tillegg er informasjon om samplingsrate gitt av ABB veileder. (18)

Akselerometer måler vibrasjoner av både lavfrekvenser og høyfrekvenser.

Den ultrasnoisk mikrofonen måler akustikken for å kunne oppdage og vurdere lagertilstand.

Magnetsfelt-måleren brukes til å måle turtallet til det roterende utstyret.

Lavfrekvent akselerometer(x,y,z): -Frekvensbredde: 0.1 Hz – 1.5 kHz -Konfigurerbar samplingsrate 12.5 – 6600 $\frac{S}{sek}$	Høyfrekvent akselerometer(z): -Frekvensbredde 100Hz - 20kHz -Konfigurerbar samplingsrate 10 – 78000 $\frac{S}{sek}$ (normal profil 19.5 $\frac{kS}{sek}$)
Mikrofon, ultrasonisk mode: -Frekvensbredde 100Hz - 80kHz -Samplingsrate 63 – 500 $\frac{kS}{sek}$	Magnetfelt-måler: -Frekvensbredde 0.1 – 250 Hz -Konfigurerbar samplingsrate 0.625 – 1000 $\frac{S}{sek}$

Tabell 10: Teknisk data for målere

Samplingsrate

Forholdet mellom samplingsrate(F_s) og grenseverdiene for frekvensbredden kalkuleres i henhold til Nyquist-teoremet. ABB holder seg til en $F_s/2$ eller $F_s/4$ for å sette grenseverdier for frekvensbredden.

FFT

For at Smart Sensoren skal gjøre en FFT, er det største antall samples som kreves på 8192 i løpet av tidsperioden den analyserer.

Filter og oppløsning

ABB Smart Sensor bruker filter som forbedrer nøyaktigheten og reduserer støy. Sensoren tar i bruk høypass-og lavpassfilter. Sensoren bruker også teknikker som anti-aliasing, windowing (hanning filter) og envelope.

Det finnes ulike måleprofiler som er tilpasset etter hva slags roterende utstyr som måles. I måleoppsettene kan det variere med verdier for filterområder, oppløsning og antall. I tillegg varierer disse målprofilene avhengig om det er Wireless HART eller Bluetooth. Dette begrunnes med det er forskjellige utviklere bak hver av sensor versjonene. Dette resulterer i at sensorene i en viss grad er ulike i måleoppsett, og kan dermed gi litt ulike målinger på samme type utstyr.

Wireless HART har disse filterområdene:

-Høypass filter før enveloping på 500 Hz

-Lavpass filter etter enveloping på 750 Hz

Filterområdene for Bluetooth har vi ikke fått tilgang til.

4.2 Trådløs kommunikasjonsmetode

Smart Sensoren bruker som nevnt to forskjellige trådløse kommunikasjonsmetoder, henholdsvis Wireless HART og Bluetooth. Smart Sensoren samler data fra utstyret og sender det til en skybasert løsning for databehandling. Videre sendes data til hvert sitt datasystem, AssetInsight for Wireless HART versjonen og Powertrain for Bluetooth versjonen.

4.2.1 Wireless HART

Wireless HART signalet er en trådløs versjon av HART signalet. Dette gjør at Smart Sensoren kommuniserer målingene til en gateway for videre behandling. Sensorene kommuniserer også med hverandre for å kunne dekke størst mulig areal. Dette er en standardmetode for kommunikasjon med Wireless HART i industrien. Wireless HART sendere kan bli ettermontert på kablet HART sensorer, for å gjøre de trådløse.

Smart Sensoren har en innebygd Wireless HART sender. Målingene blir presentert i AssetInsight. Brukeren får på denne måten oversikt over tilstanden på det monitorerte utstyret. AssetInsight kan kun brukes på datamaskiner, og er ikke ment for smarttelefoner eller nettbrett. (39)

4.2.2 Bluetooth

Den andre versjonen bruker Bluetooth-signaler for å kommunisere informasjonen til en smarttelefon eller en gateway. Bluetooth er en trådløs kommunikasjonsmetode for å overføre data. Den er mye brukt i moderne teknologi hvor kommunikasjon foregår over kort avstand (10-20m). (40)

Målingene fra denne Bluetooth sensoren blir først sendt til gateway eller smarttelefon. Videre blir de sendt opp i en skybasert løsning. Skyen sender så dataen til datasystemet Powertrain. Her kan bruker lese av målinger for tilstanden til maskinene. For Bluetooth versjonen er det også mulig å hente informasjonen fra skyen til en app på mobiltelefonen.

5 Ståstedsanalyse: Bruk av Smart Sensor i industrien

Dette kapittelet inneholder en ståstedsanalysen om hvordan Smart Sensoren blir anvendt i industrien. Ståstedsanalysen baseres på befaring og intervjuer av to bedrifter som har installert WH og BT sensoren, henholdsvis Skogn Biokraft og Denofa. I kapittelet gis det en beskrivelse av bedriftenes anvendelse og erfaringer med Smart Sensoren.

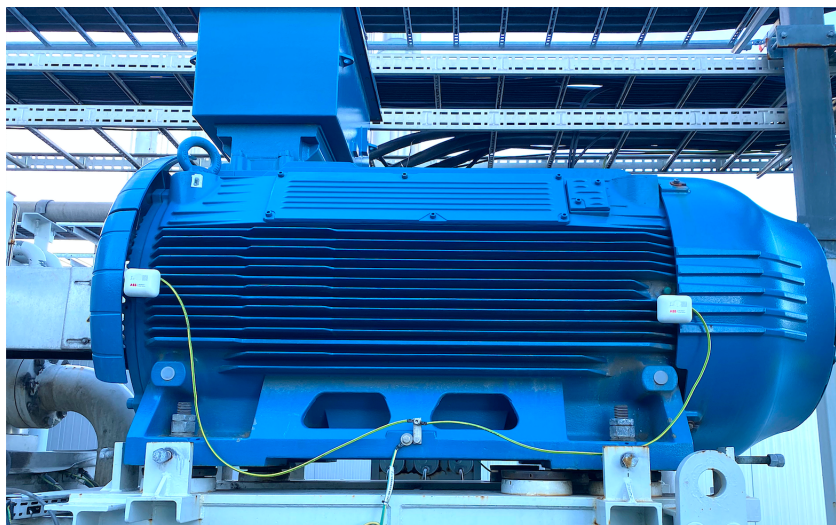
5.1 Situasjonsbeskrivelse Skogn Biokraft

Skogn Biokraft er en fabrikk i Nord-Trøndelag som åpnet i 2017. Dette anlegget er verdens største fabrikk for flytenede biogass drivstoff. Anlegget har døgnkontinuerlig drift. Bedriften består av 10 ansatte. I Tabell 11 er det en brukerprofil av Skogn Biokraft som beskriver nøkkelinformasjon om bedriften.

Antall sensorer	22
Antall gateway	1
Versjon	Wirelss HART
Kritikalitet av utstyr	Kritisk for produksjon, ikke redundant
Maskintype(-er)	Motorer, skrue-og stempel kompressorer, sentrifugalpumper
Anvendelsestid	Fra 2022
Tidligere erfaring med vibrasjonsmåling	Lite
Installasjonsmåte	Brakett for kjøleribber og liming av brakett

Tabell 11: Brukerprofil Skogn Biokraft

Figur 23 viser et eksempel på hvordan Smart Sensorene har blitt montert på en motor hos Skogn Biokraft. Her er det valgt å plassere to sensorer i hver lager-ende, på grunn av størrelsen på motoren. Motoren driver en skruekompressor.



Figur 23: Smart Sensor på motor, Skogn Biokraft

5.1.1 Anvendelse av Smart Sensor systemet hos Skogn Biokraft

Skogn Biokraft bruker Smart Sensor Wireless HART med tilhørende AssetInsight datasystem for å overvåke maskinene sine. De får varsler når vibrasjonene endrer seg utenfor de satte alarmgrensene. Varslinger foregår via AssetInsight og på mail. AssetInsight skal etter planen integreres i styringsystemet for fabrikk 800xA. Hos Skogn Biokraft er det én person som har hovedansvaret for oppfølging og bruk av Smart Sensor systemet. Denne personen har liten erfaring og kunnskap med vibrasjonsmålinger, og er avhengig av et samspill med ABB for å kunne få fullt utbytte av Smart Sensor systemet. ABB har også satt alarmgrensene de mener passer for Skogn Biokraft.

Montasje av sensorene har foregått etter anbefalinger fra ABB. Normalt sett monteres sensoren midt på motor, med lik avstand til hvert lager. På ekstra store motorer er det montert to sensorer på hver lagerende, slik som vist på Figur 23. Dette er begrunnet av ABB med at avstanden fra midten til lagrene er for stor, og for å sikre at sensoren oppdager potensielle

feil i lagerene er det valgt å plassere en sensor i hver ende.

Skogn Biokraft har valgt å sette sensorene på de maskinene som er mest kritisk for produksjonen. Enkelte av disse maskinene står også i EX-områder.

5.1.2 Skogn Biokrafts erfaringer med Smart Sensor systemet

Skogn Biokraft har valgt å benytte seg av Smart Sensor systemet fordi de ønsker å forbedre sitt tilstandsbaserte vedlikehold. De hadde tidligere prøvd et håndholdt instrument de ikke var fornøyd med, da denne metoden var for tungvint. De vurderte flere leverandører av trådløse vibrasjonsmålere, men valgte ABB Smart Sensoren systemet fordi det kunne integreres i deres styringssystem 800xA. Dette åpnet også muligheten for å kunne benytte eksisterende systemer i fabrikklokalene.

Ved tidpunktet gruppen besøkte bedriften hadde Skogn Biokraft lite kunnskap og erfaringer med Smart Sensor systemet og AssetInsight. Skogn Biokraft har begrenset med tid, og de har foreløpig ingen planer om å sette seg inn i dette i systemet fordi det uansett skal integreres i 800xA. De oppgir at de kommer til å belage seg på Smart Sensor systemet med alarmgrenser, og kun reagere når de får alarmer. Den begrensede interessen i AssetInsight gjenspeilet at personen ikke hadde full oversikt over hvordan han skulle navigere i de datasystemet AssetInsight, og syntes også at systemet ga han mer informasjon enn nødvendig når han brukte det.

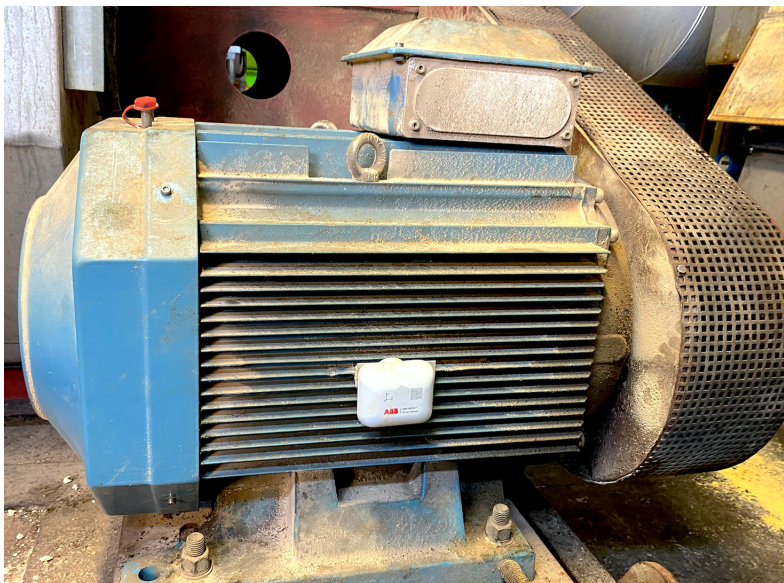
5.2 Situasjonsbeskrivelse av Denofa

Denofa er et selskap i Fredrikstad som åpnet i 1912. Fabrikken har endret struktur siden den gang, noe som gjør at de har maskiner med varierende alder. I dag baserer de produksjonen sin rundt soyamel, soyaolje og lecithin. Anlegget har døgnekstrem drift. Bedriften består av 70 ansatte. I Tabell 12 er det en brukerprofil av Denofa som beskriver nøkkelinformasjon om bedriften.

Antall sensorer	93
Antall gateway	3
Versjon	Bluetooth
Kritikalitet av utstyr	Kritisk for produksjon
Maskintype(-er)	Motorer, noen lagerhus
Anvendelsestid	Fra 2019
Tidligere erfaring med vibrasjonsmåling	Liten, noe erfaring med håndholdt vibrasjonsmåler
Installasjonsmåte	Motor: Limt kjøleribbe-brakett Lagerhus: Gjenget og skrudd

Tabell 12: Brukerprofil Denofa

Figur 24 viser et eksempel på reimdrift med Smart Sensor montert på motoren. Bilde er tatt fra befaring hos Denofa.



Figur 24: Smart Sensor på motor, Denofa

5.2.1 Anvendelse av Smart Sensor systemet hos Denofa

Denofa er en av de største brukerne av Smart Sensor systemet, bergenet i antall sensorer. Denofa bruker Smart Sensor Bluetooth med tilhørende datasystem Powertrain. De følger opp vibrasjonsmålingene daglig i datasystemet, og bruker dette aktivt for å planlegge vedlikehold. Sensoren brukes også i Ex-områder, for å måle temperatur for roterende maskiner, og som et sikkerhetstiltak. Installasjon av Smart Sensor startet først på kritiske maskiner, og utviklet seg etterhvert til nesten hele produksjonslinjen. De installerte Smart Sensor systemet for å effektivisere det tilstandsbaserte vedlikeholdet. Dette var for å gå i fra periodiske og manuelle vibrasjonsmålinger til kontinuerlig målinger med Smart Sensoren.

I denne organisasjonen er det én person som har hovedansvar for oppfølging av Smart Sensor systemet, i tillegg til to andre som har gjort seg kjent med datasystemet Powertrain. Personen med hovedansvaret bruker systemet daglig, og har satt alarmgrenser selv på grunnlag av erfaring og kjennskap til maskinene. Det er også denne personen som har installert nesten

alle sensorene i fabrikk. Denne personen har liten tidligere erfaring med vibrasjonsmåling, utenfor Smart Sensor systemet. Ansvaret har havnet her på grunnlag av interesse.

Denofa har utviklet et eget program for å følge opp at alle sensorene har kobling til gateway. Dette var fordi de helt i startfasen opplevde at Smart Sensoren ikke alltid varslet om forbindelsestap mellom sensor og gateway. Dette problemet er fikset per i dag, og Smart Sensorer varsler i Powertrain dersom det oppstår problemer med forbindelsen. Denofa bruker både sitt eget program og får varsler fra Powertrain i dag. Dette sikrer at de får beskjed om en sensor ikke har kobling til gateway, og går glipp av målinger.

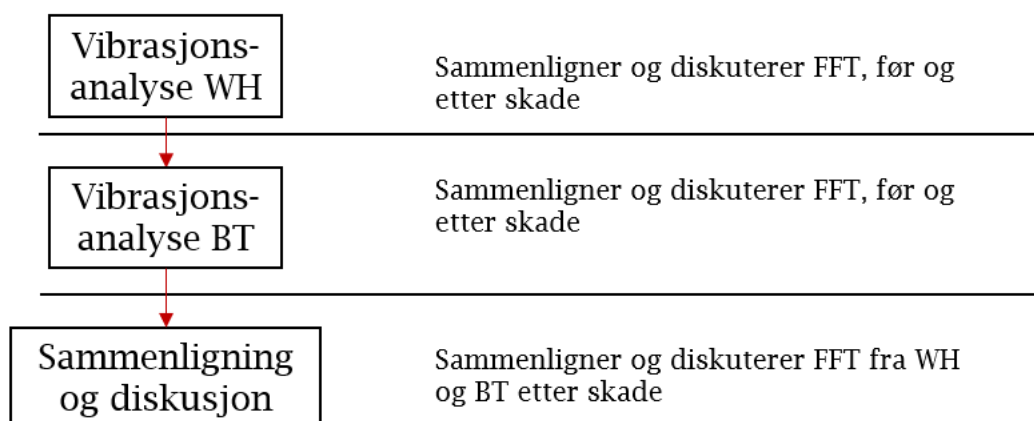
5.2.2 Denofas erfaringer med Smart Sensor systemet

Denofa har dannet seg gode erfaringer med Smart Sensor system, i den grad at de stoler på målingen og feilmeldingen de får. De velger å basere vedlikeholdstiltak rundt dette. De legger vekt på at de aldri har fått en feil på maskiner uten at de har blitt varslet med en feilmelding først. De nevner også at de har fått enkelte falske varsler, på grunn av forplantning av vibrasjoner. Dette har ikke svekket tilliten i nevneverdig grad. Denofa har vurdert muligheten for å integrere Smart Sensor systemet i CMMS, men ser ikke behovet. De mener at det er unødvendig at alle prosessoperatørene skal kunne se målingen til en hver tid.

Den ansvarlig personen vil trekke frem at det kan være en utfordring å oppdrive riktig teknisk data til alle typer maskinener. Han har flere ganger opplevd at det tar lang tid å lete etter teknisk data. Mekanisk montering tar en brøkdel av tidsforbruket for å lete frem kulelagerstørrelser og andre teknisk data.

6 Analyse, sammenligning og diskusjon av vibrasjonsmålinger med Wireless HART-og Bluetooth sensor

I dette kapittelet blir det presentert verdier og elementer fra lab-forsøk utført av ABB veileder. Forsøket er beskrevet i metode-kapittel 2.6.1. Det presenteres vibrasjonsmålinger fra Wireless HART (WH) og Bluetooth (BT), hvor det vises til målinger før og etter skade. Gruppen utfører en enkel analyse av vibrasjonsmålingene. Videre sammenlignes og diskuteres analysen fra de ulike spekterene. Her vektlegges det hvilken grad det er mulig å gjøre en utfyllende vibrasjonsanalyse av informasjonen sensoren gir. Det diskuteres også fordeler og ulemper med ulike elementer som trekkes fram ifra vibrasjonsanalysen. Oppbygning av kapittelet illustreres i Figur 25.



Figur 25: Flytskjema for oppbygning av kapittel 6

Forbehold i vibrasjonsanalysen

I dette kapittelet benyttes et program som heter WiMon Data Manager for analyse av WH målinger. WiMon er bak-programmet til AssetInsight. Brukeren vil normalt benytte seg av Workbench Tool fanen i AssetInsight for analyse av WH målinger. AssetInsight inneholder samme type spekterene som blir presentert fra WiMon. Denne bacheloroppgaven vil derfor inneholde like målinger som bruker kan se i AssetInsight. Dette ble gjort fordi ABB ikke

hadde tid til å sette opp en bruker i AssetInsight for gruppen.

For analyse av målinger av BT sensor benyttes en Raw Data rapport som kan bestilles i Powertrain. Denne generes automatisk. Rapporten kan bruker av BT sensor selv bestille når som helst.

I frekvensspektrene med lagerskade er det en ytteringsskade som er påført. Denne skaden gir ut en frekvens som kan regnes ut ved hjelp av formelen for BPFO (Formel 7).

Lagerskadefrekvensen beregnes på grunnlag av lagerets tekniske informasjon og turtallsfrekvens. Informasjon om lageret (produsent og produktnummer) legges inn av bruker når sensor installeres på det roterende utstyret. AssetInsight og Powertrain har analyseprogrammer som automatisk regner ut lagerskadefrekvensen for brukeren.

Det er valgt å sammenligne envelope akselerasjonsspekter i radiell retning fra WH og BT. Det begrunnes med at det er det spektret som er vanligst å analysere først i forhold til lagerskade. Prinsipielt kunne en sammenlignet velocity i radiell retning, men disse type spektrene ga for lite sammenligningsgrunnlag.

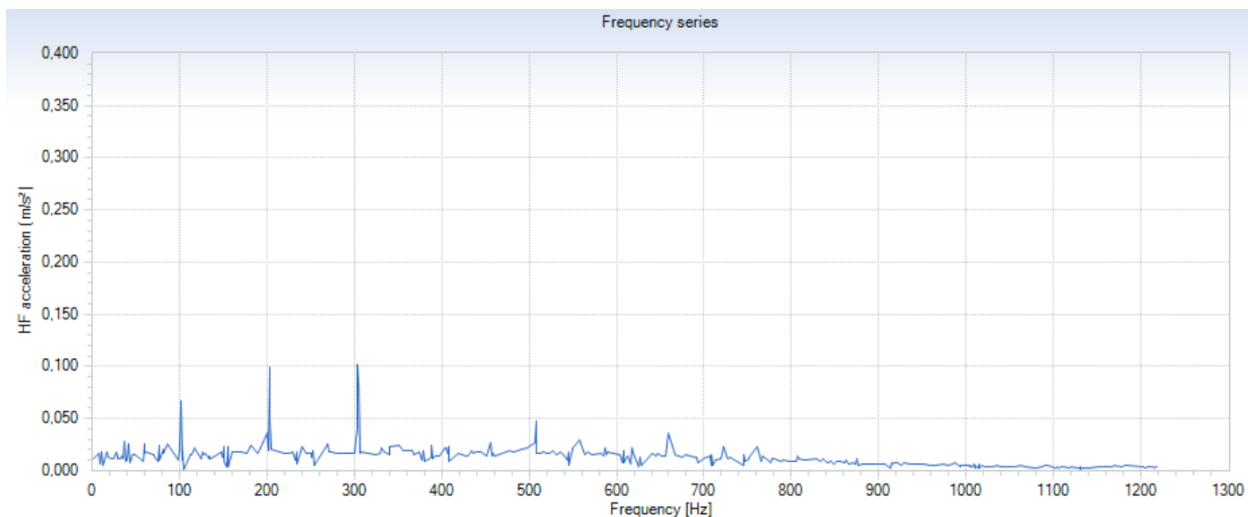
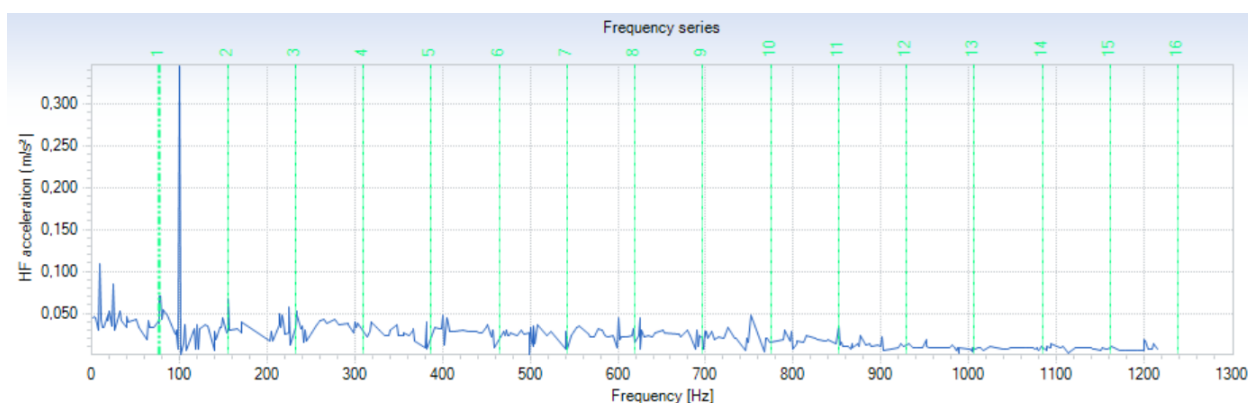
Merk: Y-aksen til BT målingene oppgis i G, og y-aksen til WH målingene oppgis i $\frac{m}{s^2}$. Analysene i dette kapitlet er basert på teori, tilegnet kunnskap fra studiet og opplæring fra ABB veileder.

6.1 Frekvensspekter fra Wireless HART sensor, før og etter skade

Nedenfor presenteres to frekvensspekter fra målinger gjort på motor uten og med lagerskade med WH sensor.

Figur 26 viser frekvensspekter fra WH sensor uten lagerskade.

Figur 27 viser frekvensspekter fra WH sensor med lagerskade.

Figur 26: WH uten skadeFigur 27: WH med skade

6.1.1 Vibrasjonsanalyse med Wireless HART sensor

WH uten lagerskade

Frekvensspekteret før lagerskaden viser hvordan det vil se ut dersom det ikke er noen skade på motoren. Det er vibrasjoner med lave amplitudeverdier. Det er noen peaker som skiller seg ut i spekteret. Disse peakene er multipler av LF (nettfrekvens). LF er på 50 Hz. Multiplene på 100 Hz tilsvarer $2 \times LF$. Det er også en en peak på ca. 25 Hz, som tilsvarer $1 \times$ grunnfrekvens. Grunnfrekvensen beregnes ved å bruke Formel 5. Motoren ble kjørt på 1500 RPM. Multipler av grunnfrekvens og LF er helt vanlige at fremstår i et frekvensspekter.

WH med lagerskade

Analyseprogrammet regnet ut en $1 \times$ BOFO på 77.4 Hz ut ifra informasjon av lageret som ble lagt inn i programmet. I dette frekvensspekteret er det en multippel som tilsvarer $1 \times$ BPFO, som er på ca. 77.4 Hz. Utover frekvensspektret er det avtakende harmoniske multipler som tilsvarer $2 \times$ BPFO, $3 \times$ BPFO, $4 \times$ BPFO osv. I spekteret kan det sees ved hjelp av delta-linjer, de grønne stiplede linjene som treffer peakene utover i spekteret. De grønne stiplede linjene treffer de harmoniske multiplene til BPFO. Dette indikerer på en lagerskade i yttering, som forklart i kapittel 3.6.3

6.1.2 Sammenligning og diskusjon av frekvensspekter fra Wireless HART sensor

Det er en tydelig forandring av trend i WH spekteret fra før og etter lagerskade. Det er imidlertid noe vanskelig å skille ut BPFO fra andre peaker. Det vises likevel en BPFO som er avtakende gjennom spekteret, som indikerer at det er en lagerskade. Selv om det er mulig å se at BPFO-frekvensene er tilstede er vibrasjonsamplitudene lave. Lagerskaden som er påført er av betydelig størrelse, og det ville vært forventet at vibrasjonsamplituden for BPFO skilte seg mer ut i spektret. Til tross skadens omfang fremkommer den ikke tydelig nok i spektret. Andre årsaker for hvorfor ikke lagerskaden vises tydelig diskuteres videre i kapittel 6.3.

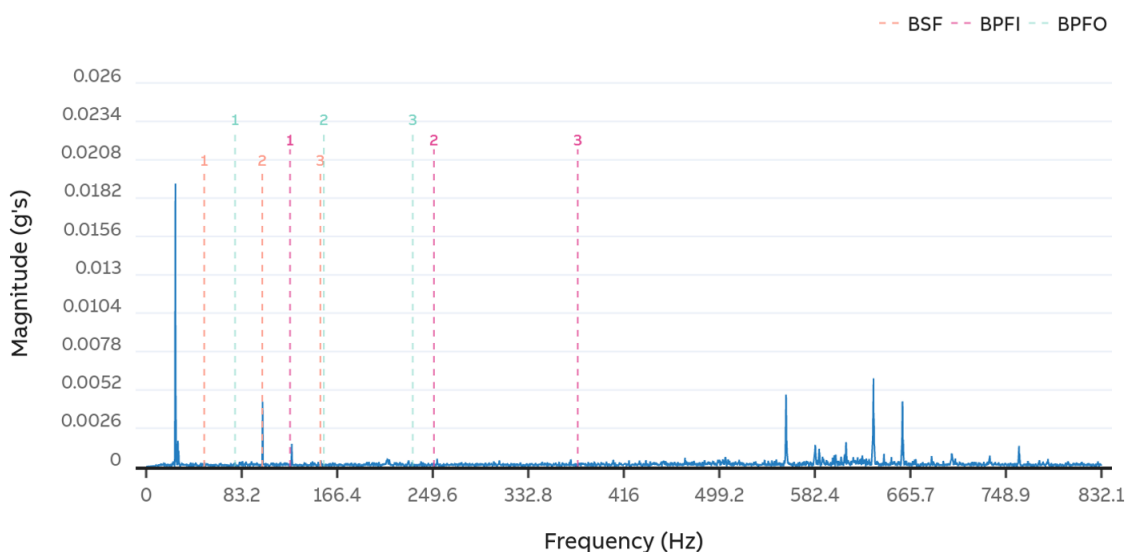
6.2 Frekvensspekter fra Bluetooth sensor, før og etter skade

Nedenfor presenteres to frekvensspekter fra målinger gjort på motor uten og med lagerskade.

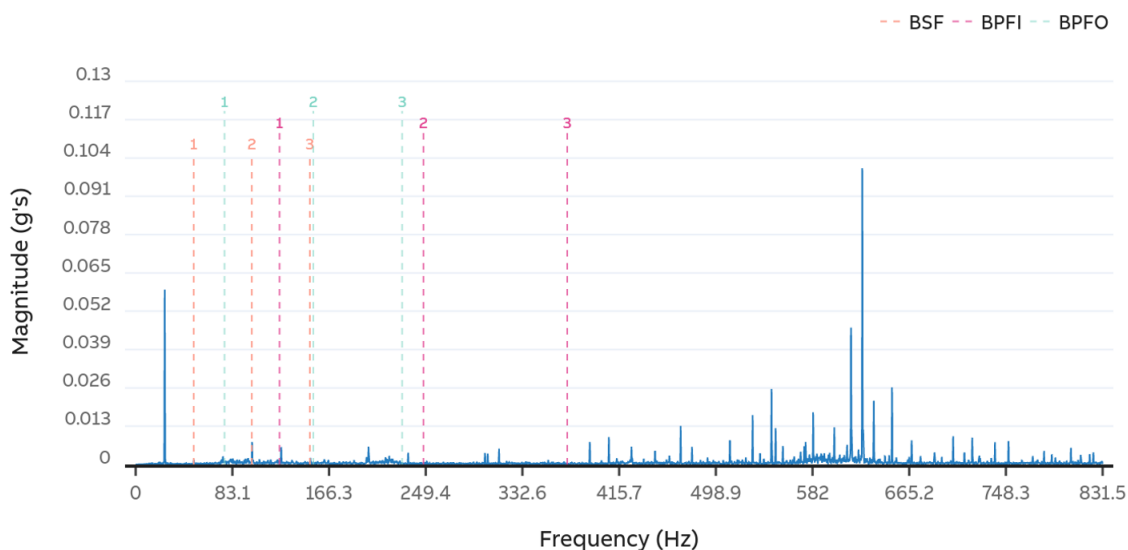
Figur 28 viser frekvensspekter fra BT sensor uten lagerskade.

Figur 29 viser frekvensspekter fra BT sensor med lagerskade.

Merk: Det er ulik oppløsning på y-aksen for de to BT-spektrene.



Figur 28: BT uten lagerskade



Figur 29: BT med lagerskade

6.2.1 Vibrasjonsanalyse med Bluetooth sensor

BT uten lagerskade

I frekvensspekteret før lagerskaden viser hvordan spektret ser ut før påført skade. Det er noen peaker som skiller seg ut. Den første er på ca 25 Hz. Denne tilvarer $1 \times$ grunnfrekvens. For BT-målinger ble også motoren kjørt på 1500 RPM. Den neste peaken som skiller seg ut ligger ca. på 100 Hz. Denne treffer $2 \times$ BSF (oransje stiplede linje). Dette er ikke en BSF frekvens, men tilsvare $2 \times$ LF siden lageret ikke har skade i dette spektret. Peakene som vises fra ca. 500 Hz og oppover kan forklares med resonansområde til motoren.

BT med lagerskade

I frekvensspekteret fra målinger med BT sensoren treffer streken for $1 \times$ BPFO (turkis stiplede linje) en peak ved ca. 76.4 Hz. Denne verdien presenteres i tabell fra Raw Data rapporten. Tabellen er vedlagt i vedlegg A.3. Det fremkommer også peaker som treffer med linjene som tilsvare både BSF (oransje) og BPF1 (rød). Likt som i spektret uten lagerskade er tilsvare $1 \times$ BSF med $2 \times$ LF.

6.2.2 Sammenligning og diskusjon av frekvensspekter fra Bluetooth sensor

Det fremkommer en endring i trendene i spekteret før og etter lagerskade med BT sensor. Det mest markante endringen er resonansområde. I spekteret med lagerskade har området løftet seg vesentlig. Dette er fordi det er mer vibrasjon til stedet, antakeligvis grunnet lagerskaden, som vil føre til at alle peakene vil forsterkes i dette område.

Lagerskaden kommer ikke tydelig fram i spektret med lagerskade. Det er vanskelig å detektere at det er en ytteringskade med tanke på at de det ikke frekommer noen markante multipler av BPFO. Ved $1 \times$ BPFO er det kun en liten peak som treffer, og de avtagende harmoniske peaker er noe som bør være tilstede for å avgjøre om det er en ytteringskade. Igjen, med en betydelig størrelse på lagerskaden skulle spektret med lagerskaden vært preget av peaker som indikerer en ytteringskade. Lagerskaden kommer ikke tydelig nok frem. Det er utfordringer med å tydelig identifisere og skille ut skaden fra andre frekvenskomponenter i spekteret.

Dersom oppløsningen på y-aksen kunne justeres likt for spekter før og etter skade, ville peakene i spekter med skade muligens vært tydeligere. Andre årsaker for at lagerskaden ikke kommer tydelig frem i spekteret blir videre diskutert i kapittel 6.3.

6.3 Sammenligning og diskusjon av Wireless HART- og Bluetooth spekter, etter lagerskade

I dette delkapittelet trekkes frem noen ulikheter med WH og BT spekter. Det fokuseres på spektrene med lagerskaden, da det er mest relevant å trekke frem. Videre diskuteres det årsaker på hvorfor lagerskadefrekvensene ikke kommer tydelig nok frem i verken WH og BT. Disse årsakene trekkes som en fellesfaktor for både WH og BT, da det vil være årsaker som gjelder for begge versjonene. Det vil også diskuteres fordeler og ulemper av faktorer med WH og BT i forhold til vibrasjonsanalyse og resultat av målinger. Resultat av dette presenteres i Tabell 13.

6.3.1 Mangelfull indikasjon på lagerskade i begge spekter

Ved å sammenligne spektrene fra WH og BT med lagerskade er det mulig å se at det er endringer i trender både for WH og BT. Derimot er det vanskelig å skille ut lagerskadefrekvensene i begge spekter, henholdsvis BT og WH. Lagerskaden kommer ikke tydelig frem i hverken WH og BT. Det er spesielt vanskelig å detektere lagerskaden i BT spekteret. I WH spekter kommer det noe tydeligere frem med at BPFO treffer på peaker i spektret. Dette krever mye av brukeren, og ville ikke blitt lagt merke til uten delta-linjene som kan legges over spekteret.

Det at lagerskadefrekvensen ikke kommer tydelig nok frem i hverken WH eller BT spektrene er uforventet. Den svake indikasjonen som nå er til stede er ikke tilstrekkelig for å utføre en god analyse, eller gi en riktig indikasjon på hvor skaden befinner seg.

Hverken WH eller BT viser skaden tilstrekkelig nok, og det er vanskelig å gjøre en nøyaktig og pålitelig vurdering av skadens omfang og lokasjon. Vibrasjonsspektrene fra både BT og

WH fremstår som upresise med hensyn på omfanget av lagerskaden. Derfor mener gruppen at dette resulterer i en overordnet ulempe for begge versjonene.

6.3.2 Fellesårsaker for at spektrene er mangelfulle og ikke viser lagerskaden

Videre er det viktig å diskutere hva som kan være de underliggende årsakene på hvorfor lagerskaden ikke vises godt nok i begge spekter. I delkapitlene 6.3.2.1, 6.3.2.2 og 6.3.2.3 diskuteres det årsaker som gjeleder begge versjoner.

6.3.2.1 Måleprofiler - samplingsrate, filtreringsområde og antall linjer

En mulig årsak for at lagerskadefrekvensen ikke kommer tydelig nok frem i hverken BT eller WH spektret er signalbehandling. Det er mulig at filtreringsområde, samplingsrate og antall linjer ikke har riktige verdier, slik at noe signal blir borte. Det bør vurderes å justere på disse verdiene. Gruppen har for liten erfaring med signalbehandling til å si konkret hva slags verdier som kan justeres på, men nevnes som en mulig årsak. Dette vil derfor ikke bli inkludert i resultat-tabell, Tabell 13.

Videre forventes det at like lagerskader vil gi et tilsvarende mønster i de ulike spektrene. Imidlertid er WH- og BT spektrene overraskende ulike. En mulig grunn som kan trekkes frem er at WH og BT har ulike måleprofiler, hvor samplingsrate, filtreringsområde og antall linjer kan variere.

En faktor som understreker at måleprofilene er ulike, er at spektrene viser forskjellige amplitude på grunnfrekvensen. Denne burde i prinsippet være nokså lik, men her er det en forskjell på ca. $0.5036 \frac{m}{s^2}$, som tilsvarer 0.051 G.

Det kan være avvik i turtall som gjør at denne blir forskjellig mellom BT og WH spektret, men begge målingene er utført på samme motor med samme RPM på 1500. Derfor kan det begrunnes med at ulike måleprofiler og innstillinger for WH og BT er en årsak som begrunner de forskjellige amplitudeverdiene i spektrene.

Smart Sensoren markedsføres i samme brosjyre og datablad. All hardware er lik bortsett fra kommunikasjonsmetoden. Dette skaper en forventning om at sensoren skal gi like målinger, uavhengig om det er WH-eller BT sensor. Derimot avdekker lab-forsøkene at måleprofilene gir betydelig forskjeller i målinger. Dette indikerer også at forskjellen ligger i programmeringen. Gruppen har derfor en oppfatning at det er en ulempe at måleprofilene gir såpass ulike målinger. Dette er spesielt problematisk med tanke på at sensoren er markedsført som ett produkt.

6.3.2.2 Feilberegning av BPFO

En annen mulig årsak som gjør at lagerskedefrekvensen til ytteringskaden ikke vises, er feilberegninger av BPFO. Når bruker konfigurerer sensor med maskinen legges det inn informasjon av lageret. Det ble benyttet et NSK 6306 lager. Dette er lagt inn i datasystemene til WH og BT. Utrekningene av lagersakdefrekvenser skjer automatisk i datasystemet. Gruppen har ikke tilgang til å sjekke de matematiske beregningene Smart Sensoren gjør for å finne lagerskedefrekvenser ut i fra informasjonen som blir lagt inn. Dette ligger i programmeringen av Smart Sensor systemet. Men gruppen mener det er verdt å nevne at unøyaktige matematiske beregninger av lagerskedefrekvensen kan være en årsak for at lagerskaden ikke kommer tydelig frem. Da gruppen ikke kan undersøke matematiske beregningene i programmeringen til Smart Sensor systemet er det ikke nok grunnlag til å vurdere dette i Tabell 13.

6.3.2.3 Envelope

En annen faktor verdt å nevne er innstillingene for envelope. Envelope benyttes for å oppdage lagerskader i en tidlig fase. Teknikken kan lettere oppdage en skade som utvikler seg over en lengre tidsperiode.

Et problem med målingene i dette forsøket som er verdt å nevne er den hurtige endringen

i lagertilstanden. Lagerskaden som ble påført var av skadefase 4. Det var merkbart både ved tydelig vibrasjoner og lyd, i følge ABB veileder (18). En lagerskade i denne skadefasen er forventet at skulle resultere i merkbart høyere vibrasjonsamplituder i begge spekter. Lagerskadefrekvensene for skadefase 4 vil normalt generere ut frekvenser i det lavere spekter. Skaden på lageret er så omfattende at envelope-analyse ikke er tilstrekkelig for å oppdage de aktuelle frekvensene. Frekvensene har på en måte passert det stadiumet envelope eger seg til å oppdage slike skader. I dette tilfellet kan det diskuteres om envelope er et mindre hensiktsmessig spekter å sammenligne i. Likevel mener gruppen at lagerskadefrekvensene burde kommet tydeligere frem selvom det benyttes et envelope-spekter. Dette argumentet baseres på diskusjon med veileder. Gruppen har ikke nok erfaring til vurdere om selve envelope-teknikken er en årsak til mangelfull indikasjon av lagerskaden. Gruppen velger derfor ikke å inkludere envelope som en faktor i Tabell 13.

6.3.3 Analyseringsverktøy

BT

I Raw Data Rapport som er generert av BT dataprogrammet er det ikke mulig for bruker å zoome og undersøke grafene nærmere. Som nevnt, er det heller ikke mulig å justere aksene. Dersom dette hadde vært mulig ville kanskje noen av peakene kommet tydeligere frem. Dette hadde resultert i en bedre mulighet for en mer nøyaktig analyse av selve vibrasjonsmålingene. Selve Raw Data rapporten gir bruker lite nyttig informasjon, og kan oppleves som et forvirringsmoment. Dette understrekes med erfaringer fra Denofa, som nevnte at de ikke fant noe nyttig informasjon i Raw Data Rapporten. Det kan derfor også trekkes frem at Raw Data Rapporten ikke har en tilstrekkelig brukervennlighet, i form av at det ikke er ulike funksjoner i rapporten som gi bruker mulighet til å gjøre en grundigere analyse. På bakgrunn av dette har gruppen en oppfatning av at analyseringsverktøyet til BT er en ulempe, i sammenligning med WH.

WH

For WH er analyseringsverktøyet mer brukervennlig med nyttige funksjoner for grundig analyse. I AssetInsight kan bruker zoome og undersøke grafene nærmere. Det er også mulig å justere oppløsningen på aksene. Gruppen mener derfor at analyseverktøyet til WH fremstår som en fordel.

6.3.4 Varsling av lagerskaden i datasystemene til AssetInsight og Powertrain

Både spektret for BT og WH har løftet seg i amplitudeverdier. Til tross for at lagerskaden ikke kommer tydelig nok frem i analysen til BT, Raw Data Rapport, ga likevel PowerTrain et varsel om at alarmgrensen for overall vibrasjon var overskredet. Det er tenkelig at AssetInsight også ville gitt alarm på økende vibrajoner, så lenge alarmgrensene hadde vært justert riktig. I AssetInsight ville det vært velocity peak-til-peak og velocity RMS som de økende Key Performance Indicators (KPIene). (18)

En av de viktigste faktorene for at systemene sier ifra om økt verdi i tilstandsparametere er riktig alarmgrenser. Viktigheten av dette beskrives i teori-kapittel 3.8. Bruker av Smart Sensor kan selv justere alarmgrenser. Gruppens oppfatning er at det er en fordel at systemet sier ifra om økende tilstandsparameter, til tross for at selve vibrasjonsanalysen er lite tilstrekkelig. Dette temaet blir ikke inkludert i tabell 13 som en fordel eller ulempe fordi dette i bunn og grunn er avhengig av om hvordan bruker setter sine alarmgrenser.

Til slutt er det nevnerdig at gruppen faktisk vet hva slags lagerskade som skal letes etter i spektret. Det er derfor lettere å klare å finne peaker som stemmer overens med den aktuelle lagerskadefrekvensen. Derimot ville det vært utfordrende å finne riktig lagerskadefrekvens i analysen, dersom feil ikke var kjent på forhånd.

7 Vurdering av brukervennligheten og brukeropplevelsen til Smart Sensor systemet

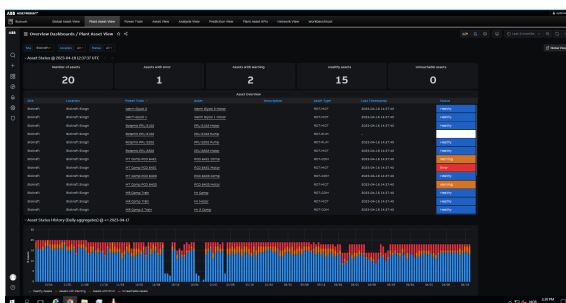
Dette kapitlet fokuserer på vurdering av brukervennlighet til datasystemene for WH og BT sensorene. Det trekkes ut elementer fra hvert datasystem for å gjennomføre en diskuterende sammenligning av begge systemene. Elementer som fokuseres på er forside, tilstandmålinger, farger, design og evnen til å presentere feilmeldinger. Det vil så legges frem erfaringer rundt eget forsøket som ble utført, hvor det fokuseres på mekanisk installasjon, konfigurering av sensor og datasystem. Til slutt presenteres fordeler og ulemper til disse punktene i en tabell, som en del av resultatet, Tabell 13.

For vurdering av Bluetooth versjonen tas det utgangspunkt i erfaringer gjort ved egne forsøk og ståstedanalysen utført ved befaring på Denofa. For WH versjonen tas det utgangspunkt i befaring ved Skogn Biokraft og opplæring av WH systemet gjennom ABB.

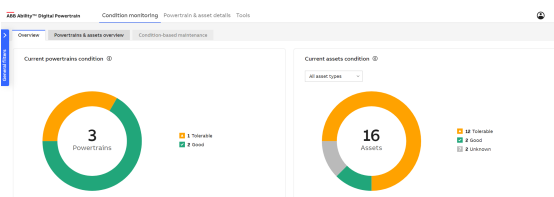
7.1 Presentasjon, sammenligning og diskusjon av datasystemene

7.1.1 Forside

Figur 30 og 31 viser skjermbilder av forsiden til WH og BT. Under bildet blir det trukket frem og diskutert hovedtrekk hvert system.



Figur 30: Forside WH:
Plant Asset View



Figur 31: Forside BT:
Condition Monitoring

WH sin forside heter Plant Asset View. Denne siden inneholder numerisk informasjon, tabeller og tilstanden til alle de målte maskinene. Den øverste delen av siden oppgir totalt antall maskiner og hvor stor andel som har varsler. Midt på siden presenteres det en tabell og et fargekodesystem og skrift, blå, oransje, rød og hvit for å oppgi maskintilstanden. Nederst legges det frem tidligere data med antall sensorer og tilstanden.

BT forsiden heter Condition Monitoring og inneholder to sektordiagram. Til venstre er det et kakediagram som presenterer antall og tilstanden til hele maskintoget. Til venstre presenteres alle de målte maskinene og tilstanden. Tilstanden legges frem i fargekoder, grønn, gul, rød og grå.

7.1.1.1 Sammenligning og diskusjon av forside

Forsiden vil i lik grad presenterer den viktigste informasjonen om hele fabrikken eller systemet som overvåkes. Det er mulig å se den helhetlige tilstanden til fabrikken og for hver maskinen i begge datasystemene. Det er viktig å nevne at i BT sitt system må brukeren navigere videre fra forsiden for å se hvilken enkelmaskin som har den spesifikke tilstand. WH sitt system presenterer dette i tabellform med en gang, det holder at brukeren skroller ned denne tabellen for å finne tilstanden. WH gir også brukeren en oversikt over endringen til fabrikken over tid, ved hjelp at et oversiktlig stolpediagram. BT sin forside oppleves som litt mer oversiktlig enn WH, men at den inneholder litt mindre informasjon. Det vil være en fordel å tilby den viktigste informasjonene på forsiden, siden WH presenterer størst mengde nyttig informasjon på forsiden vil gruppen anse dette som en fordel i forhold til BT sin løsning.

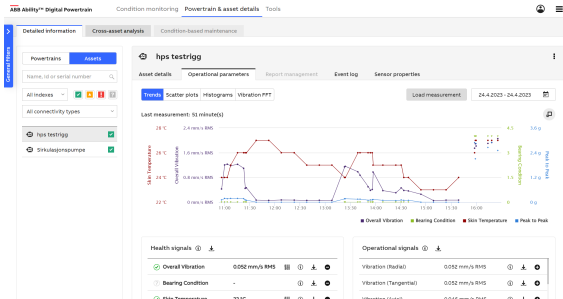
7.1.2 Tilstandsmåling

I figur 32 og 33 legges det frem skjermbilder av tilstandsmålinger for en spesifikk maskin.



Figur 32: Tilstandsmåling WH:
Asset View

WH presenter tilstandsmålingen på en fane kalt Asset View. Siden inneholder mange tilstandparametere. Det legges automatisk frem envelope spekter, vibrasjonsspekter og KPI'er, som tilstandsverdier over tid. Det legges også frem antall timer maskinen har gått og annen generell informasjon om maskinen.



Figur 33: Tilstandsmåling BT:
Operational Parameters

BT presenterer tilstandsmålingene i en fane kalt Asset details. Her må brukeren huke av de tilstandsparmaterene de ønsker å se på. Tilstandsverdiene blir så plottet over tid. Brukeren kan velge en spesifisert vibrasjon i en bestemt akse, og andre parametere som temperatur eller kalkulert kraftproduksjon.

7.1.2.1 Sammenligning og diskusjon av tilstandsmåling

Presentasjon av tilstandsmålingen til hver maskin presenteres noe ulikt i de forskjellige dataprogrammene. WH viser hvilken tilstand maskinen har hatt tidligere ved å benytte seg av et stolpediagram og fargekoder. Dette er ikke mulig å se på samme måte i BT systemet, uten at brukeren velger riktige tilstandsparametere for fremvisning. Neste forskjell er at i BT systemet vil kun en fargekode for systemets nåtilstand fremlegges og ikke bakover i tid.

Videre vil WH versjonen presentere et fastsatt utvalg av grafer, henholdsvis Envelope - Peak-til-Peak, velocity RMS, KPI og temperatur. Dette er informasjon som tidlig kan si noe om skadeforløpet. Brukeren har ikke mulighet til å utføre tilpasninger for å se andre verdier utenom dette. BT systemet krever at brukeren selv velger hvilke verdier som skal være mulig å se i grafen. Disse velges fra en liste i bunn av programmet. De vanligste verdiene for undersøkelse legges som de første tilvalgene, som total vibrasjon, temperatur, lagertilstand og peak-til-peak. Brukeren kan også velge mer spesifiserte driftsverdier om ønskelig, som vibrasjon i spesifisert retning, eller hvor stor kraftproduksjon er. Det vil være i denne listen brukeren kan endre alarmgrensene til parameterene.

Gruppen opplever det som en fordel å kunne velge hvilke driftsverdier som presenteres. At brukeren selv kan velge å vise disse i samme koordinatsystem åpner for enkel sammenligning av driftsverdier.

Gruppen mener det er vanskelig å sette et klart skille på hvilke versjon som viser en klar ulempe. Gruppen velger derfor å anse at begge sensorene gir et god oversikt over tilstands- endringen over tid som en fordel

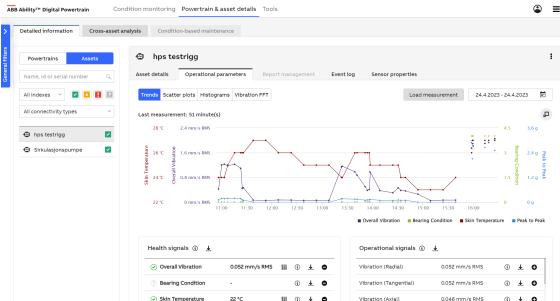
7.1.3 Informasjonsmengde

I figur 34 og 35 presenteres det skjermbilder av informasjonsmengden for WH og BT



Figur 34: Informasjonsmengde WH

WH presenterer mye informasjon i hver fane. Brukeren kan se flere grafer i hver fane. All informasjonen får også plass på et skjermbilde uten å skrolle flere ganger nedover siden. Dette vil variere noe med hensyn til store anlegg med mange sensorer.



Figur 35: Informasjonsmengde BT

BT presenter kun hovedinformasjon om tilstanden til maskinene eller systemet. Det presenteres ingen graf før brukeren selv velger hvilke parameter den vil se, i kun et koordinatsystem av gangen. Informasjonen får plass på en dataskjerm uten å skrolle, dette vil variere med størrelse på system og anlegg.

7.1.3.1 Sammenligning og diskusjon av informasjonsmengde

Helhetlig har alle fanene i WH mer detaljert informasjon uten at brukeren foretar seg noen kommandoer. Det kreves korte handlingssekvenser, med andre ord få tastetrykk, for å full informasjonsoversikt. Selv om det er en fordel å tilby informasjonen enkelt vil gruppen legge frem at informasjonsmengde kan bli overveldende for nye brukere. Det krever mer av brukeren for å sortere den informasjonene de ser. Gjennom samtaler med Skogn Biokraft kommer det frem at ansvarpersonen også opplever det som utfordrende å få presentert all informasjon samtidig.

Med grunnlag i teorien og brukeropplevelsen fra Skogn Biokraft vil BT versjonen ha den beste løsningen fordi den belaster korttidsminne mindre enn WH. Det vil være en fordel med BT sin ryddige informasjonspresentasjon.

7.1.4 Design og farger

I figur 36 og 37 vises det frem et utklipp av design og fargevalg for de forskjellige datasystemene.



Figur 36: Maskintilstand WH

WH har benyttet seg av mørk bakgrunnsfarge i en kombinasjon av lysere kontrastfarger for å legge frem informasjon. Det benyttes tall, farge og skrift for å presentere tilstanden, ingen symboler. Det benyttes i størst grad hvit farge på skrift og andre forskjellige farger for grafene. Det benyttes også et fargekode system for å beskrive maskintilstanden. Her benytte det blå, oransje, rød eller hvit.



Figur 37: Maskintilstand BT

BT bruker hvit farge som bakgrunnsfarge, hvor kontrastfarger som svart skrift er gjennomgående i store deler av programmet. Det brukes forskjellige farger for å tegne grafene. BT benytter enkelte symboler i tillegg til farge for å beskrive maskintilstanden. Maskintilstanden vil i kombinasjon med symboler også presenteres med et fargekodesystem som baseres rundt grønn, gul, rød og grå.

7.1.4.1 Sammenligning og diskusjon av design og farger

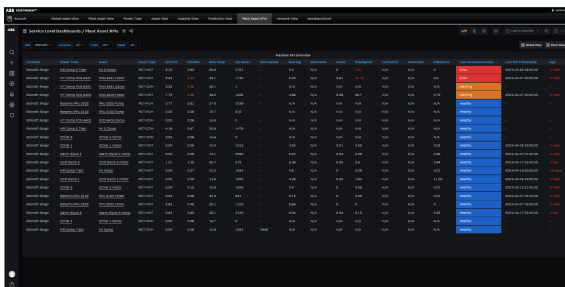
Hva brukere mener om fargevalget og designet vil variere individuelt, med hensyn til smak og hva den er vandt med. Et hovedmoment å trekke frem er at det kan være mer avlastende for øynene å jobbe med program som har mørk bakgrunn slik som WH, men at lysere bakgrunn kan skape mer detaljerte bilder, for eksempel når grafer presenteres. Fargene i kombinasjon med stor informasjonsmengde nevnt tidlige gjør at liten skrift kan bli vanskelig å lese. WH vil derfor bli noe mer krevende å bruke på grunn av sin fargekombinasjon, og derfor ikke tilrettelegge for brukere som ser for eksempel ser dårlig.

Fargekodene for begge versjonene er lett oppfattelige, det gjør at brukeren fort kan finne ut nå-tilstanden uten å lese eller sammenligne tall. Med grunnlag i teori om at det skal utvikles dataprogram med kontinuitet og universell brukervennlighet vil det være en fordel å holde seg til de tradisjonelle trafikklys-fargene grønn, gul, rød. Det kan her argumenteres for at dette vil øke brukervennligheten på tvers av kultur og erfaring, med tanke på at disse fargene benyttes i mange andre sammenhenger.

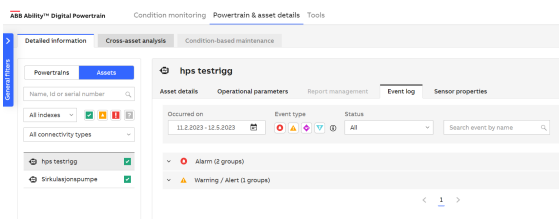
BT versjonen anvender også symboler i kombinasjon med farge. Dette gjør det lettere å oppfatte hva systemet formidler uten å lese. Gruppen mener dette er noe som kunne vært benyttet i begge systemene. Ut ifra dette ser gruppen designet for BT som en fordel og dette systemet som mest anvendelig.

7.1.5 Presentasjon av feilmeldinger

Figur 38 og 39 viser fanene hvor feilmeldinger om maskinene vises.



Figur 38: Feilmelding:
Plant Asset KPI's



Figur 39: Feilmelding:
Event Log

WH gir feilmeldinger gjennom AssetInsight, men kan også gi feilmeldinger på mail og i datasystem. I AssetInsight presenteres tilstanden til maskinene med et fargekodesystem:

- Blå = god tilstand
- Oransje = følg med
- Rød = problem
- Hvit = ingen kommunikasjon.

Det står også skrevet tilstanden til maskinen på hver fargerute. Tilstanden til hver maskin og utdypende feilmelding finner brukeren i fanen Plant Asset KPI's. KPI-ene vil være den utdypende feilmeldingen som oppgis med en tallverdi. Fargekodesystemet brukes i flere av fanene.

BT varsler om feilmeldinger via datasystemet, smarttelefon og mail. Feilmeldinger presenteres i fanen kalt, Event Log. Her lagres feilmeldingene slik at brukeren kan se tidligere feilmeldinger som også har oppstått. Den generelle tilstanden presenteres gjennom et fargekode system:

- Grønn = god
- Oransje = advarsel, følg med.
- Rød = en feil
- Går = ingen målinger.

Det er også tilknyttet et symbol til hver farge som beskriver feilmeldingen. Med et utropstegn for varsel og en ringeklokke for alarmer. Feilmeldingene blir presentert med tilstudsparameter, tid for hendelse, alvorlighetsgrad og eventuelle tiltak.

7.1.5.1 Sammenligning og diskusjon av feilmeldinger

Feilmeldingene i de to versjonene presenteres på forskjellig måte. WH benytter seg av et tabellformat hvor tallverdier for hvert enkel KPI legges frem. Tallene vil bli røde når verdien overskrider alarmgrensene. Den siste kolonnen inneholder fargekoden for tilstanden til maskinen. Gruppen opplever at bruker må lete lenger etter verdier og tall i denne tabellen, sammenlignet med den måten BT systemet presenterer feilmeldingen.

BT legger frem feilmeldingen i en hendelseslogg. Her legges feiltilstanden frem som alvorlighetsgrad, rød eller oransje, med et tilhørende symbol for alarm eller varsel. Denne feilmeldingen mangler likevel noe informasjon. Tallverdien for feilmeldingen presenteres ikke, kun kategori og tidspunkt. Eksempelvis vil brukeren kun få beskjed om en for høy vibrasjon, men ikke hvor høy denne verdien var. Dette vil si at brukeren må navigere til en annen del av programmet for å finne denne verdien. Dette vil gruppen betrakte som en splittelse i handlingssekvenser, og krever at brukeren navigerer mellom to faner for å finne samme informasjonen. Eventuelle tiltaket som presenteres med feilmeldingen i BT programmet er også litt for generell til å kunne gjøre noen spesifikke forbedringer.

Ut ifra splittelsen i handlinger vil WH ha en fordel fordi den tilbyr mest nyttig informasjon til brukeren på samme sted i programmet.

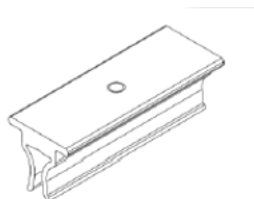
7.2 Brukeropplevelse fra eget forsøk

Dette delkapittelet vurderer og diskuterer elementer fra eget forsøk som påvirker brukeropplevelsen av Smart Sensoren. Det fokuseres på mekanisk installasjon og konfigurering med datasystem. Diskusjonen tar utgangspunkt i gruppens erfaringer fra eget forsøk.

7.2.1 Mekanisk installasjon

Mekanisk installasjon for Smart Sensor er lik, uavhengig av sensor versjon, dette begrunnes med at det ytre design på de to versjonene er identisk.

Installasjon av Smart Sensoren oppleves som enkel. Monteringsmatriell medfølger i eske. Det er kun nødvendig med enkle håndverktøy for å gjennomføre installasjonen. Første steg av installasjonen er å montere egnet brakett på motoren ved hjelp av lim. Neste steg er å skru Smart Sensoren fast gjennom det ene skruehullet som er på sensoren. Skru medfølger også i esken. I gruppens eget forsøk ble det benyttet monteringsbrakett for kjøleribber. Instruksene for montasjeprosess er beskrevet i et montasjehefte. Dette finnes i ABB Library (41). Figur 40 viser hvordan brakett for kjøleribber ser ut.



Figur 40: Monteringbrakett for kjøleribber

Gruppen oppfatter monteringsprosessen for Smart Sensoren som enkel og bidrar til økt brukervennlighet, uavhengig av sensorens versjon.

7.2.2 Konfigurering av Bluetooth sensor med Powertrain

Konfigurering av Bluetooth sensor med Powertrain foregår gjennom en applikasjon på smarttelefon. Applikasjonen er tilgjengelig gratis på Android og Apple. Prosessen går ut på å vekke sensoren opp fra lagringsdvale, og deretter legge inn all teknisk data applikasjonen etterspør. Teknisk data som etterspørres er beskrevet i ABB appen, det finnes valgmuligheter mellom standardvalg for mange av parameterene. Gruppen måtte ettersøke nærmere hva enkelte av parameterene betydde, på grunn av teknisk engelsk eller ukjente faguttrykk.

Gruppen opplevde at det var vanskelig å fylle ut alle punktene datasystemet etterspurte uten noe teknisk data tilgjengelig. Dette medførte at gruppen måtte oppsøke produktspesifikasjoner underveis i konfigurasjonen. Mye av informasjonen kan leses på motorskiltet, mens andre paramter tok lenger tid å finne.

Et hovedproblem gruppen støtte på var at det tok lang tid å opprette dialog med leverandør for å få vite spesifikasjoner på kulelager. Gruppen måtte derfor demonterte motoren for å finne lagertype i motoren selv.

Dette problemet nevner også Denofa i intervjuet. Enkelte deler av deres produksjonlinje er eldre eller byttet underveis. Dette medfører at det er vanskelig å finne den nødvendige dokumentasjonen fra tidligere. Den ansvarlige på Denofa mener at det er veldig tidskrevende å finne riktig teknisk data, i forhold til de andre stegene i konfigurasjonen. Dette oppleves som den mest krevende delen av installasjonprosessen og kan fra erfaring øke tidsbruk av oppsett-prosessen.

Gruppen vil understreke at problemer med å finne teknisk data ikke er ABB sin feil. Et suksesskriterie for å gjøre konfigureringsprosessen så effektiv som mulig vil være at bruker allerede har en oversikt over informasjon om maskinpark og teknisk data.

Gruppen vil også trekke frem at den tekniske dataen som legges inn i oppsettet ikke kan utelukkes, da den er helt nødvendig for riktige kalkulasjoner og analyser. Dette er belyst i teori-kapittel 3.9 og støtter opp for denne argumentasjonen. Viktigheten av en oversikt over riktig teknisk data vil også være gjeldene for WH sensoren.

8 Resultat: Fordeler og ulemper, og forbedringspotensial

I dette kapittelet presenteres Tabell 13 som er et samlet resultat av fordeler og ulemper med henholdsvis Wireless HART - og Bluetooth sensoren. Resultatet i tabellen utledet fra sammenligninger og diskusjon i kapittel 6 og 7. I tillegg legges det frem en helthetsvurdering av samlet tabell, samt forbedringsområder av Smart Sensor systemet.

Tema	Wireless HART		Bluetooth	
	Fordel	Ulempe	Fordel	Ulempe
Indikasjon av lagerskade i spekter		X		X
Ulike måleprofiler når sensor fremstår som ett produkt		X		X
Analyseringsverktøy	X			X
Forside	X			X
Tilstandsmåling	X		X	
Informasjonsmengde		X	X	
Farger og design		X	X	
Presentasjon av feilmelding	X			X
Montasje	X		X	

Tabell 13: Samlet tabell med fordeler og ulemper av WH og BT

8.1 Helhetsvurdering av resultat-tabell

Smart Sensor systemet sin fremste fordel er brukervennligheten uavhengig av versjon. Den er en enkel vibrasjonsmåler som fungerer godt til overvåkning av tilstandsending. Ulempen med Smart Sensor systemet er unøyaktig vibrasjonsanalyse og varierende målprofiler.

8.2 Forbedringsområder av Smart Sensor systemet

Nedenfor presenteres fire hovedområder som gruppen mener har et forbedringspotensial. Det forklares kort hva som kan forbedres, og det legges frem forslag til hvordan det kan forbedres.

- **Utvikle like datasystem for begge versjonene**

Forslaget er at Powertrain og AssetInsight får et likt design med like muligheter. Det anbefales å integrere elementer fra hver av dagens versjoner, slik at graden av brukervennlighet økes i de like systemene. Eksempelvis kan det være best for brukeren å få informasjonsmengden fra BT, i tillegg til muligheten til å gjøre grundigere vibrasjonsanalyse som i Work Bench Tool fra WH. Da vil bruker få mulighet til å både skaffe seg en rask oversikt over tilstanden til fabrikken, i tillegg til å utføre grundige analyser dersom det er behov. Dette vil øke brukervennligheten og muligheten for vibrasjonsanalyse betydelig.

- **Legge ved veiledningen for vibrasjonsanalyse**

Fra befaringer gjort ved intervjuer med Skogn Biokraft og Denofa er at de begge har lite eller ingen erfaring med vibrasjonsanalyse. De vet ikke hva de skal se etter i FFT spektrene for å gjøre analyse. ABB bør tilby en brosjyre/video som enkelt og kortfattet forklarer bruker hvordan vibrasjonsanalyse utføres.

Dersom det ikke er mulig å utvikle like system:

- **Vibrasjonanalyseverktøy for Bluetooth sensor**

Analyseringsverktøyet til Bluetooth versjonen kan forbedres med at bruker kan ha mulighet til å justere, sette opp delta-linjer og zoome inn på grafer. Dette vil gjøre det mulig for brukere å utføre en grundigere analyse.

- **Like verdier for filtrering og oppløsning for begge systemene**

Det anses som et forbedringspotensiale å benytte lik filtrering-og oppløsningsverdier for begge sensorene. Dermed vil Smart Sensoren fremstå som ett produkt, og bruker kan forvente lik pålitelighet, uavhengig av versjon.

9 Diskusjon av Smart Sensor systemet i et tilstandsbasert vedlikehold og i et bærekraftsperspektiv

I dette kapittelet diskuteres det hvordan Smart Sensoren systemet kan brukes i et tilstandsbasert vedlikehold. Det belyses også hvordan Smart Sensoren systemet stilles i forhold til et bærekraftig samfunn. Til slutt reflekteres det over eget arbeid.

Smart Sensoren systemet er et innovativ og nyttig verktøy i overgangen til et tilstandsbasert vedlikehold. Dette begrunnes i at Smart Sensor systemet gjør det mulig å gjennomføre kontinuerlig tilstandsbasert vedlikehold. Sensoren vil bidra til at bedriften holder seg til et forebyggende vedlikehold, og derfor bidrar til færrest mulig korrektive vedlikeholdsaksjoner. Dette er fordi Smart Sensor systemet har kontinuerlig overvåkning av utstyret, og varsler dersom tilstandsparametere har endret seg. Dette vil føre til muligheten for økt levetid av utstyret og effektivisering av industrien. I tillegg vil det være mulig å planlegge vedlikehold, og redusere behov for rutinemessig kontroll.

9.1 Brukervennlighet for endring til tilstandsbasert vedlikehold

Med tilstandsbasert vedlikehold som en del av endringen mot Industri 4.0 er brukervennlige systemer et viktig moment. For å oppnå et effektivisert tilstandsbasert vedlikehold er det nødvendig at systemene er intuitive og brukervennlige. Med grunnlag i resultatene fra Tabell 13, kan en si at begge versjonene av Smart Sensorene er brukervennlige. Med erfaringer fra lab-forsøk og berfaringer mener gruppen at Smart Sensor systemet passer godt inn i et tilstandsbasert vedlikehold. Dette begrunnes med Smart Sensorens brukervennlighet og effektive måte å danne et oversiktsbilde over tilstanden til fabrikker. Den viktigste egenskapen til Smart Sensor systemet er den brukervennlige presentasjonen av endringer over tid, noe som er betydelig i et tilstandsbasert vedlikehold.

For en suksessfull implementering av Smart Sensor som et nytt system i bedriften er det flere kriterier som må ligge til rette. Med grunnlag i prinsippene til Lean og World class mainte-

nance er det nødvendig at ansatte i organisasjonen har samme holdninger og motivasjon for implementeringen av Smart Sensor systemet. Det kan sees på som en suksesskriterie for at Smart Sensoren systemet skal kunne brukes på den tiltenkte måten. Gruppen mener det vil være fordelaktig dersom det er flere i organisasjonen er kjent med Smart Sensor systemet. Dette begrunnes med erfaringer fra befaring ved Skogn Biokraft og Denofa. Hos Skogn Biokraft er det kun en person som er kjent med systemet. Ulempen med dette er at det blir for mye jobb for en person. Hos Denofa er det flere ansatte som er kjent med Smart Sensor systemet. Inntrykket fra berfaring er at bedriften har en felles forståelse og en felles motivasjon for problemløsning. Dersom flere ansatte er kjent med Smart Sensor systemet, kan flere bidra til problemløsning og et effektivt samarbeid. Dette vil igjen føre til tidsbesparelse for bedriften.

På grunnlag av erfaring tilegnet gjennom lab-forsøk, mener gruppen at Smart Sensor systemet er brukervennlig nok til at det ikke vil ta for lang tid å bli kjent med systemet. Dette støtter opp mot at det burde være gjennomførbart at flere blir kjent med systemt i en organisasjon, men også avhenger av at holdningsstrukturen i bedriften er riktig.

9.2 Analysebehov i tilstandsbasert vedlikehold

Videre vil gruppen diskutere behovet for å utføre grundige vibrasjonsanalyser i forhold til et tilstandsbasert vedlikehold. Som nevnt har både WH og BT et forbedringspotensial med nøyaktigheten av vibrasjonsanalysene og nøyaktige målprofiler. I tillegg har BT et forbedringspotensial av analyseringsverktøyet. Imidlertid vil gruppen understreke at Smart Sensor systemet i en helhet gir et godt oversiktsbilde over forandring av tilstandsparametere. Gruppen vil trekke frem at dette aspektet har stor betydning for å utføre det tilstandsbaserte vedlikeholdet. Behovet for å gjøre en grundig og presis vibrasjonsanalyse er ikke nødvendigvis like stort på alle maskiner. Bruker må derfor selv ta en vurdering på i hvilken grad det er nødvendig med en grundig vibrasjonsanalyse. Det vil alltid være en fordel å kunne gjøre grundigere analyse, men dette krever mer kunnskap om vibrasjonsanalyse og er tidskrevende.

Det kan videre argumenteres med at det er mer fornuftig å ha fokus på et riktig oversiktsbilde av viktige tilstandsparamtere, fremfor veldig presise vibrasjonsanalyser. Slik Smart Sensor systemet er i dag fungerer den til den effektive delen av et tilstandsbasert vedlikehold, men ikke for grundige analyser.

9.3 Smart Sensor systemet i et tilstandsbasert vedlikehold

Driftssikkerhet og vedlikeholdsstyringsløyfen

Smart Sensor systemet vil kunne øke vedlikeholdsevnen til organisasjonen, og vil i neste steg bidra til en bedre driftssikkerhet. Som forklart i teori-kapittel 3.3 vil en god driftssikkerhet gi redusert nedetid og vedlikeholdskostnader. I tillegg forbedrer Smart Sensor systemet driftssikkerheten til produksjonen på flere måter gjennom den kontinuerlige overvåkingen.

Videre, kan Smart Sensor systemet sees som en del av DV programmet og planlegging i vedlikeholdsstyringsløyfen. Dette medfører at høyre side av løyfen forbedres ved at Smart Sensor systemet øker muligheten til å måle og regulere den tekniske tilstanden til fabrikken. Videre kan det argumenteres for at Smart Sensor systemet også bidrar til å regulere ressursbehovet, som også er en del av løyfen. I tillegg vil Smart Sensor systemets mulighet til integrasjon med CMMS også kunne bidra til en bedre avviksrapportering. Smart Sensor systemet vil ha en positiv innvirkning på flere deler av løyfen, og en kan si at det vil forbedre helheten av vedlikeholdssløyfen.

Økt PF-intervall

Smart Sensor systemet er en tilstandskontroll i form av vibrasjonsmåling. Smart Sensor systemet vil gjøre at bedriften øker PF-intervallet på utstyret. Dette er fordi vibrasjonsovervåking av maskinen kan gi bruker mulighet til å identifisere potensielle feil tidlig. Det gjør at forebyggende vedlikeholdstiltak kan iverksettes i god tid før et omfattende maskinhavari oppstår. Fra dette kan det trekkes en tråd til hvordan Smart Sensor systemet kan knyttes til vedlikeholdsstyringsløyfens elementer. I forhold til et tilstandsbasert vedlikehold er det en fordel at PF-intervallet øker når Smart Sensor systemet blir installert. På en annen siden

er en også avhengig av at systemet faktisk fungerer på tiltenkt måte og at bruker opplever Smart Sensor som pålitelig. Hvilken grad bruker opplever systemet pålitelig er avhengig av at systemet utfyller sin funksjon. Dette diskuteres videre i avsnittet under med grunnlag i erfaringer som både gruppen, Denofa og Skogn Biokraft har opplevd.

Varsling og pålitelighet

Fra lab-forsøk har gruppen erfart at systemet varsler om feil, når det er feil. Gruppen har ikke gjennomført målinger på en sakte utviklende feil, så i hvilken grad systemet ville sagt i fra om små feil har vi ikke nok grunnlag til å vurdere. Derimot varslet systemet som forventet på den påførte feilen. Gruppen kan derfor fastslå at den er pålitelig.

Dette støttes videre med erfaringer fra Skogn Biokraft og Denofa hvor begge bedrifter sa de følte systemet var pålitelig. Denofa nevener i intervju at de gangen de har hatt feil på maskiner har de alltid fått varsel om en tilstandsending. Dette støtter videre opp til at Smart Sensor systemet faktisk utfyller sin tiltenkte funksjon.

De gangene Denofa har fått varsel fra Smart Sensor systemet har de likevel gjennomført håndholdte målinger for å dobbeltsjekke vibrasjonsnivået på den aktuelle maskinen. En kan derfor si at påliteligheten blir noe svekket. Likevel kan det argumenteres videre med at det er tenkelig at det ville blitt utført flere tester for å kvalitetsikre målingene, uansett hvor bra eller dårlig tilstandskontrollsystem brukeren har. En kan derfor fastslå at Smart Sensor systemet er pålitelig nok til å fungere i et tilstandsbasert vedlikehold fordi den har en kontinuerlig overvåkning som faktisk oppdager endringer i tilstandsparametere.

IoT og integrasjon med andre systemer

IoT er nødvendig for at bedriften skal kunne hente inn sanntidsdata og overvåke roterende utstyr med Smart Sensoren systemet. Smart Sensor systemet vil åpne for å etablere et IoT system mellom helmekansike maskiner. IoT muliggjør også at Smart Sensor systemet kan integreres med andre digitale løsninger i fabrikk, som CMMS systemet eller styringssystemer. Skogn Biokraft er for eksempel i prosessen til å integrere Smart Sensor systemet inn i styringssystemet sitt 800xA. Dette vil være til fordel, fordi det gir bruker et større oversiktsbilde over fabrikk, samt øke den helhetlige påliteligheten i fabrikk. Med dette kan Smart

Sensor systemet nok en gang anses som et viktig element i tilnærming til industri 4.0.

Det kan understrekes at IoT åpner opp for mange gode muligheter og løsninger i industrien. Imidlertid kan det argumenteres for at en ulempe med Smart Sensor systemet og Iot er at det forutsetter en stabil internettforbindelse til enhver tid. Dårlig internettforbindelese vil påvirke opplasting av sanntidsdata, og derfor en svekkende faktor mot det tilstandsbaserte vedlikeholdet. Det diskuteres i hvilken grad en bedrift egentlig bør være avhengig av et kun et trådløst IoT. Det kan derfor argumenteres for at det er nødvendig å ha andre alternativer for å opprettholde en kontroll dersom internettet svikter over lengre tid. Dette gjelder spesielt dersom Smart Sensorene er montert på kritisk utstyr.

Både Denofa og Skogn har satt Smart Sensorer på kritisk utstyr. Gjennom befarings hos Denofa ble det fortalt at det har hendt de har mistet forbindelse mellom sensor og gateway. Fordelsvis i slike tilfeller har Smart Sensor systemet en meldingstjeneste som varsler om dette.

9.4 Smart Sensor systemet i et bærekraftsperspektiv

Bærekraft er et dagsaktuelt tema som kan diskuteres i mange sammenhenger. Det vil derfor være relevant å sette Smart Sensor systemet opp mot et bærekraftsperspektiv. Først vil gruppen trekke frem bærekraftsmålene til FN. Disse er satt som en retningslinjer for å endre samfunnet til et mer bærekraftig samfunn enn vi er i dag. Bærekraftsmål 12 og 9 som er utdypet mer i teorien kapittel 3.13, vil være de mest relevante målene å trekke frem i denne oppgaven. Gruppen vil også trekke inn momenter fra nedvekst, retten til å reparere eget utstyr og ressursoptimalisering.

Ressursoptimalisering

Et åpenbart argument for å benytte Smart Sensor systemet som et verktøy for å modernisere fabrikker, er formålet om å utnytte det eksisterende maskineriet lengst mulig. Smart Sensor systemet gir muligheten til å oppdage små feil på en maskin tidligst mulig slik at man kan gjøre tiltak, og unngå at hele maskinen gjennomgår et større skadeomfang. Store skadeomfang

krever flere nye maskindeler eller i verste fall hele maskinen. Dette bidrar til mer avfall fra produksjonen enn nødvendig. Smart Sensor systemet kan derfor anses som et bidrag til FN's bærekraftsmål 12, som dreier seg om å ansvarlig produksjon. Smart Sensor systemet vil ikke i seg selv forlenge levetiden til eksisterende utstyr, men gir brukeren mulighet til å optimalisere ressursene sine.

Ressursbruk

FN bærekraftsmål 12 sier også at vi i dag bruker for mye av de samlede ressursene. Med dette i tankene er det relevant å spørre seg om det er riktig å bidra til enda et produkt som potensielt kan havne som en del av den voksende søppelhaugen. Som nevnt i teorien er småelektronikk kjent som en de vanskeligste produktene å reparere når de blir ødelagte. Smart Sensoren som et elektronisk produkt består av edle metaller og potensielt miljøfarlige stoffer. Selv om Smart Sensoren bidrar til forlengelse av levetiden på større og dyrere utstyr vil det fortsatt kreve at den produseres og resirkuleres på en bærekraftig måte.

Smart Sensor systemet vil også kreve kraftressurser for å drifte datasystemene i form av strøm og kjøling til servere eller datalagring. Trekker en denne tråden enda lenger kan det også stilles spørsmål hva denne kraften er basert på. Eksempelvis om det er fornybare ressurser eller fra fossile kraftkilder, og i hvilken grad dette vil være miljøvennlig.

Nedvekst

Smart Sensoren er en teknologisk innovativ oppfinnelse som utnytter eksisterende teknologi og gjør den mer tilgjengelig for folk som ikke har et høyt kunnskapsnivå om vibrasjonsmåling. Dette svarer bra til FN sitt bærekraftsmål 9 om å tilby innovative løsninger som kan bidra til å løfte lavt utviklede deler av verden høyre opp.

En bakdel ved det er at denne utviklingen står i stor strid med prinsippet om nedvekst. Smart Sensoren er nok et tilskudd til den eksisterende maskinparken. Det vil bli enda en gjenstand som skal produseres, følges opp og driftes, og vil trolig bli benyttet i den delen av verden som allerede er velutviklet. Dette er en ulempe med tanke på at det er den velutviklede delen som heller burde rette seg mot en nedskalering isteden for å tilføre enda en ny "ting" som kan by på flere uforutsette problemer.

I forhold til bærekraft kan en si at Smart Sensor systemet bidrar til ressurseffektivisering. Til tross for at Smart Sensor systemet tilfører noe mer til industrien vil den bidra til at eksisterende maskiner utnyttes til det lengste, og at denne fordelene er større enn ulempene. Fra et bærekraftsperspektiv kan en si at brukeren må ta et ansvar for å undersøke nødvendigheten av den før implementering.

9.5 Refleksjon av eget arbeid

I løpet av arbeidet med bacheloroppgaven har gruppen tatt ansvar for å utvikle problemstillingen og definere omfanget av prosjektet på egen hånd. Gruppen har underveis justert og utvidet opprinnelige planer for å sikre at resultatene er pålitelige og representative. Gjennom denne prosessen har gruppen oppdaget at det var nødvendig med befaringer av bedrifter som bruker begge sensorene for å øke validiteten. Gruppen har blant annet tatt initiativ til å reise til ABB i Bergen for opplæring og målinger. I tillegg har gruppen selv opprettet dialog med professor fra Institutt for elektriskenergi for å låne test-utstyr til eget forsøk. Gruppen har med dette vist evnen til å tenke kreativt, og handlet selvstendig for å styrke bacheloroppgavens validitet og kvalitet.

Gruppen vil også trekke frem begrensningen med tilgang på Wireless HART sensoren. Dette har resultert i at gruppen ikke har hatt mulighet til å tilegne seg førstehåndserfaring med denne sensoren. Gruppen erkjenner at dette har ført til noe reduksjon for validiteten av sammenligningsgrunnlaget. Det er viktig å understreke at det er tids-og ressursbegrensninger som setter rammen for denne delen. Gruppen har likevel lagt inn en stor innsats for å gjøre sammenligningsgrunnlaget mellom Wireless HART og Bluetooth så godt som mulig.

Til ettertanke ser gruppen også at det ville vært hensiktsmessig å utføre vibrasjonsanalyser på andre vibrasjonsspekter enn envelope. Envelope er godt egnet for lagerskader i tidlig fase, noe som gjør at lagerskaden i denne oppgaven burde blitt vurdert i flere spekter, for eksempel velocity. Tidsbegrensninger og sammenligningsmuligheter har hindret dette. Imidlertid mener gruppen, i samråd med ABB veileder, at skaden likevel burde vist seg bedre i envelope spekteret. Derfor underbygger dette gruppens argument for Smart Sensor systemets

forbedringer.

Underveis i oppgaven oppstod det også ønske om å avdekke suksesskriterer for implementering av Smart Sensor i et tilstandsbasert vedlikehold. Dette skulle være suksesskriterier som ABB kunne brukt som en slags sjekkliste for kunder ved implementering. På grunn av tidsbegrensninger og omfang valgte gruppen å ikke gjennomføre dette. Derfor anser gruppen dette som en del av et videre arbeid, beskrevet i kapittel 11.

Gjennom arbeidet med oppgaven har gruppen utviklet en god forståelse for hva som kreves for et godt samarbeid i et prosjekt. Ved å legge vekt på jevn og rettferdig arbeidsfordeling og opprettholde en god gruppedynamikk, har gruppen skapt et solid grunnlag for å gjennomføre bacheloroppgaven på en effektiv måte. Felles målsetting om å oppnå best mulig resultat gjennom hele prosessen viser en reflektert holdning til samarbeid og teamarbeid. Gruppen har også vært villig til å utfordre seg selv på ukjente fagområder, og dette viser en åpenhet for å lære og utvikle seg, selv når det er utfordrende. Dette er verdifulle erfaringer som vil være til nytte for fremtidige samarbeid og prosjekter.

10 Konklusjon

Resultatmål 1: Ståstedsanalyse av Smart Sensor systemet og hvordan det brukes i industrien i et tilstandsbasert vedlikehold

Bacheloroppgaven inneholder en ståstedanalyse delt opp i to deler. Første del inneholder en generell beskrivelse av Smart Sensor systemet. Den siste delen inneholder beskrivelse av hvordan Smart Sensor Wireless HART og Smart Sensor Bluetooth anvendes hos brukere og deres erfaringer. Fra ståstedanalysen kommer det frem at både Skogn Biokraft og Denofa anvender Smart Sensor systemet i et tilstandsbasert vedlikehold på kritisk utstyr. Karlegging av Smart Sensor systemet og erfaringer fra Skogn Biokraft og Denofa har dannet grunnlag for resultat i bacheloroppgaven.

Resultatmål 2: Undersøke fordeler og ulemper med Smart Sensor systemet i forhold til vibrasjonsanalyse og brukervennlighet

Som et resultat av forsøk og befaring har det blitt utviklet en tabell med fordeler og ulemper for både Wireless HART-og Bluetooth sensoren. Konkluderende, er brukervennlighet en fordel for hele Smart Sensor systemet. Ulempen er mangelen på presise og grundige vibrasjonsanalyser.

Resultatmål 3: Foreslå forbedringer av Smart Sensor systemet

På bakgrunn av resultatene er det lagt frem forbedringsområder for Smart Sensoren systemet. Konkluderende, er forbedringsområdene som er funnet nødvendige for å optimalisere Smart Sensor systemet i forhold til brukervennlighet og mulighet for vibrasjonsanalyse i et tilstandsbasert vedlikehold. Ved å fokusere på disse forbedringene kan ABB videreutvikle Smart Sensor systemet til å utnytte mer av sitt potensial som tilstandsmåler, og skape en mer effektiv løsning.

Resultatmål 4: Evaluere Smart Sensor systemet i et tilstandsbasert vedlikehold og bærekraftig perspektiv

Gruppen konkluderer med at både Wireless HART-og Bluetooth sensoren er egnet for et tilstandsbasert vedlikehold. Begge sensorene gir et godt oversiktsbilde av tilstandsparamtere, og varsler om endringer. Fra et bærekraftsperspektiv vil Smart Sensor systemet i det store bilde bidra til økt utnyttelse av ressurser.

11 Videre arbeid

Egne tester av Wireless HART sensoren en begrensning av for bacheloroppgaven. Dersom gruppen hadde hatt mer tid ville det vært gjennomført brukstester på Wireless HART. I tillegg ville gruppen gjennomført flere målinger med ulike feilscenarier for både Wireless HART-og Bluetooth sensoren. Det ville i denne sammenheng også vært interessant å vurdert flere vibrasjonspekter enn envelope, for eksempel velocity. Dette ville ha gitt en dypere forståelse av sensorenes ytelse, og avdekket ytterligere forbedringspotensialer.

I tillegg kunne gruppen ha utforsket suksesskriteriene for implementeringen av Smart Sensor systemet i bedrifter. Dette ville ha involvert å identifisere faktorer som påvirker en vellykket implementering, for eksempel organisatoriske tilpasninger, opplæring av ansatte, og integrering med eksisterende systemer. Ved å undersøke og definere suksesskriteriene, ville det vært mulig for ABB å gi bedre veiledning og anbefalinger til bedrifter som ønsker å implementere Smart Sensor systemet.

Samlet sett ville mer tid og ressurser tillate gruppen å utforske flere aspekter av Smart Sensor systemet, gjennomføre grundigere tester og identifisere ytterligere forbedringsmuligheter. Dette ville bidratt til å styrke konklusjonene og anbefalingene som er presentert i bacheloroppgaven.

Referanseliste

1. Rolstadås A. *Interessentanalyse*. [Internett]. 16.01.2021. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/interessentanalyse> (hentet 19.04.2023).
2. Bryhn R. *ABB*. [Internett]. SNL; 2023. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/ABB> (hentet 19.04.2023).
3. Grønmo S. *forskningsmetode - samfunnsvitenskap*. [Internett]. SNL; 2021. Tilgjengelig fra: https://snl.no/forskningsmetode_-_samfunnsvitenskap (hentet 09.05.2023).
4. Schjølberg P. Ravå R. *Industry 4.0 and Maintenance*. 2016.
5. SINTEF. *Vedlikehold*. [Internett]. SINTEF; Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/ekspertise/sintef-teknologi-og-samfunn/vedlikehold/> (hentet 26.04.2023).
6. Bye P.I. *Vedlikehold og driftsikkerhet*. sn; 2009.
7. Pedersen V.G. *Forelesning i vedlikehold og driftsikkerhet (MAST2006)*. vår 2022.
8. Pedersen V.G. *Forelesningsnotat tilstandsbasert vedlikehold mast2012*. 2022.
9. Norsk Standard. *NS-EN 13306: Vedlikehold, Vedlikeholdsterminologi*. [Internett]. NS-EN; 2017. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1022000> (hentet 06.05.2023).
10. Randall R. *VIBRATION-BASED CONDITION MONITORING*. John Wiley og Sons, Ltd; 2011.
11. Scheffer C, Girdhar P. *Practical Machinery Vibration Analysis and predictive maintenance*. Newnes; 2004.
12. Bye P.I. *Tilstandskontroll*. sn; 1991.
13. International Organization for Standardization. *ISO 13373-2, Condition monitoring and diagnostics of machines - Vibration condition monitoring*. [Internett]. ISO, 2016. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=798601> (hentet 25.04.2023).

14. Mobley R.K. *An introduction to predictive maintenance*. second edition. Butterworth-Heinemann, 2002.
15. Andersen P.B. *FFT*. [Internett]. 2023. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/FFT> (hentet 26.04.2023).
16. Mobius Institute. *VIBRATION ANALYSIS DICTIONARY*. [Internett]. 2022. Tilgjengelig fra: <https://www.mobiusinstitute.com/vibration-analysis-dictionary/#s> (hentet 25.04.2023).
17. Mobius Institute. *How Many Lines of Resolution?* [Internett]. Mobius Institute; Tilgjengelig fra: https://reliabilityweb.com/tips/article/how_many_lines_of_resolution (hentet 02.05.2023).
18. Midttveit A.K. [Samtale]. 2023.
19. Gaussian Waves Signal Processing for Communication Systems. *Window function figure of merits*. [Internett]. Tilgjengelig fra: <https://www.gaussianwaves.com/2020/09/window-function-figure-of-merits/> (hentet 02.05.2023).
20. Howison D. *Vibration Monitoring: Envelope Signal Processing*. [Internett]. @plitudeXchange; 2003. Tilgjengelig fra: <http://www.maintenance-engineering.eu/downloads/public/envelope%5C%20bearing.pdf> (hentet 21.04.2023).
21. Brady S Mais J. *Introduction guide to vibration monitoring, Measurements, analysis, and terminology*. [Internett]. SKF; 2002. Tilgjengelig fra: https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d196802179ea-JM02001_Introduction_Guide_to_Vibration_Monitoring_2017_tcm_12-312756.pdf (hentet 29.04.2023).
22. Siegel D. *Evaluation of Health Assessment Techniques for Rotating Machinery*. [Internett]. Smithsonian Magazine; 2016. Tilgjengelig fra: https://www.researchgate.net/publication/265038187_Evaluation_of_Health_Assessment_Techniques_for_Rotating_Machinery (hentet 03.05.2023).
23. Norsk Standard. *NS-ISO 2041:2018 Mekaniske vibrasjoner, støt og tilstandsovervåking Terminologi*. [Internett]. Norsk Standard; 2018. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no>

- [no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1096994](https://www.ntnu.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1096994)
(hentet 03.05.2023).
24. Fernandez A. *Rolling element bearings*. [Internett]. Power-MI; 2023. Tilgjengelig fra: <https://power-mi.com/content/rolling-element-bearing-components-and-failing-frequencies> (hentet 06.05.2023).
 25. Uherek F.C. *What is L10 Life?* [Internett]. Tilgjengelig fra: <https://www.rexnord.com/blog/articles/bearings/what-is-l10-life> (hentet 02.05.2023).
 26. International Organization for Standardization. *ISO20816-3:2022. Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 3: Industrial machinery with a power rating above 15 kW and operating speeds between 120 r/min and 30 000 r/min*. [Internett]. ISO; 2022. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1441855> (hentet 05.05.2023).
 27. Pedersen V.G. Samtale. 2023.
 28. Pedersen V.G. *Forelesning i prediktivt vedlikehold (MAST2011)*. vår 2022.
 29. Shneiderman B, Plaisant C. *Designing the User Interference*. 5. utg. Pearson; 2009.
 30. Øverby H. *Brukergrensesnitt*. [Internett]. SNL; 2023. Tilgjengelig fra: https://snl.no/forskningsmetode_-_samfunnsvitenskap (hentet 12.05.2023).
 31. FN. *FNs bærekraftsmål*. [Internett]. FN; 2023. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal> (hentet 11.05.2023).
 32. FN. *Industri, innovasjon og infrastruktur*. [Internett]. FN; 2023. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/industri-innovasjon-og-infrastruktur> (hentet 11.05.2023).
 33. FN. *Ansvarlig forbruk og produksjon*. [Internett]. FN; 2023. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/ansvarlig-forbruk-og-produksjon> (hentet 11.06.2023).

34. Græsli H. *Grønn vekst eller nedvekst?* [Internett]. NDLA; 2022. Tilgjengelig fra: <https://ndla.no/nb/subject:d1fe9d0a-a54d-49db-a4c2-fd5463a7c9e7/topic:a2f5aaa0-ab52-49d5-aabf-e7ffeac47fa2/topic:4e41bc03-7dcf-47f2-9d8a-48fe3280db92/topic:fb036f5c-bbbd-4d47-b053-06eca9b8ae8f> (hentet 18.05.2023).
35. Forskning. *Årets Holbergpris til forskning på miljøkonflikter*. [Internett]. Forskning; 2023. Tilgjengelig fra: <https://forskning.no/forskningspriser-ntb-okonomi/arets-holbergpris-til-forskning-pa-miljokonflikter/2169322> (hentet 18.05.2023).
36. Matchar E. *The Fight for the "Right to Repair"*. [Internett]. Smithsonian Magazine; 2016. Tilgjengelig fra: <https://www.smithsonianmag.com/innovation/fight-right-repair-180959764/> (hentet 18.05.2023).
37. ABB. *ABB Ability™ Smart Sensor*. [Internett]. ABB; Tilgjengelig fra: <https://new.abb.com/motors-generators/no/service/advanced-services/smart-sensor> (hentet 03.05.2023).
38. ABB. *ABB Ability™ Digital Powertrain*. [Internett]. ABB; 2022. Tilgjengelig fra: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107799&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch> (hentet 03.05.2023).
39. FieldComm Group. *HART WITHOUT THE WIRES*. [Internett]. Tilgjengelig fra: <https://www.fieldcommgroup.org/technologies/wirelesshart> (hentet 03.05.2023).
40. Øverby H. *Bluetooth*. [Internett]. SNL; 2022. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/Bluetooth> (hentet 06.05.2023).
41. ABB. *ABB Ability™ Smart Sensor for hazardous areas installation guide for wedge mount*. [Internett]. ABB; 2022. Tilgjengelig fra: <https://library.abb.com/d/9AKK107983> (hentet 29.04.2023).

A Vedlegg

A.1 ABB Smart Sensor brosjyre

3

ABB ABILITY™ CONDITION MONITORING FOR ROTATING EQUIPMENT



Intended use

The ABB Ability Smart Sensor can be used for industrial motors and general machinery, such as pumps and fans.

Motor specifications

- Industrial AC motors, induction or synchronous
- Continuous duty or intermittent duty with duty cycle durations of more than 20 minutes
- Frame sizes
 - IEC: 56 - 500
 - NEMA: 42 - 449, above NEMA: 5000 - 6800
- Fixed speed or variable speed
- New or existing motors from ABB or other manufacturers

Monitored motor health parameters

- Overall condition
- Overall vibration (velocity RMS)
- Bearing condition
- Skin temperature (degrees)

Monitored motor operating parameters

- Vibration in 3 axis
 - velocity RMS
 - acceleration RMS
 - acceleration peak to peak
- Speed (rpm)
- Total running time
- Total number of starts
- Supply frequency (Hz)
- Output power (hp/kW)
- Regreasing count-down

General machinery specifications

- Assets, such as pumps and fans, in which only temperature and vibration need to be measured and monitored

Monitored general machinery health parameters

- Overall vibration (velocity RMS)
- Overall acceleration RMS
- Skin temperature (degrees)

Monitored general machinery operating parameters

- Vibration in 3 axis
 - velocity RMS
 - acceleration RMS
 - acceleration peak to peak

ABB Ability Smart Sensor gateway

The gateway automatically collects data from a high number of Smart Sensors and transmits the data to the cloud for processing.

Gateway specifications

Manufacturer	Cassia, with ABB customization
Range	30 - 200 m (can vary in an industrial environment depending on facility layout)
Power supply	PoE (Power over Ethernet)
Certifications	1879 FCC, CSA, CE
Radio frequency	ISM band, 2.402-2.480 GHz
Data transfer	WiFi, LAN 4G/LTE USB dongle
IP rating	IP65 with cover caps
Environment	Operating temperature: -40 °C to +65 °C

A.2 Teknisk data High Performance Smart Sensor

11

Technical data

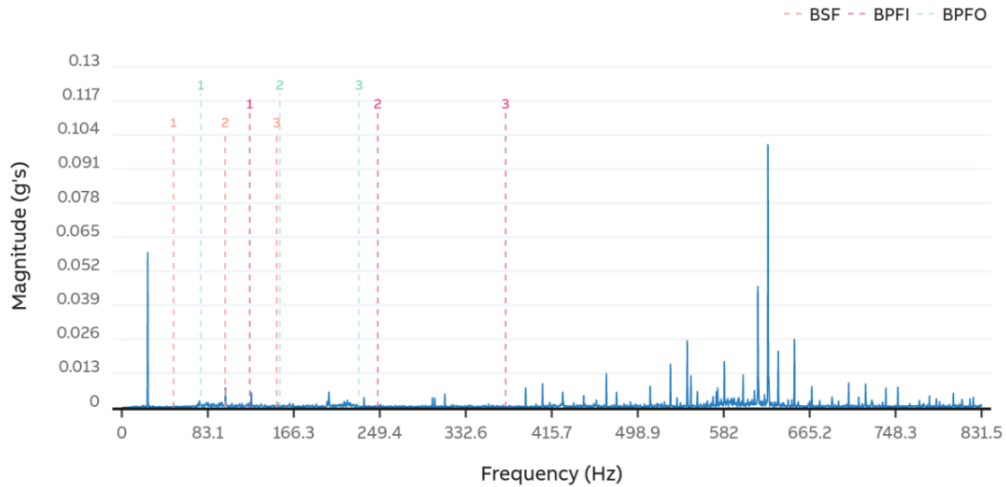
High performance Smart Sensors

Specifications	High performance sensor
Temperature measurement (machine skin temperature)	
Measurement range	-40° C to +85° C
Resolution	0.1° C
Accuracy	+/-0.5° C
Vibration measurement	
Acceleration, low frequency (x, y, z direction)	
Amplitude range	0.03 - 157 m/s ² (16g)
Frequency bandwidth	0.1 Hz – 1.5 kHz
Acceleration, high frequency (z direction)	
Amplitude range	0.1 - 450 m/s ² (50g)
Frequency bandwidth	100 Hz - 20 kHz
Magnetic field measurement	
Magnetic field (x, y, z direction)	
Amplitude range	1 – 1600 μ T
Frequency bandwidth	0.1 – 250 Hz
Ultrasonic sound measurement	
Microphone	
Amplitude range	0.6 mN/m ² – 20 N/m ²
Frequency bandwidth	100 Hz – 80 kHz
Wireless communication	
Communication standards	Bluetooth 5.0, Bluetooth Low Energy
Radio standard	IEEE 802.15.4
Frequency	2.4 GHz, license free ISM band
Range (nominal)	>200 m @ line of sight
Security	
Encryption	128-bit AES encryption
Authentication	IEC 62351 (role-based access control)
Power	
Battery type (not replaceable)	C-type
Battery design life	Up to 15 years operation under standard conditions
Environmental	
Temperature	Operation: -40° C to +85° C Storage: <30° C
IP class	IP66/67 (dust-tight and resistant to powerful water jetting and submersion)
Chemical tolerance	See chemical tolerance sheet for PBT (Polybutylene terephthalate)
Certifications	
Hazardous areas	
	Ex ia I Ma -40 oC \leq Tamb \leq +85 °C (Mining) Ex ia IIC T4 Ga -40 oC \leq Tamb \leq +85 oC (Gas) Ex ia IIIC T157 Da -40 oC \leq Tamb \leq +85 oC (Dust) CI I, Div 1, Gr A, B, C and D T4 CI II, Div 1, Gr E, F and G T4 CI III, Div 1
Radio	EN 300 328 v.2.1.1 EN 301 330 v.2.1.1 FCC/IC
EMC	
Immunity	EN/IEC 61000-6-2
Emission	EN/IEC 61000-6-3
Physical	
Dimensions (W x D x H)	82 mm x 69 mm x 45 mm
Weight	185 g
Case material	Stainless steel/reinforced PBT
Mounting	On equipment housing or frame. Please consult installation manuals. M6 or UNF ¼" / 28 screw

A.3 DE envelope akselerasjon, Raw Data Rapport Bluetooth

Frequency domain vibration envelope signals

DE Envelope of Vibration Acceleration Radial from 2023-05-05 07:19:54



Bearing Fault harmonics	Frequency	Magnitude
BSF 1xx	49.9 Hz	0.00 g/s
BSF 2xx	99.8 Hz	0.00 g/s
BSF 3xx	149.8 Hz	0.00 g/s
BPFI 1xx	123.7 Hz	0.00 g/s
BPFI 2xx	247.4 Hz	0.00 g/s
BPFI 3xx	371.1 Hz	0.00 g/s
BPFO 1xx	76.4 Hz	0.00 g/s
BPFO 2xx	152.8 Hz	0.00 g/s
BPFO 3xx	229.2 Hz	0.00 g/s

