

Emil Meland, Mats Erik Haugan

Bruk av vibrasjonsmonitoreringssystem for å avdekke begynnende degradering av generatorlager i vindturbin

Bacheloroppgave i Drift og vedlikehold

Veileder: Viggo G. Pedersen

Mai 2021

Emil Meland, Mats Erik Haugan

Bruk av vibrasjonsmonitoreringssystem for å avdekke begynnende degradering av generatorlager i vindturbin

Bacheloroppgave i Drift og vedlikehold
Veileder: Viggo G. Pedersen
Mai 2021

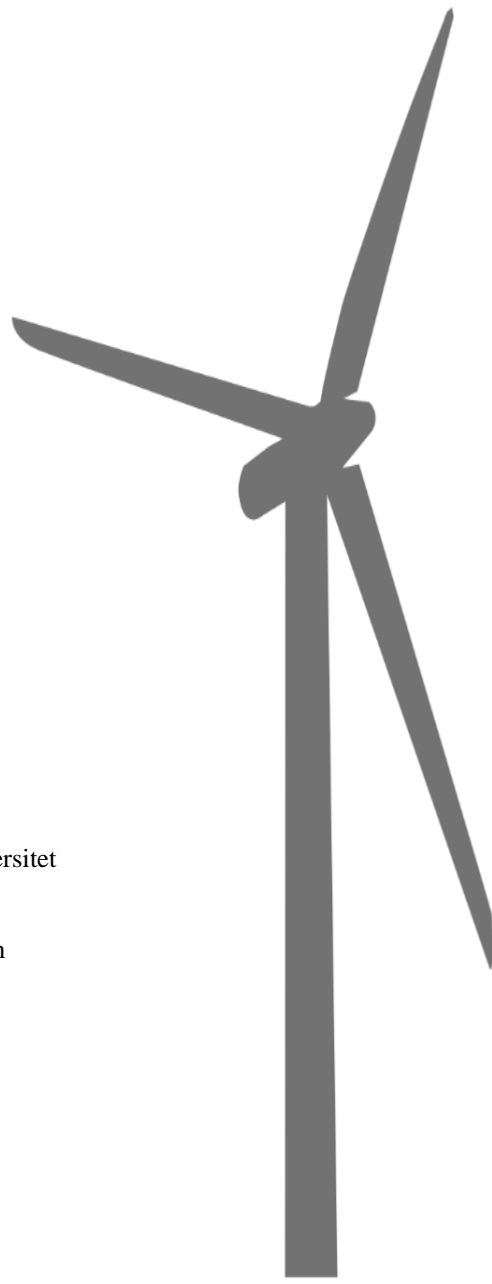
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for maskinteknikk og produksjon

Emil Meland, Mats Erik Haugan

Bruk av vibrasjonsmonitoreringssystem for å avdekke begynnende degradering av generatorlager i vindturbin

TMAS3001 – Bacheloroppgave maskin
Trondheim Mai 2021
Prosjektnummer: MTP-D-2021-01

NTNU
Norges Teknisk-naturvitenskaplige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for maskinteknikk og produksjon



RAPPORT BACHELOROPPGAVEN

Tittel

Bruk av vibrasjonsmonitorerings system for å avdekke degradering av generatorlager i vindturbin.

Use of vibration monitoring system to detect degradation of generator bearings in wind turbines.

Prosjektnr

MTP-D-2021-01

Forfattere

Emil Meland, Mats Erik Haugan

Oppdragsgiver eksternt

TrønderEnergi Vind AS

Veileder(e) internt

Viggo Gabriel Borg Pedersen

Rapporten er ÅPEN

Dato levert

19.05.2021

Kort sammendrag

Denne bacheloroppgaven ser på hvordan et add-on vibrasjonsmonitoreringssystem kan bidra til å forutse degradering av generatorlager på en vindturbin. I oppgaven ser vi på nåværende situasjon i generatorlager og rotorlager, samt en forklaring på hvordan vibrasjonsmonitoreringsutstyret settes opp og brukes. Det beskrives også metoder for overføring av trenddata og alarmer til bedriftens ERP program. Samt metoder for setting av grenseverdier på vibrasjonsnivå.

This bachelor thesis looks at how an add-on vibration monitoring system can help predict the degradation of generator bearings on a wind turbine. In the thesis we look at the current situation in generator bearing and rotor bearing, as well as an explanation of how the vibration monitoring equipment is set up and used. Methods for transmitting trend data and alarms to the company's ERP program are also described. As well as methods for setting limit values at vibration level.

Stikkord: Vibrasjonsmonitorering, generatorlager, vindturbin, prediktivt vedlikehold

Keywords: Vibration monitoring, generator bearing, wind turbine, predictive maintenance

Sammendrag

I 2016 tok TrønderEnergi over drift og vedlikeholdsansvaret av Bessaker vindpark. I etterkant av dette har det vært knyttet usikkerhet rundt tilstanden på et av generatorlagrene i vindturbin 5. En tilstandsrapport utført på oppdrag av TrønderEnergi Vind i forbindelse med overtakelsen viser at greasen i generatorlageret har et høyt Fe-innhold. En vibrasjonsmåling samme firma har gjennomført, viser også en del høyfrekvente harmoniske vibrasjoner.

Å kunne si noe om tilstanden til generatorlager og rotorlager er et generelt problem i vindkraftindustrien. TrønderEnergi Vind var interessert i å teste ut utstyr som kunne bidra med si noe om tilstanden til rotor og generatorlager.

Målet for denne bacheloroppgaven er å se på en av SKF sine løsninger for vibrasjonsmonitorering i vindturbiner. For å få en oversikt av nåværende situasjon i vindturbinen er det utført en ståstedsanalyse. Deretter ser oppgaven på SKF sitt Multilog on-line IMx-8 system. Oppgaven vil gå igjennom alle komponentene i systemet og vise hvordan systemet skal settes opp for bruk.

For å kunne se resultatet av målingene benyttes programvaren @ptitude Observer. Oppgaven vil vise hvordan programvaren settes opp med måling i forskjellige frekvensområder og bruk av måleteknikken Envelope.

Det blir presentert to metoder for dataoverføring av trenddata og alarmlister til TrønderEnergi Vind sitt ERP-program. Den en er ved bruk av OPC-UA protokollen og den andre metoden er ved bruk av en Modbus.

Til slutt kommer oppgaven med forslag til metoder for å sette grenseverdier i programvaren.

Summary

In 2016, TrønderEnergi took over the operation and maintenance responsibility of Bessaker wind farm. Following this, there has been uncertainty associated with the condition of one of the generator bearings in wind turbine 5. In this context a condition report carried out on behalf of TrønderEnergi Vind. The report shows that the grease in the generator bearing has a high Fe-content. A vibration measurement carried out by the same company also shows a number of high-frequency harmonic vibrations.

Being able to say something about the condition of generator bearings and rotor bearings is a general problem in the wind power industry. TrønderEnergi Vind was interested in testing equipment that could help say something about the condition of the rotor and generator bearings.

The aim of this bachelor thesis is to look at one of SKF's solutions for vibration monitoring in wind turbines. To get an overview of the current situation in the wind turbine, a Point of View analysis has been performed. Then the task looks at SKF's Multilog on-line IMx-8 system. The assignment will go through all the components of the system and show how the system should be set up for use.

To be able to see the result of the measurements, the @plitude Observer software is used. The assignment will show how the software is set up with measurement in different frequency ranges and the use of the measurement technique Envelope.

Two methods for data transfer of trend data and alarm lists to TrønderEnergi Vind's ERP program are presented. One is using the OPC-UA protocol and the other method is using a Modbus.

Finally, the thesis comes with suggestions for methods for setting limit values in the software.

Forord

Denne oppgaven er utarbeidet av Emil Meland og Mats Erik Haugan, som avsluttende del av drift og vedlikehold studiet ved NTNU. Hensikten med oppgaven er å avdekke hvordan et vibrasjonsmonitoreringssystem kan bidra til å oppdage degradering i generatorlager og rotorlager i vindturbiner. Oppgaven ble foreslått til oss av vår veileder Viggo Pedersen, høsten 2020. Av det vi har lært om vibrasjon under studiet, syntes vi begge at vibrasjon var et spennende tema, noe som gjorde valget enkelt for oss.

Før vi startet på bachelorstudiet i 2018, hadde begge jobbet flere år i industrien. Motivasjonen for videreutdanning var ønsket om å lære og å utvikle seg selv, noe vi føler vi har gjort de siste tre årene.

I løpet av tiden vi jobbet med bachelorprosjektet har vi fått prøvd oss på å montere sensorer og medfølgende utstyr, samt å sitte mye med selve analyseprogrammet. Vi har fått erfart hvor mye kunnskap som kreves for å analysere en mengde vibrasjonsdata, men ved hjelp av litteraturstudiet og veiledning av SKF ble oppgaven gjennomførbar.

Vi ønsker å rette en stor takk til Erik Solberg og Tore Bergman i SKF for en uvurderlig støtte gjennom hele prosjektet. Ønsker også takke Morten Nilsen fra SKF og Jan Olav Reistad fra Trønder Energi Vind, som gjorde at oppgaven ble en mulighet. Til slutt må vi takke vår veileder Viggo G. Pedersen, som ikke bare har loset oss trygt gjennom dette prosjektet, men også gjennom våre 2 år på drift og vedlikehold.

Trondheim 19.05.2021

Emil Meland

Mats Erik Haugan

Innholdsfortegnelse

.....	II
Sammendrag	III
Summary	IV
Forord.....	V
Figurliste	IX
Begrep brukt i oppgaven:.....	XI
1. Innledning	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Problemdefinisjon	2
1.3 Resultatmål	2
1.4 Begrensninger	2
1.5 Effektmål.....	3
1.6 Interesseanalyse	3
2. Teori brukt i oppgaveløsning	4
2.1 Vedlikeholdsstrategi	4
2.2 ERP/CMMS	6
2.3 Grunnleggende om vibrasjon	8
2.4 Spektrum	8
2.5 Hva er grunnfrekvens.....	10
2.6 Envelope	11
2.7 Forvarslingstid ved degradering	12
2.8 Sensorer brukt til vibrasjonsmåling	12
2.9 Akseptable vibrasjonsnivå og grenseverdier	14
2.10 De mest vanlige feilene på roterende maskineri	15
2.11 Lagerskader.....	16
2.11.1 Lagerskade sett i sammenheng med vibrasjon.....	18

2.11.2 Feilfrekvenser fra rullende lager	20
2.12 Kommunikasjonsmetoder for industrielt utstyr	22
3. Metode	24
3.1 Opplæring gjennom Teamsmøter	24
3.2 Litteraturstudie	24
3.3 Dokumentgjennomgang	25
3.4 Intervjuer	25
3.5 Labforsøk	25
3.6 Kildekritikk og svakheter ved metodene	26
4. Resultater	27
4.1 Ståstedsanalyse	27
4.1.1 Beskrivelse av Bessaker vindpark	27
4.1.2 Beskrivelse av turbin.....	27
4.1.3 Vedlikeholdsstrategi	29
4.1.4 Feilhistorikk	29
4.1.5 Tidligere tilstandsanalyser	30
4.1.6 Greaseprøve analyse	30
4.1.7 Vibrasjonsanalyse	33
4.1.8 Oppsummering ståstedsanalyse	34
4.2 Vurdering av funksjonalitet og brukervennlighet av IMx og Observer.....	34
4.2.1 Oppsett av IMx systemet	35
4.2.2 Forklaring og installasjon av IMx-8 systemet	35
4.2.3 Oppsett av SKF @plitude Observer.....	39
4.2.4 Validering av frekvenser	41
4.2.5 Oppsummering av oppsett	43
4.3 Metode for datafangst fra Observer til IFS –	43
4.4 Forslag til metode for å sette grenseverdier for vibrasjonsnivå.	44

4.4.1	Automatiske grenseverdier	44
4.4.2	Manuelt satt grenseverdier	46
5.	Diskusjon	47
5.1	Diskusjon og vurdering av ståstedsanalyse resultatmål 1 - ståstedsanalyse	47
5.2	Vurdering av funksjonalitet og brukervennlighet av IMx-8 og @ptitude Observer.....	48
5.2.1	Montering av IMx-8 systemet.....	48
5.2.2	Bruk av systemet.....	48
5.3	Diskusjon rundt datafangst samling til ERP	49
5.4	Diskusjon av metodikk for setting av grenseverdier i lager.	50
5.4.1	Automatisk	50
5.4.2	Manuell	50
6.	Konklusjon.....	52
6.1	Konklusjon på Resultatmål 1	52
6.2	Konklusjon på Resultatmål 3	52
6.3	Konklusjon på Resultatmål 4	53
6.4	Konklusjon på Resultatmål 5	53
7.	Referanseliste.....	54
	References.....	54

Figurligste

Figur 1: Interesseanalyse.....	3
Figur 2: Vedlikeholdssløyfen.....	5
Figur 3:ERP system (Actech, u.d.)	6
Figur 4: sammenhengen mellom måleparameter (Mobius Institute , 2016)	8
Figur 6: time waveform bilde i @ptitude tude Observer	9
Figur 7: spektrum bilde i @ptitude Observer	9
Figur 5: Time waveform til spektrum (nti-aduio, ukjent).....	10
Figur 8: visualisering av Envelope signal (Siegel, 2009)	11
Figur 9: forvasling ved forskjellige paramter (aerzen, ukjent)	12
Figur 10:Faktorer for å holde et lager i gang (Mobius Institute , 2016).	16
Figur 11: Hyppigste årsaker til lagersvikt (SKF).....	17
Figur 12: Fire faser av lagerskade (Mobius Institute , 2016).....	18
Figur 13: Lageroppbygging med komponenter (Power-MI, 2021).	22
Figur 14:Fjernoperert enhets tilgang (med OPC UA) som et felles skjæringspunkt mellom M2M, IoT og industri 4.0 (OPC foundation, 2021).....	23
Figur 15: Oppbygning turbinblad og generator. Piler viser lagerplassering (enercon, 2021) .	28
Figur 16: Advarsel og- alarmnivåer (WTG partners)	30
Figur 17: Fe-målinger i rotorlager (WTG Partners)	31
Figur 18:Fe-målinger i generatorlageret (WTG Partners)	31
Figur 19: Metallspon fra E05 (WTG Partners)	32
Figur 20: Fukt i rotorlager.....	32
Figur 21: Fukt i generatorlager	33
Figur 22: Måling fra sensor 1 montert radielt I rotorlager (WTG Partners)	34
Figur 23:Måling fra sensor 2 og 3 montert radielt og aksielt i generatorlager (WTG Partners)	34
Figur 24: IMx-8, (SKF, 2021).....	36
Figur 25: Sammenligning av IMx-8 og IMx-8 Plus (SKF, 2021)	36
Figur 26: CMSS WIND-100-10 Akselerometer (SKF, 2021)	37
Figur 27: Tilkoblingspunkt montert på rotor rig i RAMS lab. (Meland, 2020).....	38
Figur 28: STI TTL converter montert ved siden av IMx-8 enheten (Meland,2020)	38
Figur 29: Oversikt over IMx-8 oppsett i RAMS lab (SKF, Meland, 2020).....	39
Figur 30: Oppsett av OPC server i @ptitude Observer (SKF, 2019).	43

Figur 31: Viser hvilke innganger Modbusen kobles til IMx-8 (SKF, 2019).	44
Figur 32: Automatisk grenseverdi i trendbilde	45
Figur 33: Automatisk grenseverdi i et forstørret trendbilde	45
Figur 34: Manuell grenseverdi i trend bilde	46
Figur 35: manuell grenseverdi i trendbilde	46
Tabell 1	XI
Tabell 2: Resultatmål	2
Tabell 3: Posisjonsgivere monter i en vinkel på 90 grader. (STI Vibration monitoring Inc, 2020)	13
Tabell 4: Frekvensområder (Bye, 2009).	13
Tabell 5: Vanlige feil ved roterende maskiner (Bye, 2009).....	15
Tabell 6: Lagerinformasjon.....	28
Tabell 7: Utstørliste for montering av IMx-8 system.....	43

Begrep brukt i oppgaven:

O&M	Operations and Maintenance
TEV	TrønderEnergi Vind
L10	American Bearing Manufacturers Association's metode for å med 90% sannsynlighet beregne gjenværende levetid til et lager (oppgis i timer) (Uherek, 2021).
Peak to peak	Differansen fra en tilfeldig valgt bølgetopp til bølgebunn.
True peak to peak	Differansen fra den høyeste bølgetoppen til den laveste bølgebunnen i et bestemt intervall.
RPM	Rotasjoner per minutt
IMx-8 enhet	Selve IMx-8 enheten.
IMx-8 system	IMx-8 enheten med sensorer og programvare.
M2M	Maskin-til-maskin-kommunikasjon. Mobil datakommunikasjon mellom maskiner.
IoT	Tingenes internett. Fysiske enheter kommuniserer med hverandre og med internett (Øverby, 2020).
Industri 4.0	Beskriver den fjerde industrielle revolusjonen, en utvikling der internett smelter sammen med produksjon og produkter (Muth, 2015). IoT står sentralt i utviklingen av Industri 4.0

Tabell 1: Begrepsliste

1. Innledning

I dette kapitlet vil vi gi en innledning til oppgaven. Først skal vi si litt om bakgrunnen for oppgaven og deretter legge frem problemstilling, resultatmål og effektmål. Til slutt i kapitlet ser vi på de ulike interessentene i prosjektet og hvordan de bør holdes informert.

1.1 Bakgrunn

Sensommeren 2020 ble gruppen satt sammen og arbeidet med å se etter oppgave ble startet. Høsten 2020 begynte vi å kontakte bedrifter vi syntes virket relevante for en bacheloroppgave. Vi fikk etter hvert avslag fra en etter en. Flere begrunnet dette med Covid-19 situasjonen vi var inne i (2020). Vi begynte å frykte at det skulle bli vanskelig å finne en oppgave. Etter å ha fått avslag hos flere bedrifter mottok vi en mail fra vår veileder Viggo Pedersen, om en mulig oppgave med SKF og Trønder Energi Vind, heretter kalt TEV. Vi kontaktet umiddelbart hverandre og diskuterte om dette kunne være en aktuell oppgave for gruppa. Begge i gruppen synes dette virket som en svært interessant oppgave. Vi tok derfor kontakt med Viggo og avtalte et møte for å høre mer om oppgaven. Det ble et digitalt møte med TEV, SKF og Viggo. Der TEV la frem sine ønsker for en oppgave og SKF la frem hvilket utstyr de kunne levere som ville passe oppgaven. Etter møtet satt vi igjen med en positiv følelse om at alle involverte var engasjerte og ønsket å få til en oppgave.

Vi syntes temaet virket svært aktuelt for studieretningen vår, drift og vedlikehold. Gjennom faget vedlikehold og driftssikkerhet som vi hadde i 3. semester lærte vi om vibrasjonsmonitorering som tilstandskontrollmetode innenfor prediktivt vedlikehold. Prediktivt vedlikehold er et tema som går igjen i flere av fagene vi har vært igjennom, men også noe det blir mer og mer fokus på ute i industrien. Både av miljøhensyn og som et kostnadsbesparende tiltak.

1.2 Problemdefinisjon

Etter flere møter med TEV kom det frem at manglende informasjon om tilstand på generatorlager er et generelt problem i vindkraftindustrien. Informasjon om begynnende "degradering er av stor betydning for å kunne utføre optimalt vedlikehold. Vi formulerte ut ifra dette problemstillingen: Hvordan kan bruken av et vibrasjonsmonitoreringssystem bidra til å forutsi degradering og svikt på generatorlager.

1.3 Resultatmål

Vi kom frem til 5 resultatmål som skulle gjøre at vi kom i mål med oppgaven. Vi presenterte målene for veilederen vår på NTNU innen drift og vedlikehold

Resultatmål	
1	Utføre en ståstedsanalyse for å finne tilstand på generator og rotorlager i en Enercon E-70 E4 vindturbin plassert på Bessakerfjellet.
2	Beskrive generell teori rundt vibrasjon, lagerskader og restlevetid.
3	Vurdering av funksjonalitet og brukervennlighet IMx-8 systemet i sammenheng med tilhørende programvare @ptitude Observer.
4	Komme med forslag til metodikk for datafangst fra @aptitude Observer programvaren til bedriftens ERP-system.
5	Komme med forslag til metodikk for å sette grenseverdier for feiltilstand i generator og rotorlager på aktuell turbin.

Tabell 2: Resultatmål

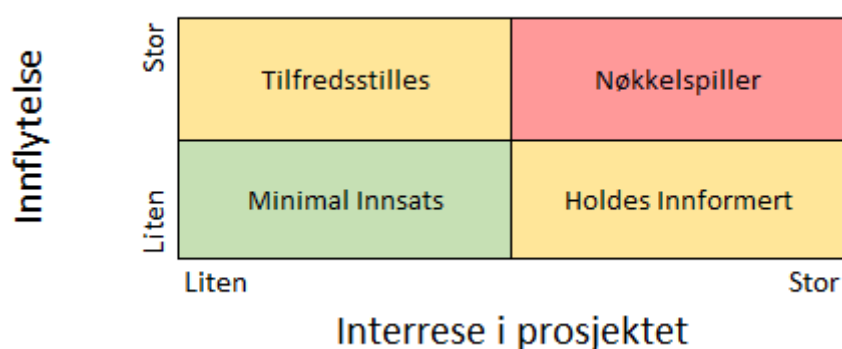
1.4 Begrensninger

Det har under denne oppgaven vært noen begrensninger som har påvirket resultatet av oppgaven. En begrensning skyldes Covid-19. Pandemien gjorde at det ikke var forsvarlig for bachelorgruppen å bli med på monteringen av IMx-8 systemet oppe i vindturbinen. En annen begrensning var at gruppa ikke hadde noe erfaring med lignende utstyr fra andre leverandører. Dette hadde vært en fordel, slik at man kunne sammenligne brukervennlighet og funksjonalitet i resultatmål 3.

1.5 Effektmål

Vi i gruppa har som effektmål å øke vår kompetanse rundt prediktivt vedlikehold ved bruk av vibrasjonssensorer og SKF sitt IMx 8 system. Hovedfokuset vil være å lære tilstrekkelig om vibrasjonsanalyse, til at vi kan forstå ulike metoder for å sette grenseverdier som varsler når vibrasjonen gir indikasjon på degradering. Vi ønsker å bidra til at TrønderEnergi Vind senere kan optimalisere vedlikeholdet på sine vindturbiner. Vi har også et mål om at vi skal bli enda bedre til å jobbe i grupper, og bli mer vant til å jobbe på prosjekter.

1.6 Interesseanalyse



Interessent	Kontaktperson	Rolle	Kategori
Trønder Energi Vind	Jan Olav Reistad	Vedlikeholdssjef	Nøkkelspiller
SKF	Morten Nilsen	Performance Manager	Holdes Informert
SKF	Erik Solberg	System Engineer	Holdes Informert
NTNU	Viggo G. Pedersen	Veileder	Nøkkelspiller

Figur 1: Interesseanalyse

Jan Olav fra TEV er identifisert som en nøkkelspiller for prosjektet vårt. Oppgaven baserer seg på deres turbiner og det er TEV som til slutt er interessert i funnene fra oppgaven vår. Det medfører at vi ønsker å oppdatere TEV for hver fase i prosjektet. Tilbakemeldinger fra TEV vil også hjelpe oss å styre oppgaven i riktig retning underveis.

Morten Nilsen og Erik Solberg fra SKF er identifisert som interessenter som bør holdes informert. SKF har en viss innflytelse, men ikke i den grad TEV har. SKF er en interessent i

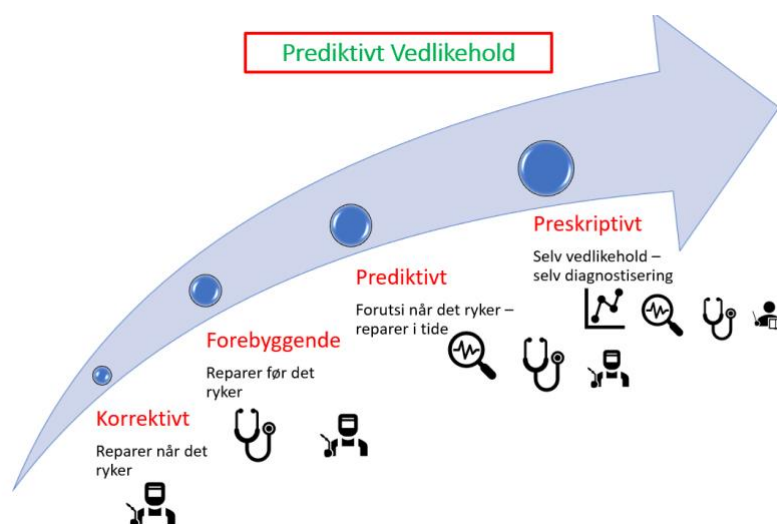
form av de har et ønske om å etablere seg som en leverandør av tilstandskontrollsystemer. For oss er de også en viktig kilde til kunnskap og kompetanse.

Viggo G. Pedersen er vår veileder ved NTNU. Han er identifisert som en nøkkelspiller for oppgaven vår. Viggo vil ha stor interesse av gjennomføringen av prosjektet. Vi er avhengig av jevnlig samtaler med Viggo som veileder og bruke han som en ekstern sparringspartner for oss i gruppa. Som ansatt ved NTNU har Viggo innflytelsen på prosjektet vårt og kan påvirke arbeidet vårt. Han styrer også tilgangen til RAMS-labben. Hvor bachelorgruppen planlegger å teste IMx-8 systemet.

2. Teori brukt i oppgaveløsning

I dette kapitlet skal vi se på teori brukt i oppgaven. Vi vil også forklare teknikker og teorier som blir brukt i SKF sitt analysesystem, @ptitude Observer. Dette skal bidra til å bedre kunne forstå resultatene i kapittel 6, samt som et svar på resultatmål 2 i oppgaven, som går ut på å beskrive teori rundt vibrasjon, lagerskade og restlevetid.

2.1 Vedlikeholdsstrategi



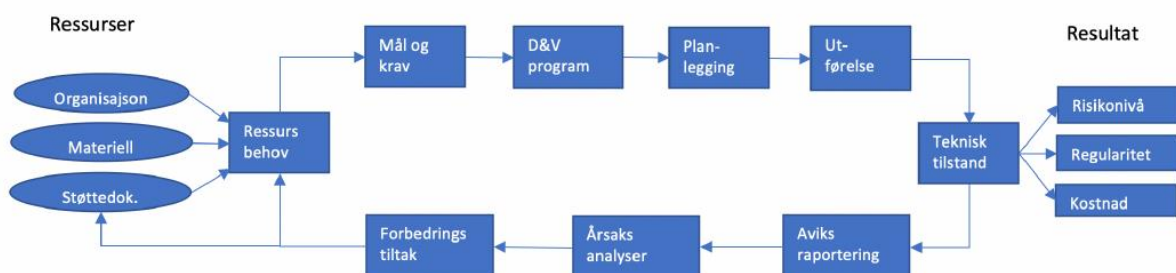
Figur 2: Utvikling av Vedlikeholdsstrategi (Pedersen, 2021)

I lengre tid har normen for vedlikehold i industrien vært basert på korrektivt eller preventivt vedlikehold, basert på anbefalinger fra leverandør. Korrektivt vedlikehold utføres gjerne på utstyr som har billige komponenter, er lett tilgjengelig og sjeldent påfører dyre driftstanser.

Har man maskiner med dyrt utstyr og som er kritisk for produksjon, utfører man vedlikehold basert på tidsintervaller eller brukstimer. Ved tidsbasert vedlikehold viser det seg ofte at utstyret er i god teknisk stand å kunne mulig vart et år til, men på grunn av at det ikke kan vites med sikkerhet, byttes delene selv om det kanskje ikke er behov.

Prediktivt vedlikehold er nå man prøver å forutsi når feilen intreffer. Til å forutse når en komponent feiler, er man avhengig av sensorer som samler store mengder data. Denne dataen alene sier ikke stort, men med et sammenligningsgrunnlag, som for eksempel data fra leverandør eller data fra da komponenten var ny og uten degradering. Man kan også bruke historiske data fra når komponenten har feilet før, til å si noe om når den kan feile igjen.

For å være konkurransedyktige i dagens industri ønsker flere bedrifter å legge om strategien til mer tilstandsbasert vedlikehold, men her er det fallgruver bedriftene må se opp for. Selv om sensorer og utstyr har gått betydelig ned i pris de siste årene, er det fortsatt et behov for kompetanse innen prediktivt vedlikehold og tilstandskontroll. Det er flere eksempler på hvordan tilstandsbasert vedlikehold, har gitt større kostnader på vedlikeholdssiden. Dette skyldes ofte analysefeil som fører til et for hyppige, eller for sjeldent vedlikehold.



Figur 3: Vedlikeholdssløyfen (Bye, 2009)

Ved å bruke vedlikeholdsstyringsløyfa, kan man kartlegge hva som kreves for å implementere tilstandsbasert vedlikehold i en bedrift. Sløyfen går i sirkel og baserer seg på kontinuerlig forbedring. Oppstår det et brudd i sløyfa, har man ikke lengre vedlikeholdsstyring.

Man definerer hvilket ressursbehov bedriften har ved å implementere tilstandskontroll. For eksempel kompetanse innad i bedriften eller dokumentasjon på eksisterende utstyr. Videre defineres tydelige mål som må være forankret i alle ledd i bedriften, samt å definere målbare suksesskriterier og spesifikke suksessfaktorer.

I et tilfelle der det er tatt et valg om tilstandsbasert vedlikehold, må man fremdeles definere hvilke parameter som skal måles og på hvilket utstyr det skal måles på. Når dette er definert, må man planlegge utførelsen. Driften må kanskje stanses under montering av utstyr, slik at man tar det i perioder hvor bedriften taper minst ved en eventuell stans i produksjonen.

Etter hvert som det samles inn data fra sensorene, analyseres dette og man får en indikasjon på utstyrets tekniske tilstand. Ut ifra det tar man en avgjørelse om kritikaliteten av tilstanden. Dette skal bidra til å bestemme hvor ofte man skal utføre målinger og analyser, med tanke på hva som er kostnadsmessig forsvarlig.

Før sirkelen slutes må man rapportere avvik. Avviket kan være om målemetode eller funn i analysen. Deretter må man finne årsaken til hvorfor avviket oppsto og til slutt etablere tiltak for forbedring (Bye, 2009).

2.2 ERP/CMMS

ERP(Enterprise Resource Planning) og CMMS(Computerized Maintenance Management System) er elektroniske systemer som bidrar til kontroll og oversikt i en bedrift. I et ERP/CMMS program har man forskjellige moduler som tar for seg styringen av hele bedriften, alt fra salg til produksjon og vedlikehold. Vi har sett nærmere på modulene som er rettet mot drift og vedlikeholdaspektet av disse programmene.



Figur 4: ERP system (Actech, u.d.)

Utstysregister

I utstysregisteret har man oversikt over alt utstyr i et hvert system. Som regel definerer man systemet og gir det en «tag» som er et navn eller et nummer. Videre gir man alt utstyret i systemet «tager», som har en logisk sammenheng med systemet. Slik at man f.eks. ser hvilken pumpe som trenger vedlikehold ut ifra «tagen». (Bye, 2009)

Arbeidsordre (AO)

Når ansatte oppdager at pumpen med en gitt «tag» krever vedlikehold, lager man en arbeidsordre, hvor man spesifiserer så detaljert som mulig hva som er feil og hva som må gjøres. Det skrives også hvilket personell som trengs for å utføre jobben, samt en sikker jobbanalyse om det er nødvendig. Etter endt arbeidsordre skrives det en rapport som gjerne inneholder tidsbruk, hva som er gjort og hvilke deler som er brukt. (Bye, 2009)

Forebyggende vedlikehold (FV)

I FV modulen administrer man det forebyggende vedlikeholdet som ofte er tidsbasert. Her vil AO genereres automatisk og jobben som skal gjøres er allerede godt definert med tanke på verktøy og reservedeler som trengs. (Bye, 2009)

Innkjøp

Å ha reservedeler på lager koster penger og krever areal som bedriften kan bruke mer effektivt. I innkjøpsmodulen har man kontroll over hva som er på lager og hvor på lageret ting befinner seg. Her kan man også legge inn alarmer som trigges når en spesiell del mangler på lager, eller når beholdningen går under et hvis antall. I sammenheng med analysemodulen, kan man se hvilke deler det lønner seg å ha på lager og hvilke deler det lønner seg å bestille først når det er behov. (Bye, 2009)

Dokumentasjon

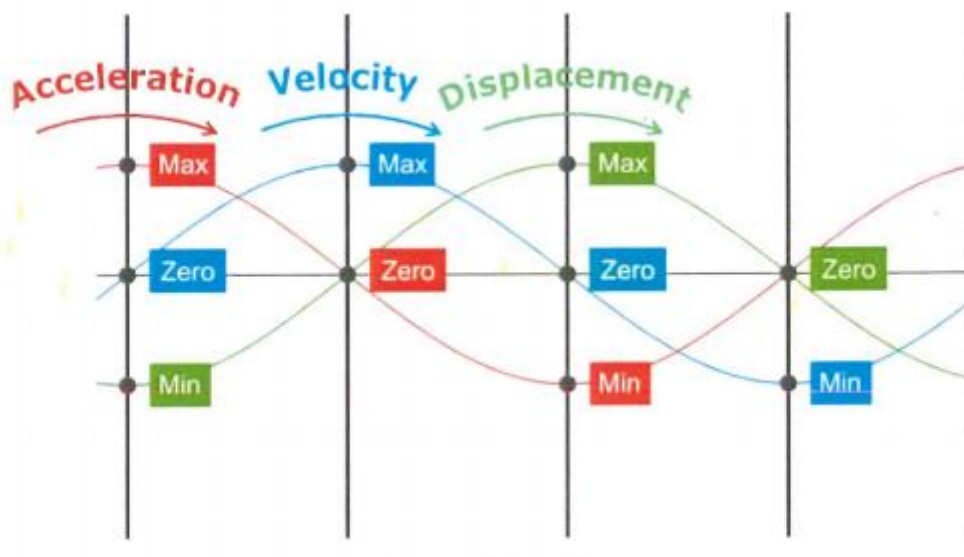
Dokumentasjonsmodulen bidrar til effektiv tilgang til info om utstyret i bedriften. Enten om det er teknisk spesifisering på en pumpe, eller vedlikeholdsmanualer for opplæring og kvalitetssikring av AO. (Bye, 2009)

Analyse

Til slutt kommer analysemodulen, hvor man kan behandle data fra de tidligere modulene. Den gjør det lettere å se årsaker til svikt, tilgjengelighet, mean down time, mean waiting time, mean time to failure og andre parameter som forteller hvor effektiv drift og vedlikeholdet er (Bye, 2009).

2.3 Grunnleggende om vibrasjon

Vibrasjon defineres som hurtige og periodiske bevegelser og svingninger (Støvneng, 2021). Vibrasjon opptrer i alt av maskiner og hvis man analyserer vibrasjonene kan man si mye om maskinen sin tilstand. For å måle vibrasjon er det flere typer sensorer å velge mellom og som vil fungerer bra på hvert sitt frekvensområde. Noen sensorer måler displacement, altså hvor mye bevegelse det er i lageret. Slike sensorer fungerer best på systemer med lav rotasjonshastighet. De to andre typene måler akselerasjon og hastighet på bevegelsene. Hastighet viser et detaljert bilde over store deler av frekvensbilde. Akselerasjon viser mest detaljer på det høyfrekvente bilde. Alle disse parameterne henger sammen matematisk. Akselerasjon gir utslag først, deretter kommer hastighet som er 90 grader faseforskjøvet i forhold til akselerasjon og til slutt forflyttelse som igjen er 90 grader forskjøvet fra hastighet (Mobius Institute , 2016).

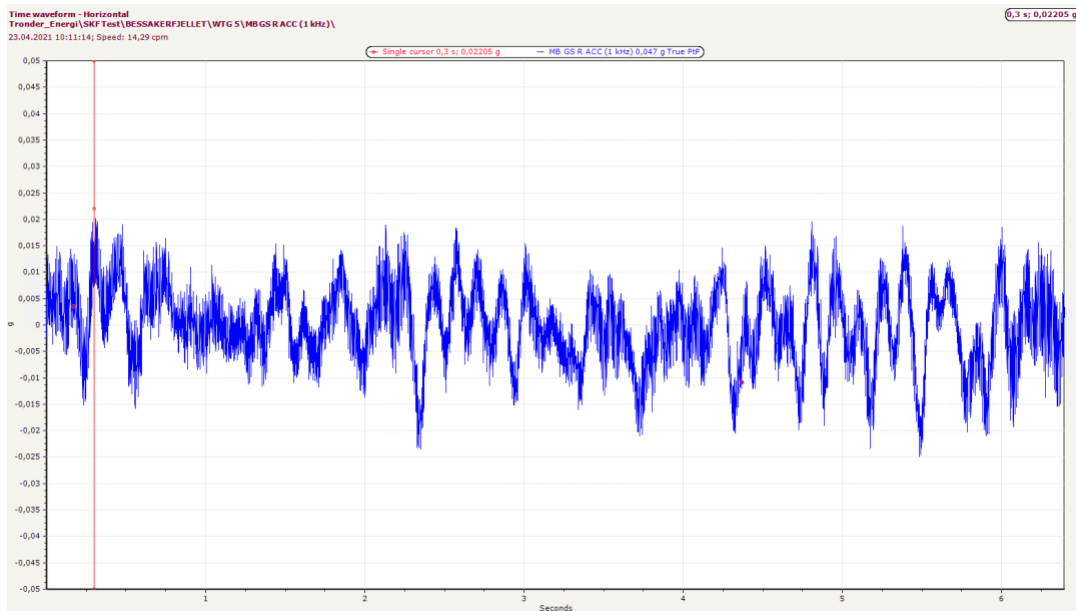


Figur 5: Sammenhengen mellom måleparameter (Mobius Institute , 2016)

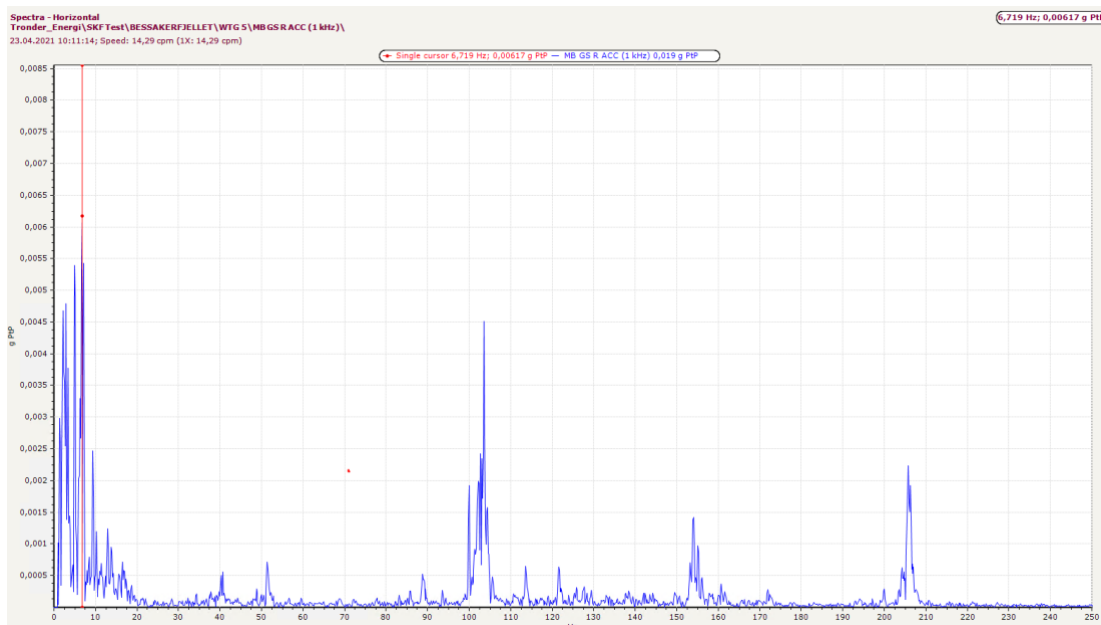
2.4 Spektrum

Rådata fra en vibrasjonssensor gir en kurve i Time waveform. Som viser amplitude(g) på y-aksen og tid(t) på x-aksen. I time waveform ser man det sammensatte vibrasjonsbilde av

komponentene i maskinen. Ut ifra dette kan det være vanskelig å si noe om lager og enkeltkomponenters tilstand, men metoden er godt egnet til å vise skjevheter, kast og rubbing i roterende maskiner. Figur 6 viser skjermdump fra @ptitude Observer tatt i time waveform.



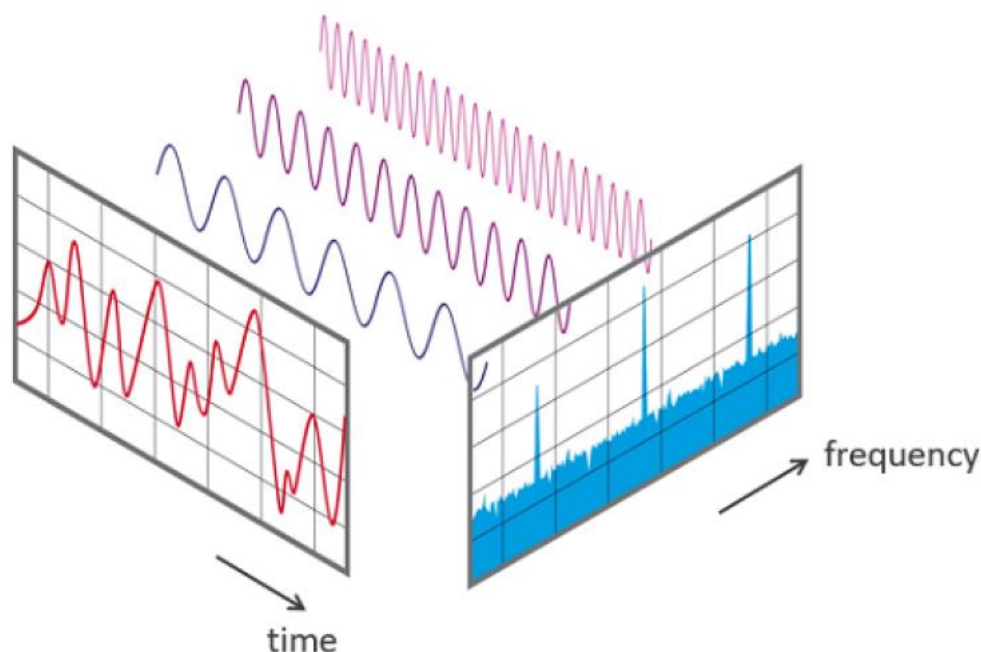
Figur 6: Time waveform bilde i @ptitude Observer



Figur 7: Spektrum bilde i @ptitude Observer

Ved å utføre en Fast Fourier Transformasjon (FFT) på signalet vil koordinatsystemet endres slik at vi nå ser signalet i den retningen vibrasjonsbølgen beveget seg før FFT. I dette koordinatsystem (figur 7) er fortsatt amplituden på y-aksen, men vi har fått frekvenser på x-

aksen. Og vi kan nå se frekvensen hver komponent i maskinen avgir (Mobius Institute , 2016).



Figur 8: Time waveform til spektrum (nti-advio, ukjent)

I @plitude Observer ligger det en stor database med forskjellige lager og komponenter. Ved å velge ut komponenter eller ved å legge inn med spesifikasjoner fra leverandør, kan hver frekvens spores til hver komponent. Amplituden sier noe om hvor mye vibrasjon komponentene avgir, der høyere amplitude betyr større skade.

2.5 Hva er grunnfrekvens

Grunnfrekvensen eller turtallsfrekvensen er et sentralt begrep innen vibrasjonsanalyse. Denne frekvensen er som regel identisk med turtallet delt på 60. Det vil si at dersom en motor har et turtall (n) = 1500 RPM vil grunnfrekvensen være $\frac{1500 \text{ Rpm}}{60 \text{ sekund}} = 25 \text{ Hz}$.

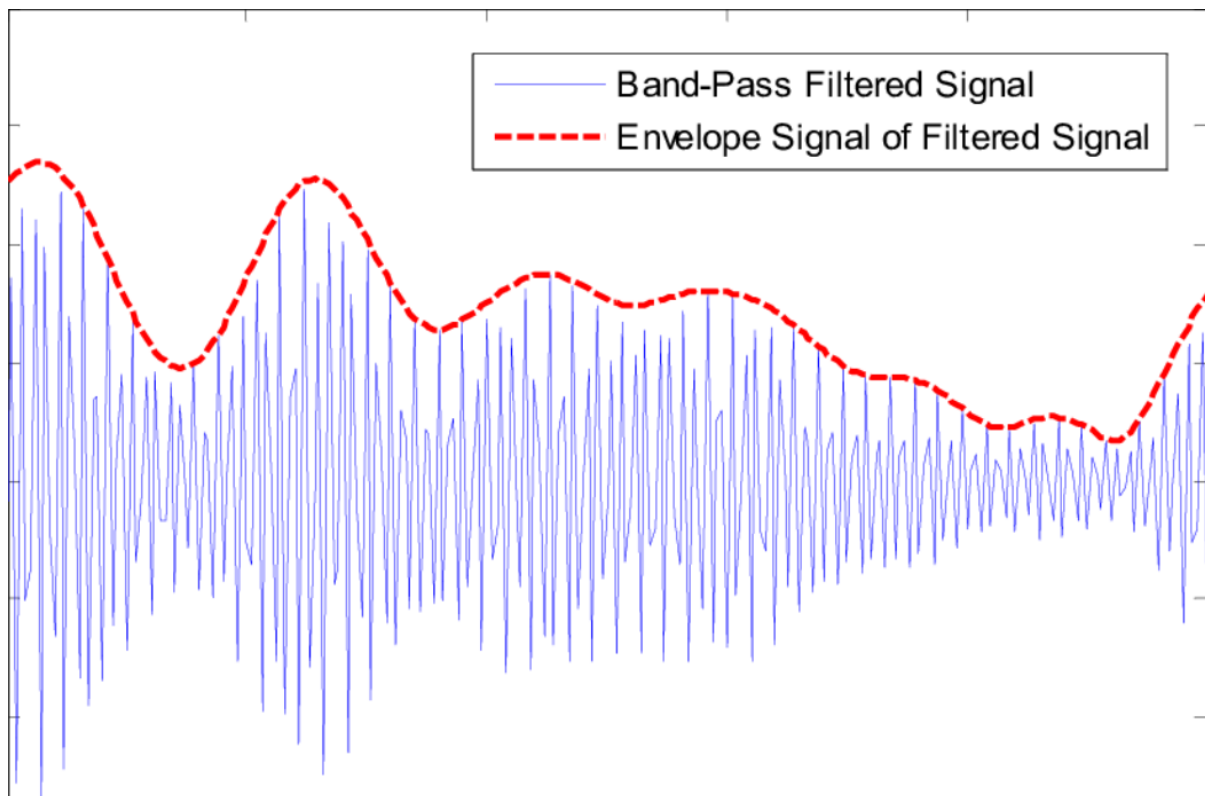
Det er viktig å vite grunnfrekvensen for å kunne identifiser mange typer feil, som blant annet ubalanse, opprettingsfeil og lagerskader. Ved disse feilene oppstår det frekvenser som er et antall ganger grunnfrekvensen. Frekvenser som er helt tall ganger grunnfrekvensen kalles harmoniske frekvenser. Grunnfrekvensen betegnes med 1 x n og det dobbelte av grunnfrekvensen omtales med 2 x n. Dette gjelder også videre med 3 x n, 4 x n osv.

Man kan også ha subharmoniske svingninger som er frekvenser mindre enn grunnfrekvens. Det kan for eksempel være $1/2 \times n$ eller $1/3 \times n$ (Bye, 2009).

2.6 Envelope

Ved lagerskader og degradering avgir lageret en støtpuls hver gang lageret ruller over skaden. For å oppdage signalene gitt av støtpulsen bruker SKF en metode som kalles *Acceleration Envelope*. Der måler man true Peak to Peak, som betyr at den bruker det laveste punktet og høyeste punktet på grafen i den gitte måleperioden. Det filtreres også ut lavfrekvent støy og gjør repetitive støtpulser som er relatert til lagerskader mer synlig. Videre går signalene gjennom en Fast Fourier Transformasjon, slik at signalbilde går fra amplitude og tidsspektrum, til amplitude og frekvensspektrum. Dette gir en bedre oversikt over vibrasjonene som lageret utsettes for og hvor de kommer fra.

På bilde under kan man se at envelopesignalet følger ytterpunktet på amplitudegrafene (Mobius Institute , 2016).

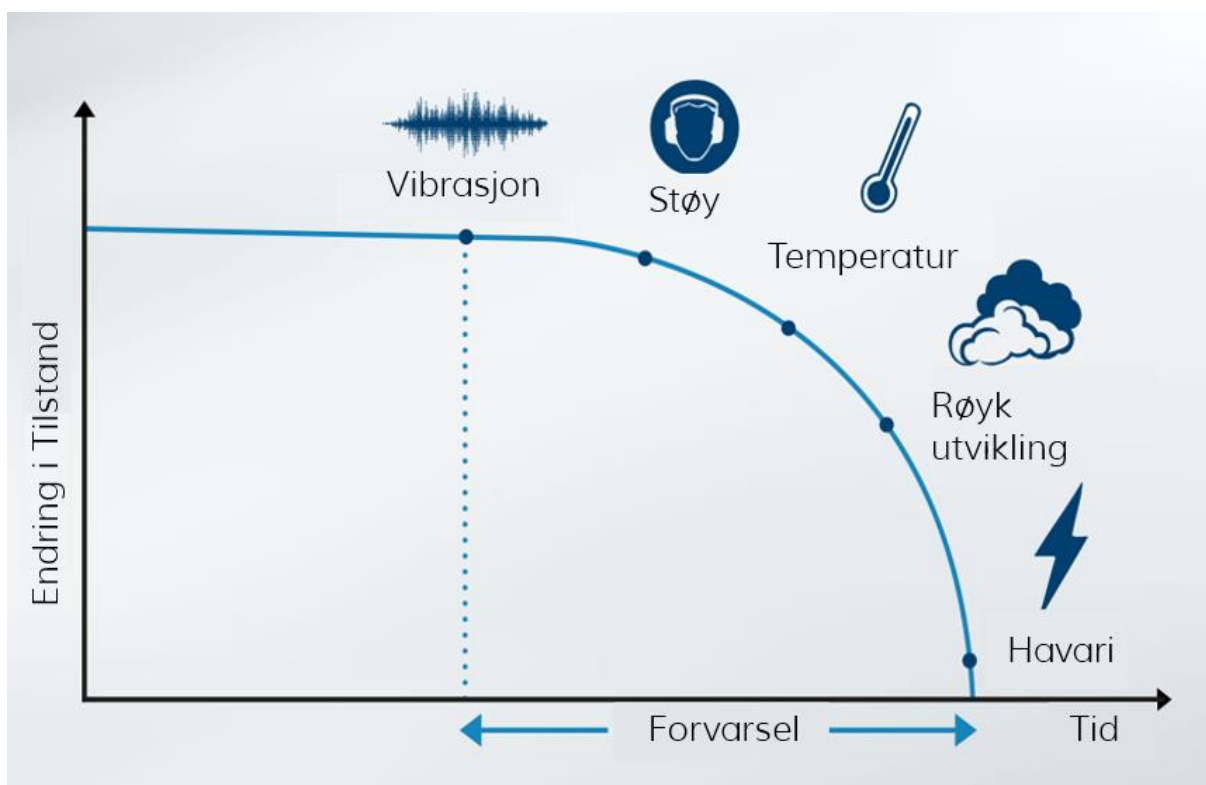


Figur 9: Visualisering av Envelope signal (Siegel, 2009)

2.7 Forvarslingstid ved degradering

For å si noe om tilstanden på et maskineri er det ofte flere parameter man kan måle. Parameter som røykutvikling og støy er noe som teknikere kan merke ved en visuell inspeksjon. Bruker man et termokamera kan man også kontrollere varmeutviklingen. Problemet med disse er at i det man oppdager endring i støy eller røykutviklingen, har skaden allerede skjedd.

Ved å bruke vibrasjonssensorer kan man oppdage feilmoder i et vesentlig tidligere stadium enn ved andre metoder. Siden flere feilmoder kan detekteres av vibrasjonssensorer, kan man i et tidligere tidspunkt si noe om hva som er årsaken og alvorlighetsgrad. Utfordringene med vibrasjonssanalyse er at det ofte krever personell med spisskompetanse innen vibrasjon (Bye, 2009).

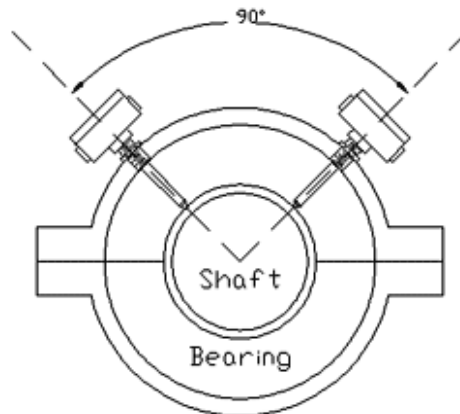


Figur 10: Forvarsling ved forskjellige paramter (aerzen, ukjent)

2.8 Sensorer brukt til vibrasjonsmåling

De mest benyttede sensorene for å måle vibrasjon er i dag akselerometer og posisjonsgivere. Posisjonsgivere også kalt prober blir montert i lagerhuset. Disse ligger å føler mot akselen,

uten å berøre den. Denne måler til enhver tid avstanden til akselen. Dersom man har montert 2 prober i 90 ° vinkel vil man kunne få se orbiten til akselen.



Tabell 3: Posisjonsgivere monter i en vinkel på 90 grader. (STI Vibration monitoring Inc, 2020)

Den mest benyttede føler typen for plassering utenpå godset er akselerometer. Det mest vanlige akselerometer består av et piezoelektriske element som har en masse festet til seg. Det piezoelektriske elementet har den egenskapen at det gir ut en ladning som er proporsjonal med kraften den blir påsatt. For en bestemt masse er denne kraften proporsjonal med akselerasjon (Bye, 2009).

Akselerometer festes til lagerhuset og akselerasjon vil gi en kraft på det piezoelektriske skiven slik at en ladning vil bli sendt til måleinstrumentet. Målområdet til akselerometeret varierer etter type, men ligger ofte i området mellom 0 og 15 000 Hz (Bye, 2009).

Støy kan påvirke målingen som blir gjort med akselerometeret. Støy og dårlige målinger kan forårsakes av:

- Temperatursvingninger.
- Ledninger som beveger seg mye.
- For lange ledninger.
- Dårlige kontakter.

Ved hjelp av filtrering kan forskjellige frekvenser innenfor akselerometerets målområde registreres (Bye, 2009). Frekvensene defineres slik:

Lavfrekvent:	0 – 1000 Hz
Høyfrekvent:	1000 – 10 000 Hz
Ultrasonisk:	> - 20 000 Hz

Tabell 4: Frekvensområder (Bye, 2009).

2.9 Akseptable vibrasjonsnivå og grenseverdier

Ved å sette en grense for hva som er innenfor normalen av vibrasjon vil man kunne få varsel i tide og dermed lettere kunne unngå en svikt. Slike grenser kalles grenseverdier. Det er ikke mulig å sette en perfekt grenseverdi, som hvis overskredet vil resultere i øyeblikkelig svikt. En slik grense vil kunne indikere at en feil er under utvikling. Som en tommelfingerregel kan man si at dersom vibrasjon øker med mer enn det dobbelte av det normale har man en skade.

Det finnes også standarder, som for eksempel ISO 10816, som er utviklet på bakgrunn av erfaringsmessige grenser for tillatt vibrasjon. Disse bygger på gjennomsnittstall fra mange maskiner. ISO 10816 deler turbinen i 4 komponenter

- Nacelle og tårn
- Rotor med lager
- Gir med lager
- Generator med lager

Her definerer standarden en samlet vibrasjonsgrense for hver oppdeling, ikke lagrene i seg selv.

En annen standard er VDI 3834 - vibrasjons- og evalueringsstandard for vindkraftverk.. Denne er utarbeidet av Association of German Engineers, Verein Deutscher Ingenieure (VDI), i samarbeid med produsenter som PRUEFTECHNIK Condition Monitoring og Ludeca's (Ludeca, 2021).

I virkeligheten ser man at vibrasjonsnivåene kan variere mye fra maskin til maskin. Så dersom man i tillegg setter grenseverdier ut anbefalinger fra maskinleverandør og egne erfaringer, vil man kun kunne sette riktigere grenseverdier enn ved og kun sette ut fra standarder (Bye, 2009).

2.10 De mest vanlige feilene på roterende maskineri

I dette kapitlet ser vi på de mest vanlige feilene på roterende maskineri som kan identifiseres ved hjelp av vibrasjonsanalyser som tilstandskontrollmetode. Deretter sees det på de hyppigste grunnene til lagersvik.

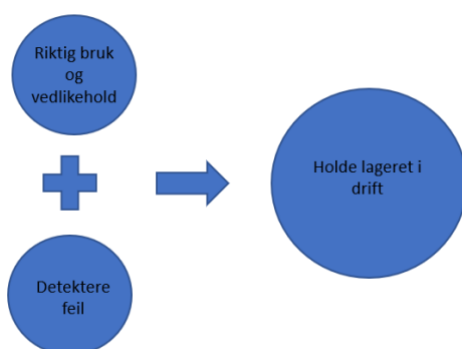
Feiltype	Målemetode	Totalnivå	Frekvenskomponenter	Orbit
Ubalanse	Lagerhus. Eller akselvibrasjon	Kraftig økning	1 x n	
Bøyd aksel	Lagerhus. Eller akselvibrasjon	Kraftig økning	1 x n	
Opprettingsfeil	Lagerhus. Eller akselvibrasjon	En viss økning	1 x n, 2 x n, (3 x n), (4 x n)	
Berøring	Lagerhus. Eller akselvibrasjon	Ingen vesentlig økning	Subharmoniske n/2, n/3, n/4	
Slitasje/glidelager	Akselvibrasjon	Økning	Vanligvis 1 x n	
Løse bolter	Lagerhusvibrasjon	Økning	Som regel 1 x n. Ofte mange overharmoniske	
Kavitasjon	Lagerhusvibrasjon	Ingen vesentlig økning	Skoveltall x n og høyere	
Skader i rullelager	Lagerhusvibrasjon	Ingen vesentlig økning	Diverse resonansfrekvenser fra ca. 500Hz til ca. 30 kHz	
Skader på tannhjul	Lagerhusvibrasjon	Ingen vesentlig økning	Tanninnfrekvenser og høyere ordener av denne	

Tabell 5: Vanlige feil ved roterende maskiner (Bye, 2009).

2.11 Lagerskader

Hvis et lager har riktig spesifikasjon, transport, lagring, installasjon, smøring og operasjon, skal det vare i lang tid. Dessverre er det slik at en eller flere av disse faktorene ofte spiller inn på lagerets levetid. Dette gjør at mindre enn 10% av lager oppnår den levetiden de er designet for (Mobius Institute , 2016).

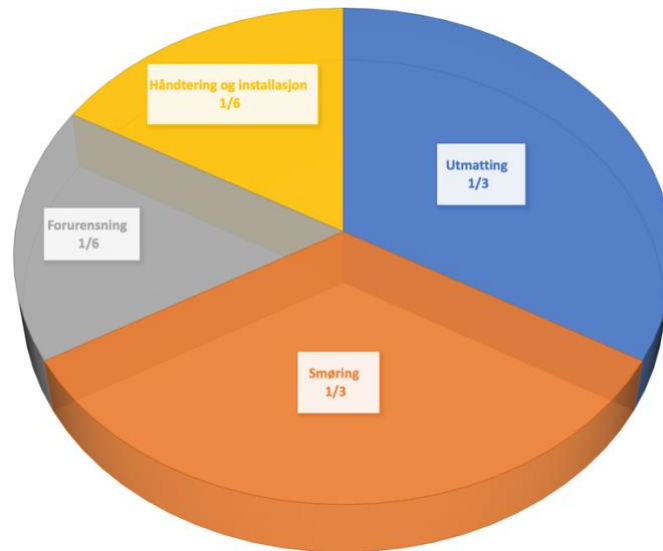
Det er hovedsakelig to måter å forhindre problemer knyttet til lager på; 1. Ta vare på lageret best mulig og 2. monitorere lageret for å kunne si noe om tilstand og ut i fra det utføre de riktige handlingene før det svikter.



Figur 11: Faktorer for å holde et lager i gang (Mobius Institute , 2016).

Som nevnt tidligere kan det være mange grunner til lagersvikt. Det finnes flere statistikker på lagersvikt, men denne oppgaven benytter SKF sin statistikk. Det er sett på flere statistikker fra ulike leverandører, men de fleste opererer med relativt like feilmekanismer og lik hyppighet.

Vi vil nå se på de mest hyppige grunnene til lagersvikt. Diagrammer viser årsakene til lagersvikt, der større «kakestykke» indikerer større andel av skadene (Mobius Institute, SKF, 2016).



Figur 12: Hyppigste årsaker til lagersvikt (SKF)

Utmatting: 1/3

1/3 av skadene skyldes utmattelse av lageret. Under denne kategorien ligger lager som har hatt ideelt design, installasjon, smøring og ingen forurensning. Disse vil vare lenge, men til slutt slites ut. Utmattelsen kan også skyldes last som overstiger det lageret er designet for. Skjevfordeling av belastningen på lageret vil også være med på å akselerere utmattingen. Kun 10 % økning i den skjevfordelte belastningen reduserer den beregnede levetiden til lageret med en tredel (Mobius Institute, 2016).

Smøring: 1/3

1/3 av skadene skyldes feil eller for dårlig smøring. Feil smøring kan være at det brukes feil type smøremiddel til det miljøet, temperaturen eller hastighet lageret blir utsatt for. Dårlig smøring kan typisk være for mye eller for lite smøremiddel i lageret (Mobius Institute, 2016).

Forurensning: 1/6

1/6 av skadene skyldes forurensning av lageret og smøremiddelet. Levetiden til lageret er beregnet ut ifra at lageret og smøringen ikke blir utsatt for forurensninger. Lager har ofte tetninger som skal beskytte mot forurensning av lageret. Dersom denne får en skade eller faller av vil lageret være åpent og dermed være lett mottagelig for ytre forurensninger. Skader på tetningen kan typisk oppstå dersom lageret er installert feil, eller dersom det blir vasket med en høytrykkspyler (Mobius Institute, 2016).

Håndtering og installasjon:1/6

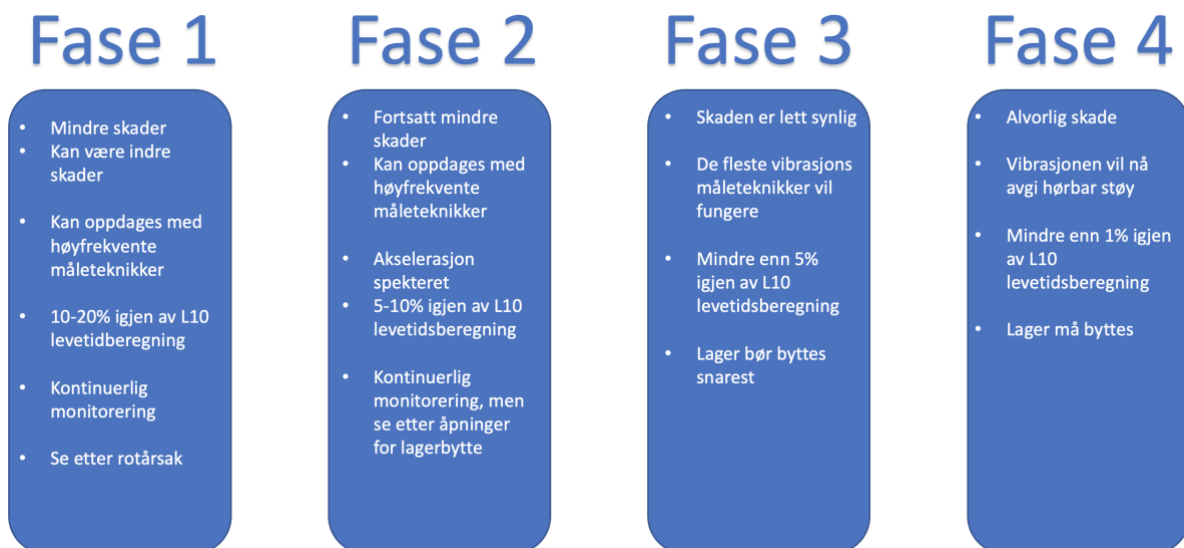
1/6 av skadene skyldes dårlig behandling av lageret eller feil installasjon. Denne kilden til svikt er trolig den det er enklest å unngå. Lageret kan få skader både før og etter installasjon, så riktig transport og oppbevaring er avgjørende for å oppnå full levetid. Under installasjon av lageret vil riktig verktøy og kunnskapen til installatøren være viktig for å unngå skader og feilmontering (Mobius Institute, 2016).

Det er tydelig at hvis et lager er riktig transportert, lagret, installert, har de riktige spesifikasjonene, operert riktig og får riktig smøring, vil det bidra til at lageret får et lengst mulig liv.

2.11.1 Lagerskade sett i sammenheng med vibrasjon

Vi vil her se på sammenhengen mellom en oppstått lagerskade og den vibrasjonen som blir avgitt som følge av skaden. Vi vil se på forskjellige stadier av skade og hvilke frekvenser disse skadene vil avgi.

Det bør først nevnes at fasene som nå blir beskrevet ikke alltid er faste og følger disse teoretiske punktene. Et lager kan også være i en av disse fasene i en lang periode uten å gå videre, men også gå igjennom flere faser svært raskt.



Figur 13: Fire faser av lagerskade (Mobius Institute , 2016).

Når lageret går gjennom disse fasene, vil det gi fra seg forskjellige indikatorer. Det betyr at det vil være forskjellige metoder for å detektere de forskjellige fasene på i et tidlig stadium, før skaden forverrer seg.

Før vi går nærmere inn på de forskjellige stadiene skal vi se på naturen av vibrasjon generert av de roterende delene i et rullende lager. Mobius Institute deler opp vibrasjon i fire komponenter. Det vil si fire faktorer som skaper vibrasjon i et rullende lager (Mobius Institute, 2016).

1. **Friksjon:** Det vil alltid være noe friksjon mellom rullende/glidende overflater i et lager, uavhengig av hvor godt lageret smøres. Dersom lageret av ulike årsaker får dårlig smøring (for mye, for lite, forurensninger mm.), vil friksjon i lageret få en høyere friksjon. Vibrasjonen som skapes av friksjon, er ikke-periodisk og skaper vibrasjon i et bredt frekvensområde.
2. **Stressbølger:** Så lenge det er metall mot metallkontakt vil det genereres svært høye frekvenser, det vil si pulser med kort varighet. Disse pulsene kan opptre i tilfeldig rekkefølge eller periodisk. Det kommer an på grunnen til metallkontakten.
3. **Periodisk vibrasjon:** Når en hendelse opptrer periodisk, med en tilstrekkelig amplitude til at det kan detekteres, vil amplituden kunne oppdages i tidsbildet og det vises en peak i spektrumet. Eksempel på slike vibrasjoner kan være ubalanse.
4. **Resonans:** Når overflater møtes og skaper et støt, vil det skapes en vibrasjon og strukturen, maskinen og akselerometeret (hvis montert) vil få en resonans (Mobius Institute, 2016).

Vi vil nå se på de fire stadiene av lagerskade vi nevnte tidligere i kapittelet og som vist i figur 13.

Fase 1

Denne fasen vil kunne oppdages med teknikker som kan måle svært høye frekvenser. Friksjon kan skape frekvenser på over 20 kHz i det tidligste stadiet, mens stress bølgene kan skape frekvenser i området mellom 1 kHz og 15 kHz. Disse frekvensene er så høye at tradisjonelle måleteknikker ikke vil kunne fange de opp. Man vil heller ikke kunne høre disse frekvensene fordi de er så høye. Disse skadene vil gjerne være skapt av friksjon eller mindre sammenstøt i lageret. Skaden vil kun være indre skader på metallet, som ikke synlig på overflaten.

Fase 2

I likhet med fase 1 er dette indre skader som er skapt av friksjon eller mindre støt i metallet. Det er fortsatt høye frekvenser, hvor amplituden vil fortsette å øke. Vibrasjonen begynner nå å bli stor nok til å gi fra seg en resonans. Envelope spektrumet vil kunne begynne å vise tegn til lagerskade, mens velocity spektrumet ikke viser tegn til skade.

Fase 3

I fase tre har skaden blitt signifikant og lageret kan i denne fasen når som helst bryte sammen. Amplituden til vibrasjonene som avgir de svært høye frekvensene vil fortsette å stige. Envelope vil effektivt bidra til å oppdage lagerskade i denne fasen. I denne fasen vil man se harmoniske signeringer på grunn støt og sidebånd grunnet syklisk endring av belastningen. Akselerasjonsspektrumet og velocityspektrumet vil nå også kunne vise «peaks» som indikerer lagerfeil.

Fase 4

I fase 4 er skaden blitt betydelig. En skade på en komponent i lageret kan nå være så stor at den skader andre komponenter i lageret. De svært høye frekvensvibrasjonene vil nå vise en nedadgående trend. Envelope vil fortsatt være effektiv, men etter en stund vil skaden være så stor at vibrasjonene fremstår mindre og mindre periodisk. Etter hvert som feilen fortsetter videre, vil feilfrekvensenes topper forsvinne og spektrumet vil ligne mer på mønstre man ser ved løshet. Dette skyldes at så mye metall er slitt vekk, at klaringene i lageret har blitt større. En person som står ved siden av lageret vil nå også kunne høre skaden i form av støy fra lageret (Mobius Institute , 2016).

2.11.2 Feilfrekvenser fra rullende lager

Nedenfor beskriver vi formlene som brukes til å regne ut frekvensene for lagerkomponenter. Formlene er hentet fra SKF sine nettsider.

$n = \text{antall kuler}$

$Bd = \text{diameter på ruller}$

$Pd = \text{diameter i kulesenter}$

$\emptyset = \text{angrepsvinkel} = 1 \text{ (på rullelager)}$

$RPM = \text{Revolutions per minute}$

Det er fire hovedfrekvenser som blir generert av et rullende lager. Disse er

1. Ballpasseringsfrekvens – Yttering (BPFO): Denne frekvensen vil skapes når en kule eller rull passerer et punkt på yttingen. Denne frekvensen vil korrespondere med antall kuler eller ruller i lageret. En periodisk puls av vibrasjon vil kunne sees.

Formelen for å regne ut frekvensen til yttering er:

$$BPFO = \left(\frac{n}{2}\right)\left(\frac{RPM}{60}\right)\left(1 - \left(\frac{Bd}{Pd}\right)(\cos \theta)\right)$$

2. Ballpasseringsfrekvens – Innerring (BPFI): Denne frekvensen vil skapes når en kule eller rull passerer et punkt på innerringen. En periodisk puls av vibrasjon vil kunne sees. Formelen for å regne ut frekvensen til innerring er:

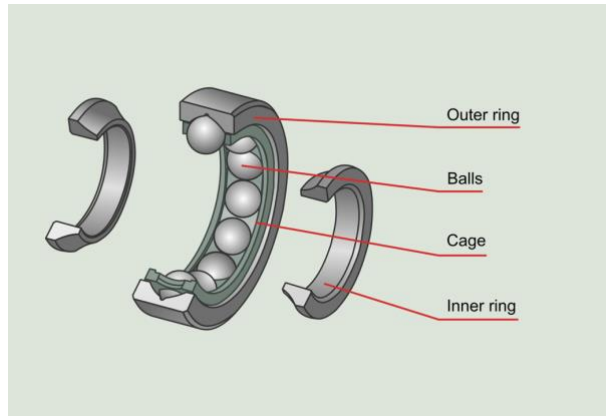
$$BPFI = \left(\frac{n}{2}\right)\left(\frac{RPM}{60}\right)\left(1 + \left(\frac{Bd}{Pd}\right)(\cos \theta)\right)$$

3. Ballspinnfrekvens (BFS): Denne frekvensen skapes av det rullende elementet i lageret (rull eller kule). En skade på en rull vil kunne observeres som en puls av vibrasjon i det skaden treffer inner- eller yttering. Siden en skade på en rull vil treffe både innerring og yttering på en omdreining, vil det kunne observeres høyere vibrasjon på 2x frekvensen. Formelen for å regne ut frekvensen til rullene er:

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

4. Rull/kuleholder (FTF): Denne frekvensen kommer fra kuleholderen i lageret. Frekvensen henger sammen med tiden kuleholderen bruker på en runde rundt. Formelen for å regne ut frekvensen til kuleholderen er:

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



Figur 14: Lageroppbygging med komponenter (Power-MI, 2021).

2.12 Kommunikasjonsmetoder for industrielt utstyr

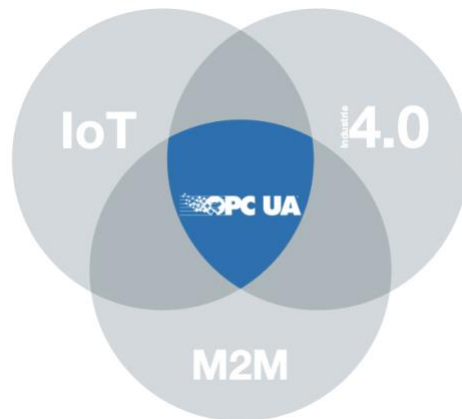
I dette kapittelet ser vi på kommunikasjonsstandarder brukt mellom industrielt utstyr og systemer. Disse vil senere bli nevnt i resultatkapittelet under resultatmål 4, metoder for datafangst.

OPC UA (Open Platform Communications - Unified Architecture): Er en datautvekslingsstandard for industriell kommunikasjon. Kort forklart er OPC UA en plattformuavhengig åpen kommunikasjonsarkitektur. OPC UA brukes for kommunikasjon mellom industrielt utstyr og systemer (Triple-s, 2021).

Karakteristikker ved OPC UA:

- Fokus på å kommunisere med industrielt utstyr og systemer for datainnsamling og kontroll.
- Fritt tilgjengelig, implementerbar uten begrensninger eller gebyr.
- På tvers av plattformer - ikke bundet til ett operativsystem eller programmeringsspråk.
- Innebygd sikkerhetsfunksjoner mtp. datasikkerhet.

(Øvern, et al., 2018)



Figur 15: Fjernoperert enhets tilgang (med OPC UA) som et felles skjæringspunkt mellom M2M, IoT og industri 4.0 (OPC foundation, 2021).

Modbus: Er en kommunikasjonsprotokoll utviklet av Modicon-systemer. Enkelt forklart er det en metode som brukes for å overføre informasjon over seriale linjer mellom elektroniske enheter. Enheten som ber om informasjonen kalles master, og enhetene som gir informasjon kalles slaver. Modbus brukes vanligvis til å overføre signaler fra instrumentering og kontrollenheter tilbake til en hovedkontroller eller et datainnsamlingsystem (B+B SmartWorx, u.d.).

3. Metode

Vi vil i dette kapitlet gjøre rede for metodene vi har brukt for kunne besvare resultatmålene som er satt for oppgaven. Vi vil systematisk gå igjennom hver enkelt metode brukt for å tilegne oss det teoretiske stoffet i oppgaven. Til slutt vil vi se på svakheter ved metodene og si litt om kildekritikk.

3.1 Opplæring gjennom Teamsmøter

Planen for bacheloroppgaven var at vi skulle få bli med opp i vindturbinen og montere vibrasjonssensorene. Dette ville bidratt til at vi hadde fått en større forståelse av sensorene og vindturbinen. På grunn av Covid-19 fikk vi ikke mulighet til å bli med teknikerne fra TEV opp i turbinen. I forbindelse med oppgaven fikk vi et IMx-8 system med 3 sensorer fra SKF, som vi skulle installere på RAMS-labben ved NTNU. For å installere dette fikk vi veiledning over Teams av ingeniører fra SKF. Når systemet var satt opp monterte vi sensorer på et lager i x-y-z retning. Vi hadde flere Teamsmøter med SKF hvor vi ble forklart hvordan SKF-observer fungerte og hvordan man analyserer data i deres program.

3.2 Litteraturstudie

I denne oppgaven har vi også valgt å benytte oss av litteraturstudie for å tilegne oss større kunnskap om vibrasjon på roterende maskineri. Vibrasjon er et stort og omfattende fagområde og krever en del grunnleggende kunnskap på området for å kunne forstås. Vi har brukt litteraturstudie i alle av våre fire resultatmål.

Som innledende søking i litteraturen har vi brukt lærebøker, forelesningsnotater og nettsider. Dette for få en oversikt av temaet. Metoden som ble brukt omtales i boka «Den gode oppgaven» som *bevisst tilfeldig søking*. Metoden går ut på la tilfeldighetene råde ved å søke rundt og følge lenker videre. Metoden er velegnet i den første idéfasen. Dette har vært viktig for få forståelse nok til å senere kunne gå i dybden på enkelte områder (Rienecker & Jørgensen, 2013).

Senere i prosjektet ble det metoden kjedesøking benyttet. Denne metoden går ut på at den ene teksten fører til den neste, som igjen fører til den neste og så videre (Rienecker & Jørgensen, 2013). Denne metoden ble brukt for få kjennskap til mye teori. For deretter å sile og velge ut

det som var relevant for oppgaven vår, samt det som kom fra sterke kilder. Litteraturen som er brukt i oppgaven er for det meste kvalitetssikret litteratur fra NTNU sitt bibliotek.

For bedre å forstå og stille spørsmål rundt teorien som ble funnet i litteraturstudien, har vi benyttet oss av intervjuer av kompetente personer som til daglig jobber med vibrasjon.

3.3 Dokumentgjennomgang

I oppgaven har vi også benyttet dokumentgjennomgang. Dette er hovedsakelig rapporter og manualer som vi har fått tilsendt fra de to bedriftene vi skriver oppgaven med. Disse dokumentene inneholder blant annet informasjon om faktiske forhold og spesifikasjoner på utstyr. Det er derfor vanskelig å verifisere denne informasjon, siden det ikke finnes andre kilder på dette.

3.4 Intervjuer

Som nevnt tidligere har vi vært i dialog med SKF angående opplæring av SKF-observer og fått en introduksjon til vibrasjonsanalyse av SKF sine ansatte. Disse møtene ble gjennomført som formelle kvalitative intervjuer. For hvert møte hadde vi notert ned spørsmål til intervjuobjektene, men flere spørsmål dukket opp underveis i intervjuene.

Møtene med SKF var til stor hjelp for bachelorgruppens forståelse av vibrasjonsdata og signaler. I tillegg så har vi også hatt møter med vedlikeholdslederen i TEV, hvor vi fikk tilsendt dokumenter av tidligere analyser utført på vindturbinen. Serviceloggen fra da TEV tok over driften til i dag, samt generell informasjon om hvilken vedlikeholdsstrategi de praktiserer.

3.5 Labforsøk

I oppstarten av prosjektet fikk vi tilsendt tilsvarende sensorer som ble montert på vindturbinen, slik at vi fikk kjennskap til disse. På RAMS-labben på NTNU står det en Bently Nevada RK4, som vi gjennom hele prosjektet hadde tilgang til. Her kunne vi eksperimentere og prøve oss frem med forskjellige innstillinger på observer å se hvilke utslag det gjorde. I tillegg kunne vi bestemme RPM selv. Vi kunne påføre forskjellige feilmoder slik som ubalanse og kontakt mot aksling. Vi gjorde også et forsøk hvor vi sprøytet silisiumkarbid

blandet med olje inn i lageret for å observere den økende degraderingen. Dette var forsøk vi gjorde for å bli kjent med utstyret slik at vi bedre kan svare på resultatmålene i oppgaven.

3.6 Kildekritikk og svakheter ved metodene

En skal forholde seg kritisk til alt materiale man vurderer å ta med i oppgaven. En hovedregel er at litteratur som er kvalifisert av vitenskapelige fagfeller er mest troverdig (Rienecker & Jørgensen, 2013). Vi har derfor prøvd bruke slike kilder når det er mulig.

Kjedesøking har sin styrke ved at den fører fra én god referanse til en annen og at man kan følge argumentenes utvikling gjennom litteratursøkingen. En svakhet kan være at man kan savne referanser til andre forståelser og uenigheter enn det som kjeden førte til (Rienecker & Jørgensen, 2013).

Opgaven baserer seg på en del informasjon vi har mottatt fra SKF, som igjen er en leverandør av vibrasjonsmonitoreringsutstyr. Leverandører har åpenbart en interesse av å få solgt sin vare. Vi har igjennom oppgaven prøvd å være kildekritiske til informasjonen vi har mottatt, uten at vi mistenker at dette har vært et problem i dette tilfelle.

4. Resultater

I dette kapitlet går vi gjennom funnene som ble gjort under prosessen av å svare på resultatmålene. Vi har tatt for oss informasjon tilsendt fra bedriftene. Sett på tidligere analyser, i tillegg til funn vi selv har oppdaget og utført av bachelorgruppen.

4.1 Ståstedsanalyse

I kapittel 6.1 vil vi som et svar på resultatmål 1 se på tilstanden til rotorlager og generatorlager i vindturbin 5 på Bessakerfjellet. Først beskrives vedlikeholdstrategien og hvilket vedlikehold som er utført. Deretter ser vi på vibrasjonsmålinger og prøver tatt av smøremiddelet i lagrene for å kunne si noe om tilstanden til lagrene.

4.1.1 Beskrivelse av Bessaker vindpark

Vi vil i denne analysen gi en kort introduksjon av Bessaker vindpark og den aktuelle vindturbinen vi skal se på i oppgaven.

Vi vil videre se på vedlikeholdshistorikk hentet ut fra Trønderenergi sitt CMMS system.

Til slutt ser vi på en rapport fra et tredjeparts firma som ble utført i forbindelse med en teknisk gjennomgang av anlegget før TrønderEnergi tok over O&M ansvaret.

Bessaker vindpark ligger i Åfjord kommune i Trøndelag. Vindparken eies og driftes i dag av TrønderEnergi Kraft AS. Parken består av 25 vindturbiner, et drift og vedlikeholdssenter og en transformatorstasjon (TrønderEnergi, 2021). Fra turbinene ble satt i drift i 2007 og frem til 01.01.2016 var turbinen driftet av leverandøren Enercon. 01.01.2016 tok TrønderEnergi selv over driften. TrønderEnergi har derfor ikke tilgang til vedlikeholdshistorikken fra perioden før 01.01.2016.

4.1.2 Beskrivelse av turbin

Vindturbinen vi ser på i denne oppgaven er en turbin fra den tyske vindturbinprodusenten Enercon. Enercon ble grunnlagt i den tyske byen Aurich i 1984. Enercon har siden 1993 produsert vindturbiner uten girkasse mellom rotor og generator (Wikipedia, 2020).

Turbinen vi har sett på er av typen Enercon E-70 E4. Dette er en vindturbin som er designet for å levere en effekt opp mot 2 300 kW ved full produksjon. Rotordiameteren på vindturbinen er 71 meter, det vil si den totale diameteren rotorbladene dekker ved en omdreining. Høyden fra bakken opp til navet av turbinen er 64 meter (TrønderEnergi, 2021).

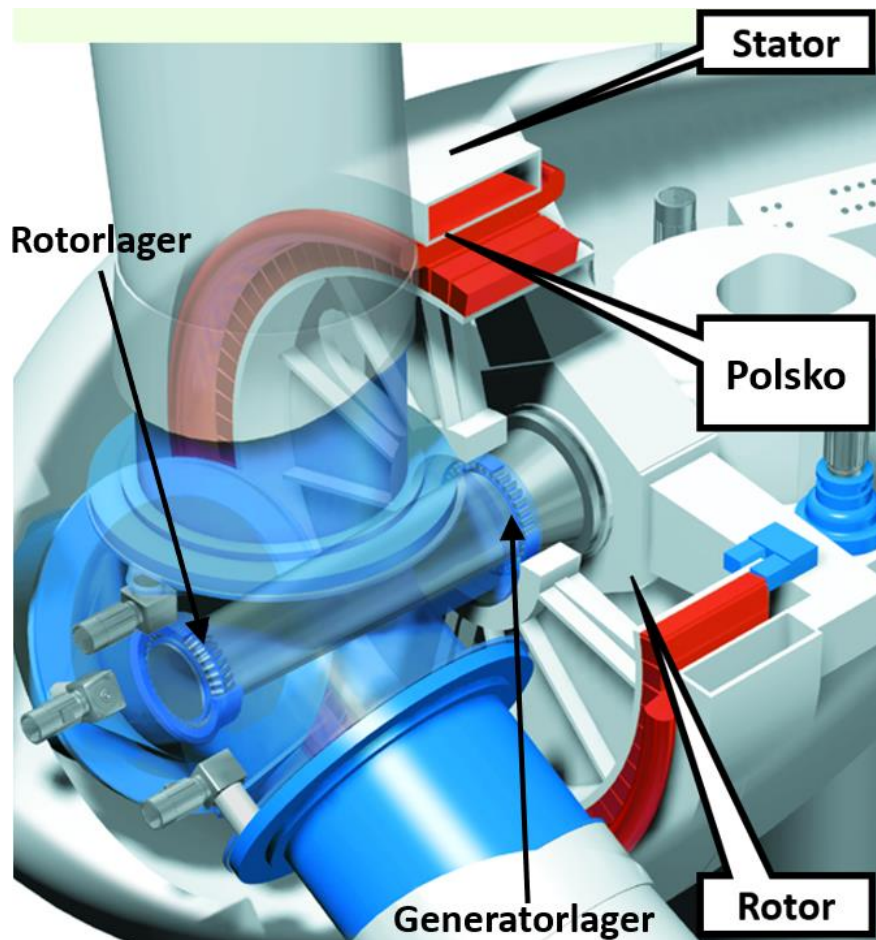
Selve turbinen består av tre rotorblader, som roterer på en aksel. Rotorbladet er opplagret på akselen med et sfærisk rullelager. Dette sfæriske rullelageret kalles heretter rotorlager.

Lenger inn på akselen sitter et sylindrisk rullelager, dette kalles generatorlager.

Generatorlageret er opplagringen til selve generatoren. Generatoren består av en rotor og en stator. Tabellen under viser lagrene brukt i turbinen med type og modell.

Plassering	Type	Modell
Rotorlager	Sfærisk rullelager	SKF BT2-8082/HA1VK443
Generatorlager	Sylindrisk rullelager	SKF BC1-8033 B/HB1VK443

Tabell 6: Lagerinformasjon



Figur 16: Oppbygning turbinblad og generator. Piler viser lagerplassering (Enercon, 2021).

4.1.3 Vedlikeholdsstrategi

Fortrinnsvis snakket vi med vedlikeholdssjef i TEV, Jan Olav Reistad. Han informerte oss om TEVs vedlikeholdsstrategi på vinturbinparken på Bessakerfjellet. Etter TEV tok over driften fra leverandøren, har de valgt å følge deres serviceanbefalinger, men med litt tilpasning.

Leverandøren har utført 4 servicer årlig per turbin. To mekaniske og to elektriske, med et intervall på 6 måneder mellom hver mekaniske og hver elektrisk service.

For et mer lønnsomt vedlikehold har TEV endret til å ha en årlig hovedservice hvor den mekaniske og elektriske delen er sammenslått. I tillegg til en «grease-service» et halvår etterpå, hvor man har visuell inspeksjon og bytter greasepatroner. På grunn av et lengre intervall mellom servicene, ble det også byttet til større greasepatroner.

Per i dag praktiserer TEV forebyggende vedlikehold som er tidsbasert og det blir ikke praktisert noe form for prediktivt vedlikehold.

4.1.4 Feilhistorikk

I forbindelse med ståstedsanalysen har vi fått tilsendt logg fra TEV over arbeidsordre knyttet til den gitte turbinen. Denne informasjonen er hentet fra TEV sitt ERP-program IFS. Vi har valgt å fokusere på hendelser som kan ha påvirket lagerets tilstand og sett bort fra vedlikehold på de elektriske komponentene.

Dato	Beskrivelse
13.01.2017	Ble det gjennomført «Grease-service» på turbinen. Teknikker har fylt grease på smørepunkter, samt en sjekk av turbinens tilstand.
05.07.2017	Ble det rapportert inn feil på sentralsmøresystemet. Feilen viste seg å være defekt trekkspole på magnetventil. Dette førte ikke til stans på turbinen og feilen ble utbedret 25.09.2017
07.11.2017	Hovedservice for 2017 ble utført.
05.06.2018.	Registrert at V-ring på fremre lager faller av
12.03.2020	Registrert at pakning på frontlager mangler

Tabell 7: Vedlikeholdshistorikk

4.1.5 Tidligere tilstandsanalyser

For å bedre forstå tilstanden til lagrene i turbinen, ser vi på en rapport som ble laget i forbindelse med at TEV tok O&M ansvaret for vindturbinene på Bessakerfjellet. Rapporten heter *Grease sample analysis and vibration analysis report* og ble skrevet av tredjepartsfirmaet WTG Partners. Rapporten ble utarbeidet på grunnlag av en inspeksjon gjort av WTG 14.01.2016 til 18.01.2016. Rapporten tar i hovedsak for seg to typer analyser som er utført: Analyse av greasen i hovedlagrene (rotorlager og generatorlager) og en vibrasjonsanalyse.

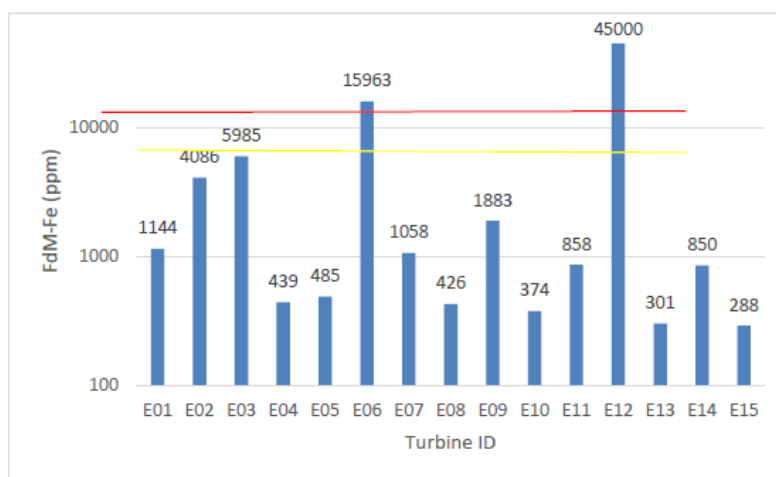
4.1.6 Greaseprøve analyse

Det ble tatt prøver av greasen i begge hovedlagrene til alle vindturbinene på Bessaker vindpark. Prøvene ble analysert med et magnetometer som måler jerninnholdet i greasen. Mengden måles i PPM- Parts Per Million. Utstyret som ble brukt til målingen hadde en øvre grense på 45 000 ppm. Verdier over dette ble ikke registrert og ble derfor satt til 45 000 ppm (Bogojevic, Janstrøm, 2016). WTG har i rapporten utført analysen på alle turbinene på Bessaker vindpark og på Valsneset vindpark. Deretter har de sammenlignet resultatene fra alle målingene og satt en «Warning limit» og en «Alarm limit». Verdiene ble satt som vist i figuren under.

	<i>Warning limit</i>	<i>Alarm limit</i>
	FdM-Fe, ppm	FdM-Fe, ppm
<i>Enercon E70, rear end bearing</i>	1600	2500
<i>Enercon E70, front end bearing</i>	5600	14400

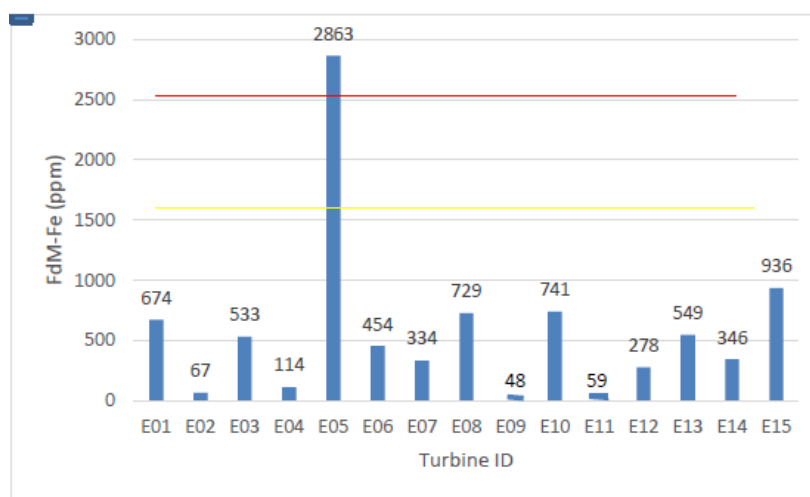
Figur 17: Advarsel og- alarmnivåer (WTG partners)

I figur 18 ser vi resultatet av målingene gjort fra grease-prøvene på rotorlager. Y-akse viser innholdet av jern i PPM (logaritmisk), på X-aksen ser vi de forskjellige turbinene. Turbinen som det sees på i denne oppgaven er E05.



Figur 18: Fe-målinger i rotorlager (WTG Partners)

I figur 19 ser vi resultatet av målingene gjort av grease-prøvene fra generatorlager. Y-akse viser innholdet av jern i PPM (logaritmisk), på X-aksen ser vi de forskjellige turbinene.



Figur 19: Fe-målinger i generatorlageret (WTG Partners)

TEV oppgir at på bakgrunn av disse målingene ble rotorlagret på tre av vindturbinene skiftet. Vindturbin E05 som sees på denne oppgaven var ikke en av de turbinene det ble byttet lager på.

Ut fra figur 18 og 19 ser vi at turbin E05 ligger godt under «Warning limit» (5600 PPM) med et Fe-innhold på 585 PPM. I generatorlageret ligger derimot turbin E05 godt over både «Warning limit» (1600 PPM) og «Alarm limit» (2500 PPM) med et Fe-innhold på 2863.

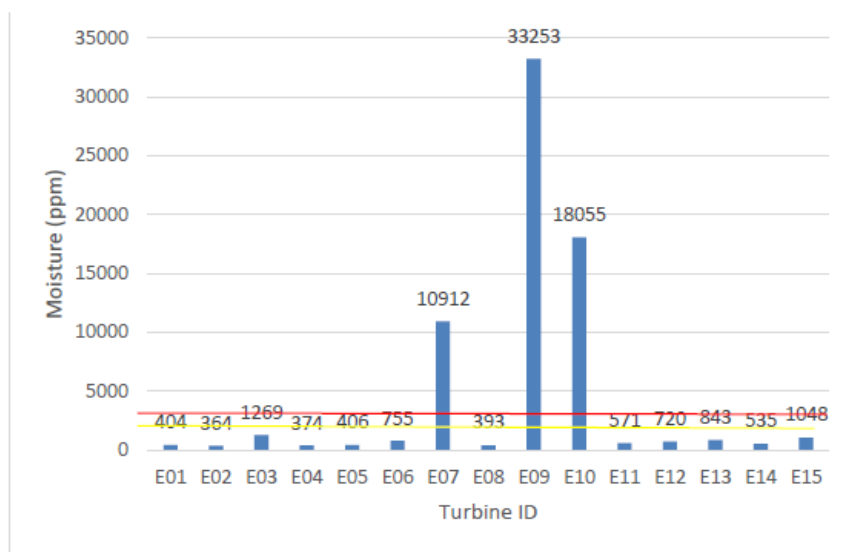


Figur 20: Metallspon fra E05 (WTG Partners)

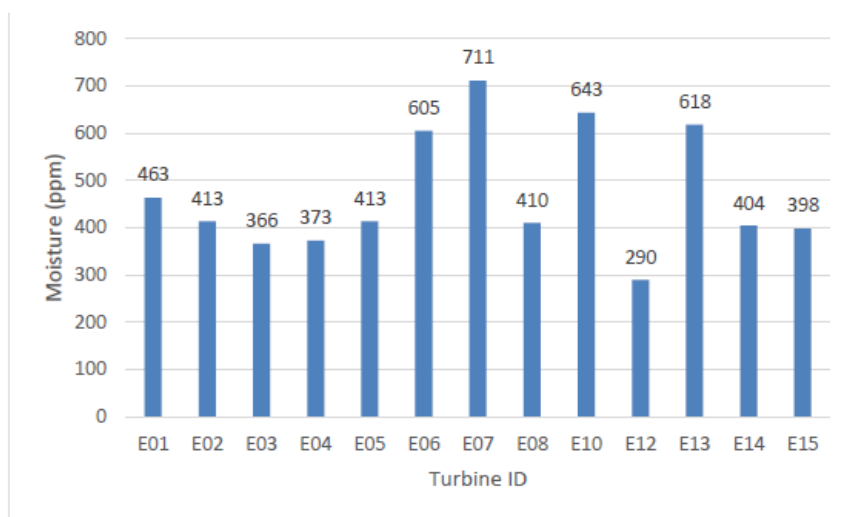
På figur 20 kan man se eksempel på metallspon som ble funnet. Den røde pilen indikerer lengden på sponet. Det viser en lengde på 289,78µm.

Det ble også utført fuktmålinger ved bruk av Karl Fischer oven – metoden. Metoden er en måte å bestemme vann i organiske prøver (Jacobsen, 2019).

Figur 21 og 22 viser fuktinnholdet i rotor og generatorlager. Her er «Warning limit» satt til 2000 PPM og «Alarm limit» er satt til 3000PPM.



Figur 21: Fukt i rotorlager



Figur 22: Fukt i generatorlager

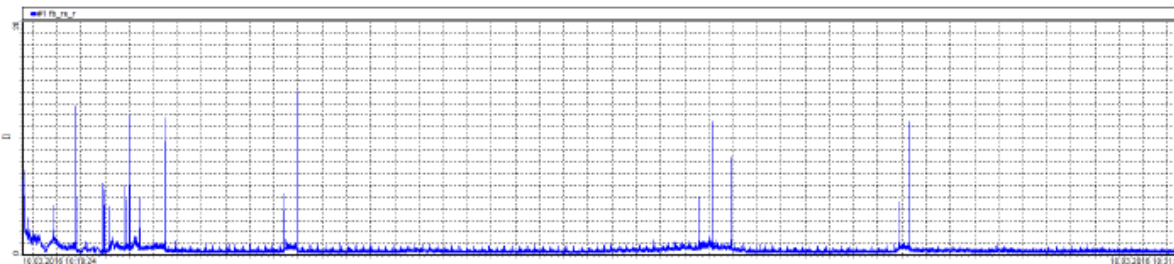
Vi kan se ut fra diagrammene i figur 21 og 22 at fuktnivået i hovedlagrene til turbin E05 ligger godt under «Warning limit». Turbin E05 har et fuktnivå på 406 PPM i rotorlager og 373 PPM i generatorlager.

4.1.7 Vibrasjonsanalyse

Rapporten oppgir at det er montert 4 sensorer på vindturbin 5. Sensor 1 er montert i rotorlager, radielt. Sensor 2 og 3 er montert radielt og aksielt på generatorlageret. Sensor 4 er montert på stator. Det sies ikke noe om hvilket instrument som er brukt til målingen. Det står heller ikke noe om hvor lenge målingene ble foretatt. Selv om disse målingene er over fem år gamle og av ukjent kvalitet, kan de gi en indikasjon på hvilken tilstand lagrene har.

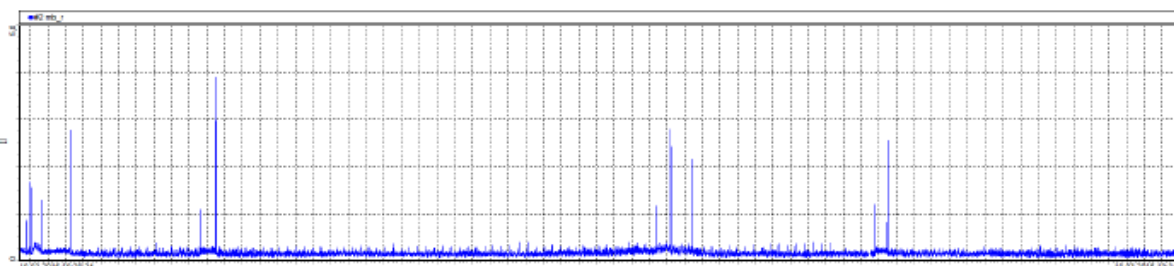
Resultatene fra målingene utført av WTG blir sammenlignet med standarden VDI 3834. Dette er en tysk standard som sier noe om terskelverdien for forskjellige komponenter i vindkraft industrien (Ludeca, 2021).

I rotorlager oppgis det i rapporten at impulsive vibrasjoner tydelig kan bli sett i frekvensområdet 0.1 – 10 Hz. Under målingene ble grunnivået for hovedlager i VDI 3834 oversteget. Målingen lå konstant over grensen for akselerasjon på 0.5 m/s^2 så lenge målingen ble utført (Danijel Bogojevic, 2016). Målingen ble tatt over en tidsperiode på 12 minutter.



Figur 23: Måling fra sensor 1 montert radielt i rotorlager (WTG Partners)

I generatorlageret ligger grunnivået under det som er satt som «warning value» av VDI 3834. «Warning value» for akselerasjon er satt til 0.3 m/s^2 . I spektrum diagrammet ser vi noen topper med lav amplitude i det lave frekvensområdet. Envelope spekteret viser tydelig flere høyfrekvente harmonier. Målingen ble tatt over en tidsperiode på 11 minutter.



Figur 24: Måling fra sensor 2 og 3 montert radielt og aksielt i generatorlager (WTG Partners)

4.1.8 Oppsummering ståstedsanalyse

TrønderEnergi oppgir at de mistenker begynnende degradering i generatorlager på turbin E05. Ut fra informasjonen gjort tilgjengelig for oss, virker dette sannsynlig. Som vist tidligere i rapporten ser vi et høyt innhold av jernpartikler i greaseen. Flere partikler er også av betydelig størrelse. Det er ikke tegn på fuktinntrenging i lageret. Envelopespekteret viser flere høyfrekvente harmonier, noe som kan være tegn på lagerskade.

4.2 Vurdering av funksjonalitet og brukervennlighet av IMx og Observer

Som svar på resultatmål 3, som omhandler funksjonalitet og brukervennlighet vil vi først gå igjennom funksjonen til komponentene i IMx-8 systemet. Deretter vil vi se på hvordan disse installeres for å få systemet i drift. Vurdering av brukervennlighet vil være en del av diskusjonen i kapittel 7.

4.2.1 Oppsett av IMx systemet

For bedre å forstå Observer-systemet og komponentene i IMx-systemet har vi montert det på en Bently Nevada rk4 rotor rig. IMx-systemet og tilhørende akselerometer er identiske med det som er montert i vindturbinen på Bessakerfjellet. Dette ble blant annet gjort for å kunne si noe om funksjonaliteten og brukervennligheten til systemet - hele veien fra oppsett til bruk. Systemet ble satt opp med veiledning fra en ingeniør fra SKF. Covid-19 situasjonen pr. 2021, gjorde at vi ikke kunne være med på installasjonen av IMx-systemet i vindturbinen. Vi har derfor tatt utgangspunkt i brukervennlighet på utstyret vi monterte i RAMS-labben på NTNU. Dette utstyret er prinsipielt likt det som er montert i vindturbin og har derfor lik brukervennlighet og funksjon. Det er noen forskjeller på oppsettet i vindturbinen kontra oppsettet i RAMS-labben:

- På RAMS-labben hentes turtall fra Bently Nevada sitt system. Det trengs derfor en signalomformer.
- Internettilkobling: IMx enheten i vindturbinen har innebygd støtte for Wi-Fi og Micro SIM-kort inngang. Enheten i denne oppgaven benytter et SIM-kort og bruker dermed mobildata (2G, 3G eller 4G avhengig av dekning) til og kobles opp mot internett og skyen.

4.2.2 Forklaring og installasjon av IMx-8 systemet

IMx-kittet består av:

- 1stk. IMx-8 enhet
- 3stk. Akselerometer med tilhørende ledning for tilkobling i IMx enheten.
- 3stk. Gjengede kontaktpunkt for påliming rundt lagerhus.
- 1stk. CMCP576 Proximity Probe til TTL Converter
- 3stk. «sukkerbitkoblinger» for enkel tilkobling av strøm, turtall og akselerometer.

IMx-8 enheten

IMx enheten er selve hjernen i systemet. Den mottar signal fra alle akselerometrene som er tilkoblet og sender disse videre opp i skyen. Turtallssignal kobles og inn i denne enheten. Signalene kan da videre behandles og fremvises i SKF sin programvare @ptitude Observer. IMx enheten har også en funksjon for tilkobling med Bluetooth, der måledataene fremstilles i en app på telefon eller nettbrett.

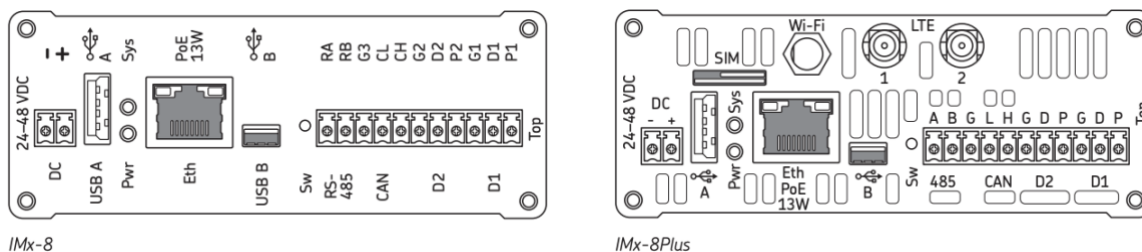


Figur 25: IMx-8, (SKF, 2021)

Enheden drives av 24 - 48V DC og/eller gjennom PoE (Power over Ethernet). PoE vil kunne eliminere behovet for en ekstern strømforsyning.

Enheden har to USB-porter. En USB A port, hvor en Bluetooth dongle kan kobles i. Og en USB B port for service av enheten.

De to sirklene som sees på figur 26 er lysdioder. «Pwr» indikerer at enheten er på, med et grønt lys. «Sys» dioden er normalt slukket, men blinker raskt omtrent fire ganger per sekund mens programvaren leser konfigurasjonen og setter opp systemet. Når konfigurasjonen er fullført, vil «Sys» dioden slukke. Hvis den forblir fast på, indikerer dette at IMx er i en feiltilstand.



Figur 26: Sammenligning av IMx-8 og IMx-8 Plus (SKF, 2021)

Figur 26 viser forskjellen på en IMx-8 med og uten Wi-Fi og mobildata tilkobling. Vi kan se på figuren at IMx-8 Plus har en port for et Micro-SIM kort, en tilkobling for Wi-Fi antenne og to tilkoblinger for antenner til mobildata (LTE) (SKF, 2021).

IMx-8 enheten har 8 analoge innganger som muliggjør det å koble til 8 sensorer. Det finnes også en utgave med 16 analoge tilkoblinger, denne kalles IMx-16.

Akselerometer

De tre akselerometrene som er installert er av typen SKF CMSS WIND-100-10. Disse er en av modellene SKF leverer som er designet for bruk i vindturbiner. De har et smalt og kompakt design for å kunne monteres på trange områder. De har et ytre av plast og rustfritt stål og en integrert kabel som gjør akselerometeret motstandsdyktig mot korrosjon.

Akselerometeret har et målområde på 0,5 Hz til 10 000Hz. Med hjelp av envelopemetoden kan man måle enda høyere frekvenser.



Figur 27: CMSS WIND-100-10 Akselerometer (SKF, 2021)

Tilkoblingspunkt

Tilkoblingspunktet er utformet som en 19mm mutter. Denne ble limt på lagerhuset. To i radiell retning og ett i aksial retning. På toppen av «mutteren» er det et hull med innvendige ¼ tommers gjenger. Ved montering av akselerometeret, skrur man tappen på med et moment på 10,8Nm.



Figur 28: Tilkoblingspunkt montert på rotor rig i RAMS lab. (Meland, 2020)

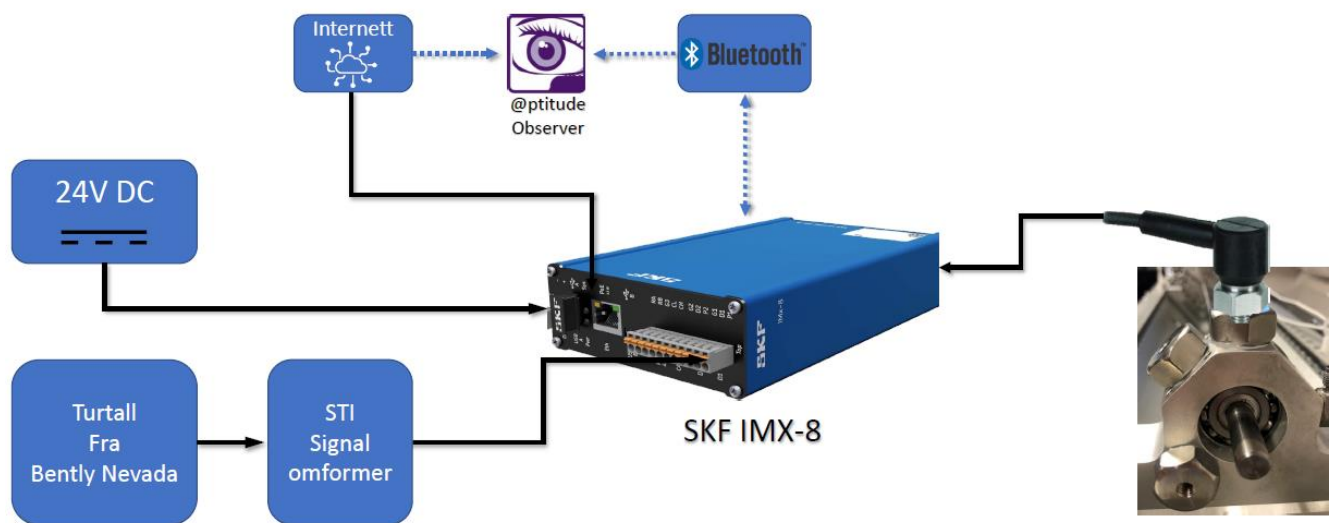
Posisjongsgiver(probe) til TTL Converter

CMCP576 Puls Transmitter er en 24V DC drevet enhet som konverterer spenningen ut fra en posisjongsgiver til et 5V DC TTL-signal, som IMx-8 enheten kan lese (STI, 2017). Enheten kan kalibreres ved hjelp en potensiometerskrue på fremsiden. Skruen skrues fra venstre til høyre, helt til en rød diode på fremsiden går fra å være mørk, til at den blinker i takt med turtallet.



Figur 29: STI TTL converter montert ved siden av IMx-8 enheten (Meland,2020)

Montering av de fysiske komponentene



Figur 30: Oversikt over IMx-8 oppsett i RAMS lab (SKF, Meland, 2020)

Monteringen startet med å feste tilkoblingspunktene til lagerhuset. For å sikre god heft ble lagerhuset rensert nøye før punktene ble limt på. Deretter ble akselerometrene skrudd på koblingspunktene med et moment på 10,8Nm.

Deretter ble det koblet to ledninger fra Bently Nevada riggen inn til STI signalomformeren og videre fra signalomformeren og inn til G1 og D1 porten på IMx-8 enheten.

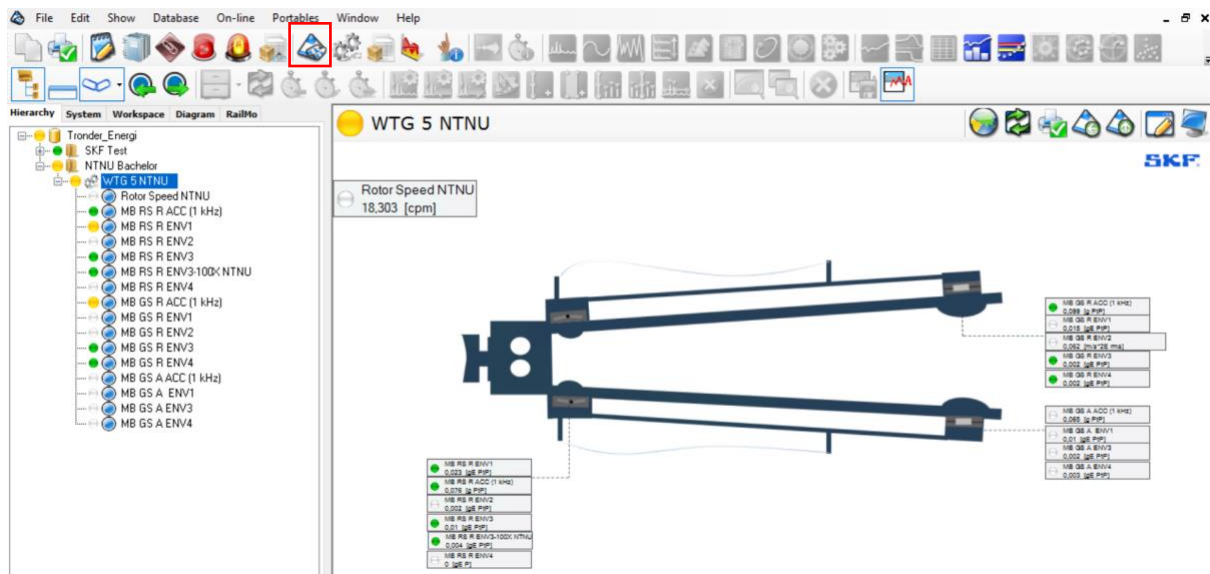
Ethernetkabelen ble koblet til RJ45 porten på IMx-8 enheten.

Til slutt ble det koblet strøm på systemet. 24V DC inn til signalomformeren og IMx-8 enheten. Kablene ble så lagt opp slik at det så ryddig ut.

4.2.3 Oppsett av SKF @ptitude Observer

Vi har i oppgaven satt på alle sensorer i programvaren @ptitude Observer i samarbeid med SKF. Som kunde av dette systemet har man mulighet til å la SKF sette opp sensorene i programvaren, slik de gjorde for oss i process overview illustrert på figur 31 markert med en

rød firkant

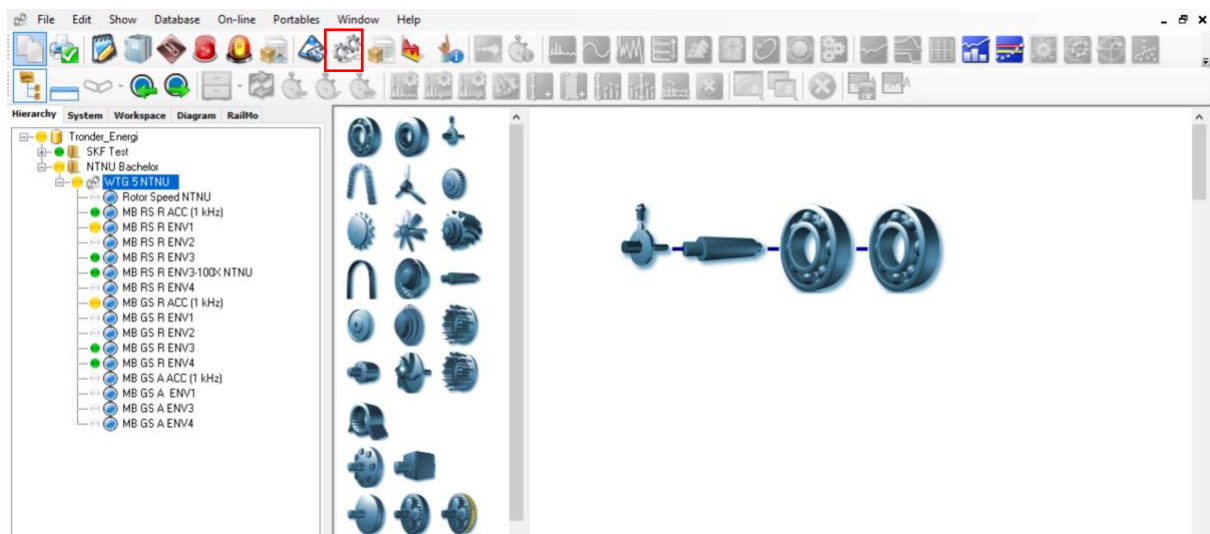


Figur 31: Process overview i @ptitude observer

Her har SKF satt opp en skisse på hvor lagrene sitter og hvordan sensorene er koblet på lagerhuset. Vi kan se at rotorlageret til venstre på figur 31 er et sfærisk lager, med sensorer montert radielt mot ytterringen på lageret.

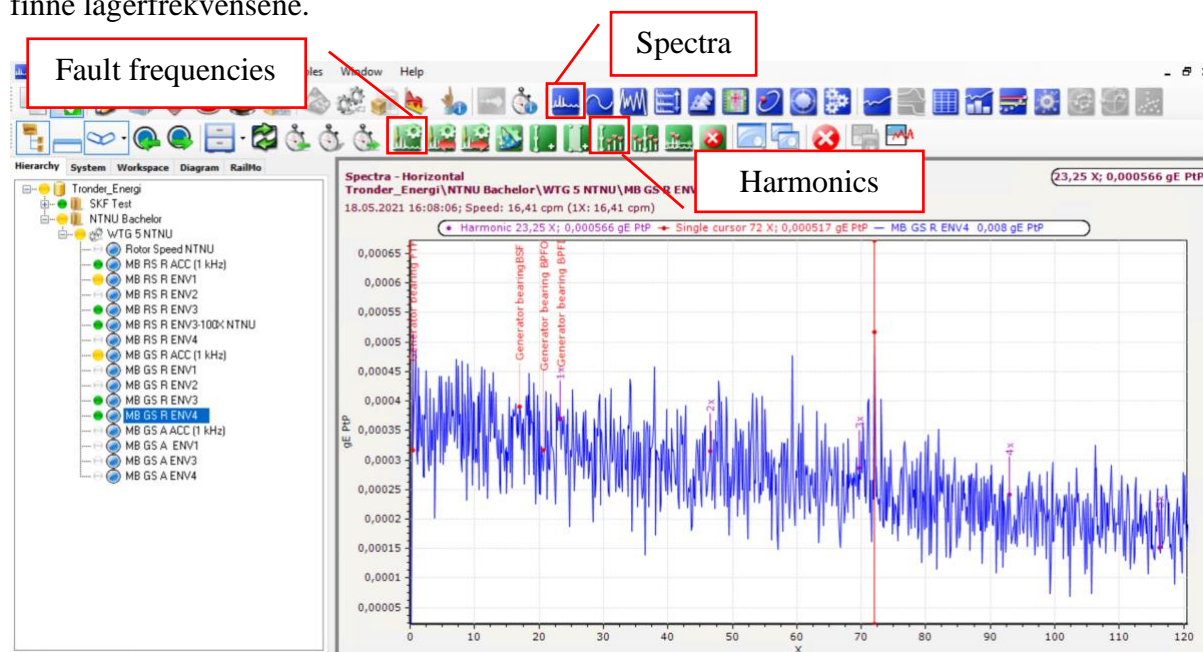
Til høyre på figur 31 er generatorlageret, et rullelager som vi har montert en sensor radielt mot innerringen på lageret samt en som står aksielt på lageret.

Vårt oppsett av programvaren er beskrevet i vedlegg 1.



Figur 32: Machine parts i @ptitude observer

Markert i rødt (figur 32) ser vi ikonet for machine parts. Den gir et overblikk av komponentene i process overview (figur 31). Til venstre har vi målepunktet for turtall, videre er det akslingen lagrene sitter på. Når man legger inn lager, må man spesifiserer hvilke lager det er. Det er dette som gir programmet den nødvendige informasjonen den trenger for å finne lagerfrekvensene.



Figur 33: Lagerfrekvenser i @ptitude observer

På figur 33 ser vi nærmere på envelop 4, som fanger opp vibrasjoner som opptrer i frekvensintervallet 5kHz til 40kHz. For å se lagerfrekvensene som nevnt tidligere må vi se i spectra bilde og velge ut lageret i fault frequencies. Da viser programmet frekvensen til hver komponent som røde streker. Trykker vi videre på harmonics viser programmet hvor de harmoniske frekvensene skal ligge.

4.2.4 Validering av frekvenser

Etter @ptitude Observer var satt opp tok vi en sjekk av frekvenser. Vi regnet ut frekvensene manuelt og sammenlignet med feilfrekvensene regnet ut fra @ptitude Observer.

Nedenfor ligger utregningene vi har brukt til å regne ut de forskjellige frekvensene og frekvensene lest ut fra @ptitude samt en sammenligning hvor vi har regnet ut avviket fra håndberegningen.

$$BPFO = \left(\frac{44}{2}\right)\left(\frac{19.53}{60}\right)\left(1 - \left(\frac{56}{955}\right)(\cos 0)\right) = 6.470\text{Hz}$$

@plitude e Observer: 7.344Hz.

Avvik = 0.604Hz

$$BPF1 = \left(\frac{44}{2}\right)\left(\frac{19.54}{60}\right)\left(1 + \left(\frac{56}{955}\right)(\cos 0)\right) = 7.581Hz$$

@plitude Observer: 8.281

Avvik = 0.700Hz

$$BSF = 2 * \left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{955}{56}\right)\left(\frac{19.53}{60\left[1 - \left(\frac{56}{955}\right)^2 \cos^2 1\right]}\right) = 5.570Hz$$

@plitude Observer: 5.469

Avvik = 0.101Hz

$$FTF = \left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{19.53}{60}\right)\left(1 - \left(\frac{56}{955}\right)(\cos 0)\right) = 0.121Hz$$

@plitude Observer: 0.156

Avvik = 0.035Hz

4.2.5 Oppsummering av oppsett

Monteringen av utstyret ble foretatt med veiledning over Teamsmøte, siden gruppa ikke hadde noen forkunnskaper om utstyret. Monteringen gikk relativt uproblematisk og vi estimerer tidsbruken til montering og oppsett slik:

Montering av det fysiske utstyret: Ca 2 timer i RAMS lab

Oppsett av @ptitude Observer: Ca 2,5 time med veiledning fra SKF.

Utstyrsliste for montering:

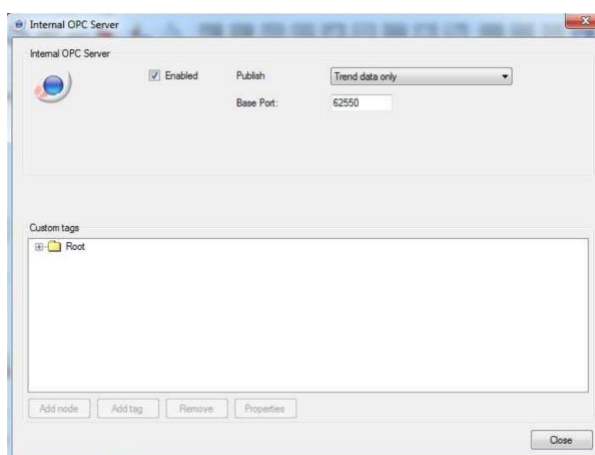
- Kabler, til 24V DC og Ethernet	- Avbitertang
- Avisoleringstang	- Lim
- Skrujern	- Strips
- Sprit el. rensmiddel	- Momentnøkkel.

Tabell 8: Utstyrsliste for montering av IMx-8 system.

4.3 Metode for datafangst fra Observer til IFS

I dette kapitlet vil vi se nærmere på de to metodene som finnes for overføring av data fra IMx-8 systemet til ERP-system og hvordan dette kan utføres i praksis. Dette vil være med på å svare på resultatmål 4.

OPC UA: OPC-serveren gjør det mulig for programvare, for eksempel @ptitude Observer, å dirigere dataene til en OPC- server. @ptitude Observer har en intern innebygd OPC UA server som må aktiveres inne i programmet. Denne kan, hvis aktivert, publisere automatisk alle data som @ptitude Observer-systemet fanger opp (SKF, 2019).



Figur 34: Oppsett av OPC server i @ptitude Observer (SKF, 2019).

Her velges «Enable» for å aktivere serveren. Under «Publish» velger man hva som skal publiseres til OPC-server. Det kan være trenddata, trenddata og dynamiske data (FFT), time waveform, osv. Base port definerer basekommunikasjonsporten for den interne OPC-serveren. Standardinnstillingen er 62550 (SKF, 2019).

Modbus: IMx-8 enheten støtter bruk av Modbus. Denne kobles til RS-485 og jordingskontakten på IMx-8 enheten. Modusen kan med riktig oppsett sende data til TEVs ERP-system. Modbusen gir også mulighet for å motta informasjon fra ERP-systemet. Det kan for eksempel være værdata, slik at man kan legge inn en trend på vindhastighet i @ptitude Observer. Vindhastighet kan være nyttig å se, da dette kan påvirke vibrasjonsnivåene.

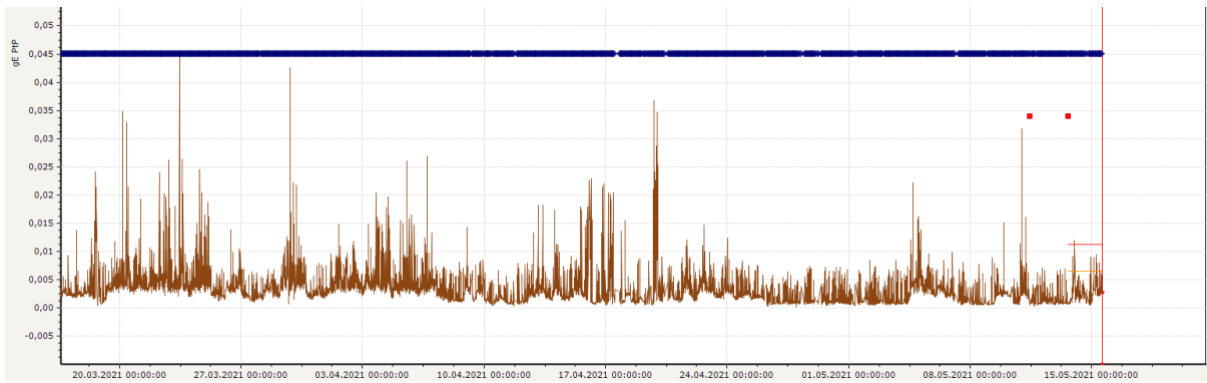


Figur 35: Viser hvilke innganger Modbusen kobles til IMx-8 (SKF, 2019).

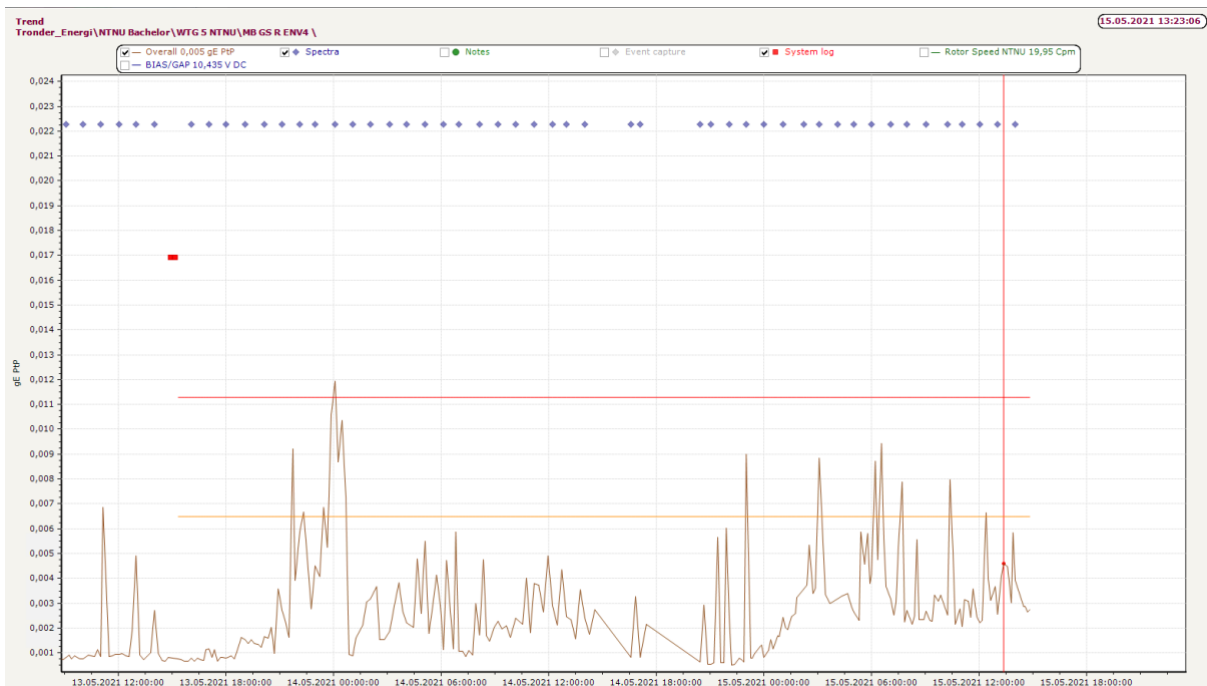
4.4 Forslag til metode for å sette grenseverdier for vibrasjonsnivå.

4.4.1 Automatiske grenseverdier

Om man er usikker på hvordan man skal sette grenseverdier har @ptitude observer en funksjon som setter en grenseverdi automatisk. Den baserer seg på minst 20 og maks 100 tidligere trendverdier. En algoritme bruker så et spesifikt antall standardavvik fra gjennomsnittet til å bestemme grenseverdien. Selv om programmet velger en grenseverdi for oss, kan vi fortsatt bestemme alarm-hysteresen. Altså hvor ofte målingene må være over grenseverdien før den utløser alarmen og hvor mange ganger den må gå tilbake under verdien for å gå ut av alarmtilstand. På grunn av usikkerheten rundt automatisk alarm, og at vi ikke ønsker hyppige og falske alarmer, har vi valgt at målingene må overskride grenseverdien 6 ganger før den utløser alarmen, og 2 ganger for å gå ut av alarmen igjen.



Figur 36: Automatisk grenseverdi i trendbilde



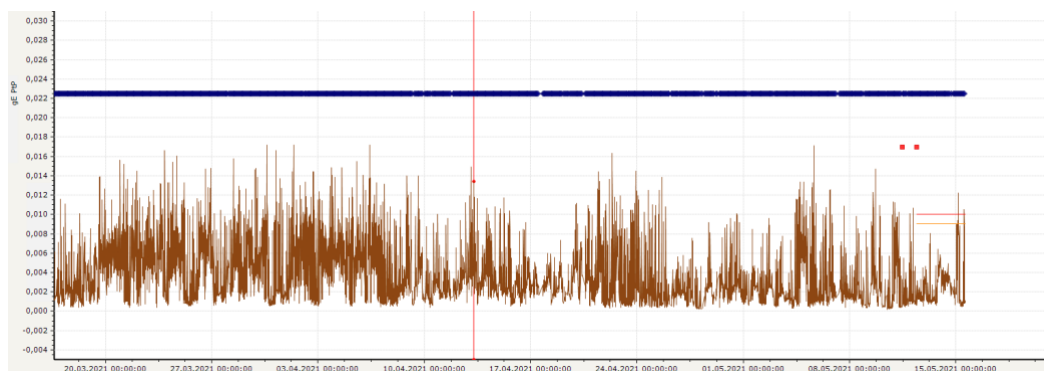
Figur 37: Automatisk grenseverdi i et forstørret trendbilde

På figur 37 ser vi et forstørret bilde av trendgrafen. Den gule linjen som er satt til 0.006472 gE PTP er varsellinjen, den sier ifra om at vibrasjonen er i ferd med å gå i alarm nivå. Den røde linjen er satt til 0.011286 gE PTP og er selve alarmnivålinjen. Om trendgrafene skulle krysse den røde linjen 5 ganger vil det utløse alarmen.

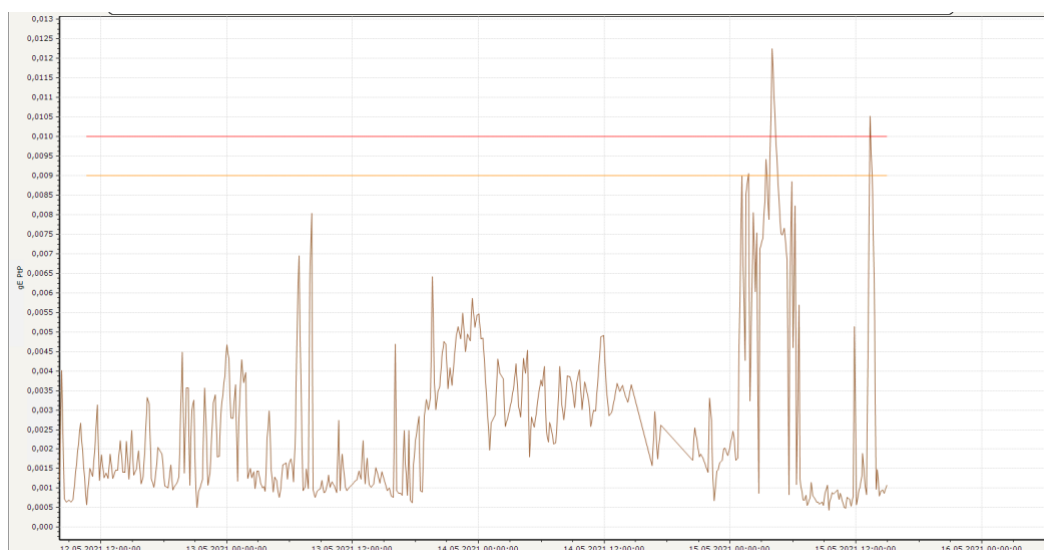
Ser man på figur 37, som er den samme grafen som på figur 36 bare i et større tidsbilde, så ser man flere høye spiker som kommer fra eksterne faktorer. Dette kan by på problemer som vi skal se nærmere på i kapittel 5.

4.4.2 Manuelt satt grenseverdier

Man kan også sette grenseverdiene manuelt. Basert på data oppsamlet og analyserer av vibrasjonsnivået. Ligger dette på et akseptabelt nivå, kan man legge grenseverdien en ønsket verdi over denne. Et alternativ er å bruke vibrasjonsverdier anbefalt av leverandøren som kan være basert på beregninger eller statistiske data.



Figur 38: Manuell grenseverdi i trend bilde



Figur 39: Manuell grenseverdi i trendbilde

Her har vi satt varselverdien til 0.009 og alarmverdien til 0.01. Verdiene ble satt litt høyere enn den automatiske, med en alarm hysteresis på 5 ganger for å aktivere alarm og 2 for å gå ut av alarm. Siden grenseverdien vi satte ligger høyere enn hva den automatiske verdien, satt vi ned hysteresis verdien fra seks til fire ganger.

5. Diskusjon

I dette kapitlet vil vi gå igjennom og diskutere hvert resultatmål. Vi ser på svakheter ved resultatene og hva som kunne vært gjort annerledes. Vi vil også se på noen fordeler og ulemper med de forskjellige metodene som er foreslått.

5.1 Diskusjon og vurdering av ståstedsanalyse resultatmål 1 - ståstedsanalyse

Vi vil i dette kapitlet diskutere resultatene og funn gjort i ståstedsanalysen. Dette vil være med på å svare på resultatmål 1 som omhandler tilstanden til generatorlager og rotorlager.

Ståstedsanalysen støtter seg mye på en rapport fra WTG partners skrevet i 2016. Det kan derav stilles spørsmål til hvor relevant denne er nå 5 år etter testene ble gjort. Siden de eventuelle skadene kan ha utviklet seg på de 5 årene etter rapporten ble skrevet. Grunnen til at denne rapporten blir brukt i så utstrakt grad, er at dette er den nyeste og eneste informasjonen vi har tilgang på som sier noe om tilstanden på lagrene.

I rapporten til WTG partners ser man at jerninnholdet i generatorlageret er noe over alarmgrensen de har satt. Det fremkommer ikke noe steder i rapporten hvorfor denne grensen settes slik, eller hvorfor de har satt grensen lavere på generatorlageret enn på rotorlager.

Et tiltak som kunne vært interessant er å ta nye greaseprøver og målt jerninnhold. Det ville kunne gitt en indikasjon på om situasjonen har forverret seg.

Ser man på vibrasjonsanalysen som gjort på generatorlageret, er denne litt vanskelig å tolke. Vi har spurt ingeniører i SKF om hjelp til å tolke denne, men de har heller ikke helt forstått hva disse målingene viser. Ser man på grafen i figur 24 er det noen høye amplituder, men man kan ikke se et gjentakende mønster i disse. Ut fra figur 24 er målingene foretatt over en tidsperiode på ca. 12 minutter, som er en relativt kort måleperiode.

Data om vedlikeholdet som utføres på lagrene i turbinen, har vi fått gjennom samtaler med TEV. Vi har verifisert at vedlikeholdet faktisk har blitt utført gjennom en eksportert arbeidsordreliste fra TEV sitt ERP-system, som vi har fått tilgang på.

5.2 Vurdering av funksjonalitet og brukervennlighet av IMx-8 og @ptitude Observer.

5.2.1 Montering av IMx-8 systemet

Selve monteringen av IMx-8 enheten og tilsvarende sensorer, var en forholdsvis enkel og grei prosess. Vi hadde ingen installasjonsmanual, men fikk god hjelp fra SKF over Teamsmøte. Det gikk bedre enn forventet, men siden begge i bachelorgruppa har relevant, praktisk bakgrunn kan det påvirke vår definisjon av enkel i dette tilfellet.

5.2.2 Bruk av systemet

Her også fikk vi en god del hjelp av SKF over Teamsmøter. De guidet oss gjennom hvordan man oppretter maskiner og målepunkt. Det ble fort teknisk når vi måtte definere hvilket frekvensområde sensorene skulle måle, hvilken oppløsning målene burde være, og hvordan man ønsker å presentere dataene. @ptitude observer anser vi som et ryddig og oversiktlig program, men det er nok beregnet for personer med kjennskap til vibrasjonsanalyser og slike programmer fra før. I starten var det utfordrende å forstå hva ting var og hvorfor det ble gjort. Etter hvert som vi leste mer om vibrasjon og vibrasjonsanalyser, i tillegg til en del prøving og feiling i programmet, forsto vi mer og mer hva vi jobbet med.

I all hovedsak er programmet intuitivt, hvor ikoner og navn er enkle å forstå. Et unntak er det ved lagring av «machine parts», hvor man setter et oversiktsbilde av komponenter og deres spesifikasjoner. Den eneste måten å lagre dette på er å trykke på et lite kryss under krysset for å avslutte programmet. I andre sammenhenger brukes dette krysset til å fjerne visningen av vibrasjonsgrafer.

Om bedriften ikke innehar kompetanse for å analysere vibrasjonsdataen selv, er det også mulig å sette bort analyseringen til SKF. Da vil de få opp alarmer på kunden sine systemer, deretter analysere dataen. Etter analysen varsle kunde om situasjon og komme med forslag til forebyggende eller korrektive tiltak.

Vi har sett på muligheten for å sammenligne tidsbilde og frekvensbilde fra data innsamlet fra starten av mars mot en nyere graf fra mai. Dette for å se om det har vært en utvikling av vibrasjonen på den tiden sensorene har vært montert. Med funksjonene «3D-plot» og

«history» i @ptitude Observer får vi kun sett tre dager tilbake i tid med 24 målinger hver dag. Noe som ikke virker tilstrekkelig tilbake i tid for å se en tydelig forandring med tanke på mye påvirkning fra vær og vind.

Selv om eldre data ikke er umiddelbart tilgjengelig, har SKF lagret dette i deres database slik at det tilgjengelig for analyse i ettertid. I trendfunksjonen derimot, kan vi se en måned tilbake i tid. I tillegg til spektrumbilde fra hvert datalagringsintervall som er satt til en time. Men dette innebærer ingen direkte sammenligningsfunksjon.

Det er fortsatt flere deler av programmet som er uprøvd av oss i bachelorgruppen. Dette er deler som ikke er relevant for vår bruk og som vi ikke har grunnlag for å kommentere.

Bachelorgruppen har heller ikke brukt andre typer vibrasjonssensorer og lignende programvare tidligere. Og har dermed ingen forutsetning til å sammenligne IMx-8 og @ptitude observer med andre løsninger tilgjengelig på markedet.

5.3 Diskusjon rundt datafangst samling til ERP

I dette kapittelet vil vi diskutere de to mulighetene for dataoverføring som er tilgjengelig. Det vil si metoder for å få overført vibrasjonsdata som trender og alarmer fra IMx systemet til TEV sitt ERP-system IFS.

De to metodene for dataoverføring er ved bruk av en Modbus, eller ved bruk av OPC-UA. Begge metodene settes opp fra @ptitude Observer programvaren til SKF og vil kunne gi trendinformasjon og hendelser(alarmer) inn i ERP.

Ifølge SKF vil en løsning med bruk av OPC-UA protokollen hente informasjon fra @ptitude Observer programvaren istedenfor direkte fra IMx-8 enheten. Denne metoden er mest benyttet for overføring av data til rene vedlikeholdsprogram (CMMS). OPC-UA løsningen vil være litt tregere siden informasjonen må igjennom @ptitude Observer.

Løsningen med bruk av en Modbus kan ha sin fordel med at vindhastigheten kobles på og settes opp som egen trend i @ptitude Observer. I en situasjon der en alarm dukker opp i systemet, kan man enkelt gå inn og se om alarmen kan skyldes høy vind.

Bakdelen med OPC-UA og Modbus løsningene kan være at vibrasjonsdata blir overført til et ERP-program, som ikke er designet for å vise dette. @ptitude observer vil mest sannsynlig ha mer funksjonalitet enn et ERP-program.

På den andre siden vil en varslings fra IMx systemet kanskje lettere kunne plukkes opp dersom det kommer inn i ERP-systemet, siden ERP-systemet er hyppigere brukt.

5.4 Diskusjon av metodikk for setting av grenseverdier i lager.

5.4.1 Automatisk

På stabile systemer med noe jevnt turtall og lite påvirkning fra eksterne faktorer vil nok denne funksjonen gi en fornuftig grenseverdi. I vindturbiner hvor mye av vibrasjonen kommer fra eksterne faktorer kan det påvirke utregningen slik at den verdien som blir foreslått ikke egner seg.

Etter å ha prøvd denne funksjonen i en periode på 6 dager viser det seg at den har potensiale for bruk i vindturbiner. Så langt har den ikke gitt alarmer basert på eksterne faktorer. Dette vil være veldig væravhengig. I følge Yr.no var gjennomsnittlig vindhastighet i denne perioden 6.82m/s, med høyeste vindkast på 9.8m/s.

5.4.2 Manuell

Vi har forsøkt å skaffe vibrasjonsanbefalinger fra Enercon uten hell. Ideelt har vi sett for oss å bruke de tallene som et utgangspunkt, før en eventuell tilpasning, men på grunn av at vi ikke fikk prøvd den metoden er det fortsatt usikkert om dette ville vært den beste metoden.

Etter å ha sett nærmere på ISO 10816, vil ikke den være til nytte for vår del. Den sier ingenting om vibrasjonen fra selve lagrene, noe som vi ser på i dette prosjektet.

På grunn av en del støy fra eksterne kilder, opplevde vi det som utfordrende å sette grenseverdier manuelt. Dager med mye vind slår ut på målingene og gir vesentlig høyere amplituder, enn dager med mindre vind.

Vi gjennomførte også noen beregninger rundt lagrefrekvensene. Hvor vi fant noe avvik mellom @aptitude Observer og den teoretiske frekvensen. Det høyeste avviket vi fant var på 0,7 Hz, men vi antar at det ikke svekker en eventuell analyse.

Vi endte opp med å prøve ut funksjonen for automatisk grenseverdi, på et målepunkt. Og et målepunkt hvor vi satt en grenseverdi manuelt. Det vi så etter hvert var at den automatiske verdien lå en del lavere enn verdien satt av oss, i tillegg til et større intervall mellom

varselgrensen og alarmgrensen. Den automatiske verdien ville varslet om degradering på et tidligere stadium, da denne lå på en lavere verdi. Siden den automatiske ikke har aktivert noen falske alarmer enda, kan det tyde på at den er bedre plassert en vår manuelt satte verdi.

6. Konklusjon

I dette kapittelet vil vi prøve å komme med en konklusjon på resultatmålene vi har satt. Vi har ikke kommet med noen konklusjon på resultatmål 2 som går på å legge frem teori.

6.1 Konklusjon på Resultatmål 1

Ut ifra ståstedsanalysen konkluderer vi med at både greaseprøven og vibrasjonsanalysen indikerer at det kan være skade på generatorlager, uten at det er mulig å konkludere med at det er en skade. Vi mener det er vanskelig å konkludere med en lagerskade ut ifra vibrasjonsanalysen som er utført av WTG partners. Det på grunn av den korte tidsperioden den er utført på, og på grunn av at det ikke er noen gjentakende mønster å se i løpet av de 12 minuttene målingene er utført.

Vi mener mulige tiltak for å få bedre oversikt over tilstanden til generatorlageret kan være: Ta en ny greaseprøve for å se om det er mer eller mindre jern i greasen enn det var i 2016.

6.2 Konklusjon på Resultatmål 3

Med utgangspunkt i montering av IMx-8 systemet i RAMS laben og bruk av systemet på lab og i vindturbin, har vi sett på helheten og vurdert ut fra følgende kriterier: funksjonalitet og brukervennlighet.

IMx-8- system: Med en installasjonstid på rundt 2 timer utført av uerfarne studenter, mener vi systemet er brukervennlig. Det at man ikke har behov for spesielt utstyr eller verktøy for å installere systemet gjør systemet mer brukervennlig.

@ptitude observer: Brukervennligheten er som forventet av et slikt program. Noen mindre logiske løsninger, men sett i sin helhet blir de ubetydelige. Man må regne med noe opplæring i programmet, spesielt hvis brukeren ikke sitter med erfaring fra vibrasjonsanalyse fra før.

Når det gjelder kriteriet funksjonalitet dekker programmet det meste man trenger for å overvåke lagertilstand. Det at programmet gir deg feilfrekvensene i lageret og videre viser hvor på grafen de harmoniske frekvensene vises, tydeliggjør om man faktisk har en lagerskade, og hvor den befinner seg.

6.3 Konklusjon på Resultatmål 4

I resultatdelen presenterte vi to metoder for datafangst. Ved bruk av en Modbus eller ved bruk av OPC-UA. Som nevnt i resultatene har Modbusen mulighet for å motta værdata og få disse opp i @plitude Observer. Vi ser dette som en fordel i Modbusen sin favør.

Generelt kan vi si at denne oppgaven ikke går dypt nok inn i hver løsning til og kunne anbefale den ene eller andre. Her vil nok TEV sine ønsker og behov også spille inn.

Oppgaven svarer på resultatmål 4 med at det finnes to metoder og presenterer disse med prinsipiell virkemåte. Ved videre jobbing kan man se mer på TEV sine ønsker og behov for datafangst ut ifra det velge den beste løsningen.

6.4 Konklusjon på Resultatmål 5

For en best mulig grenseverdi vil vi anbefale å få tak i anbefalinger fra turbinleverandør. Om dette ikke lar seg gjøre vil en automatisk grense også kunne gi en fornuftig grenseverdi, som man kan endres på etter hvert som man samler mer data og kunnskapen øker. Det er ikke nødvendigvis at grenseverdien må si ifra om lageret har skader, men kan brukes som indikasjon på endring i vibrasjoner som tyder på degradering, eller at lageret har behov for smøring.

7. Referanseliste

Actech, u.d. <https://actech.af>.

Available at: <https://actech.af/erp-system/>

(Hentet: 14 Mai 2021).

aerzen, ukjent. aerzen.com.

Available at: <https://www.aerzen.com/services/analysis-and-consulting/machine-diagnosis.html>

(Hentet: 13 Mai 2021).

Anon., udefinert. www.nti.audio.com.

Available at: <https://www.nti-audio.com/en/support/know-how/fast-fourier-transform-fft>

(Hentet: 13 April 2021).

B+B SmartWorx, u.d. *bb-elec*.

Available at: <https://www.bb-elec.com/Learning-Center/All-White-Papers/Modbus/The-Answer-to-the-14-Most-Frequently-Asked-Modbus.aspx>

(Hentet: 12 Mai 2021).

Bye, P. I., 2009. *Vedlikehold og Driftsikkekhet*. 1. utgave red. Trondheim: NTNU.

Danijel Bogojevic, J. J., 2016. *Grease sample analysis and vibration analysis report*, Ebeltoft: WTG Partners.

Jacobsen, E., 2019. *Store norske leksikon*.

Available at: https://snl.no/Karl_Fisher-reagens

(Hentet: 13 April 2021).

Ludeca, 2021. *Reliableplant*.

Available at: <https://www.reliableplant.com/Read/22334/Vibration-acceptance-levels-wind-turbines>

(Hentet: 16 April 2021).

Mobius Institute , 2016. *Vibration analysis*. 4.0 red. s.l.:Mobiusinstitute.com .

Muth, F., 2015. *Innovasjon Norge*.

Available at: <https://innovasjonsbloggen.com/2015/10/22/hva-er-egentlig-industri-4-0/>
(Hentet: 14 Mai 2021).

nti-audio, ukjent . *nti-audio.com*.

Available at: <https://www.nti-audio.com/en/support/know-how/fast-fourier-transform-fft>
(Hentet: 13 Mai 2021).

OPC foundation, 2021. *opcfoundation.org/*.

Available at: <https://opcfoundation.org/wp-content/uploads/2016/05/OPC-UA-Interoperability-For-Industrie4-and-IoT-EN-v5.pdf>
(Hentet: 12 Mai 2021).

Pedersen, V. G., 2021. *ntnu.blackboard.com*.

Available at: https://ntnu.blackboard.com/ultra/courses/_23009_1/cl/outline
(Hentet: 18 Mai 2021).

Power-MI, 2021. *Power-mi.com*.

Available at: <https://power-mi.com/content/rolling-element-bearing-components-and-failing-frequencies>
(Hentet: 29 April 2021).

Rienecker, L. & Jørgensen, P. S., 2013. *Den gode oppgaven*. 2. utgave red. Bergen: Fagbokforlaget.

Siegel, D., 2009. *researchgate.net*.

Available at:
https://www.researchgate.net/publication/265038187_Evaluation_of_Health_Assessment_Techniques_for_Rotating_Machinery
(Hentet: 13 Mai 2021).

SKF, 2019. *skf.com*.

Available at: https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d19680962740-Observer-12_321709r0_UM-EN_tcm_12-514764.pdf
(Hentet: 13 Mai 2021).

SKF, 2021. *skf.com*.

Available at: <https://www.skf.com/group/products/condition-monitoring->

systems/surveillance-systems/on-line-monitoring/imx

(Hentet: 5 Mai 2021).

Støvneng, J. A., 2019. *Store norske leksikon*.

Available at: https://snl.no/harmonisk_svingning

(Hentet: 25 April 2021).

Støvneng, J. A., 2021. *snl.no*.

Available at: <https://snl.no/vibrasjoner>

(Hentet: 18 Mai 2021).

STI Vibration monitoring Inc, 2020. *stiweb*.

Available at: https://www.stiweb.com/kb_results.asp?ID=177

(Hentet: 29 April 2021).

STI, 2017. *STI Vibration monitoring inc*.

Available at:

<https://www.stiweb.com/v/vspfiles/downloadables/downloadDataSheets/CMCP576.pdf>

(Hentet: 6 Mai 2021).

TrønderEnergi, 2021. *tronderenergi.no*.

Available at: <https://tronderenergi.no/produksjon/kraftverk/bessakerfjellet>

(Hentet: 7 Mai 2021).

Triple-s, 2021. *Triple-s.no*.

Available at: <https://www.triple-s.no/opc-ua-produkter>

(Hentet: 12 Mai 2021).

Uherek, F. C., 2021. *Rexnord*.

Available at: <https://www.rexnord.com/blog/articles/bearings/what-is-110-life>

(Hentet: 23 April 2021).

Wikipedia, 2020. *Wikipedia*.

Available at: <https://no.wikipedia.org/wiki/Enercon>

(Hentet: 6 April 2021).

Øverby, H., 2020. *Store norske leksikon*.

Available at: https://snl.no/tingenes_internett

(Hentet: 14 Mai 2021).

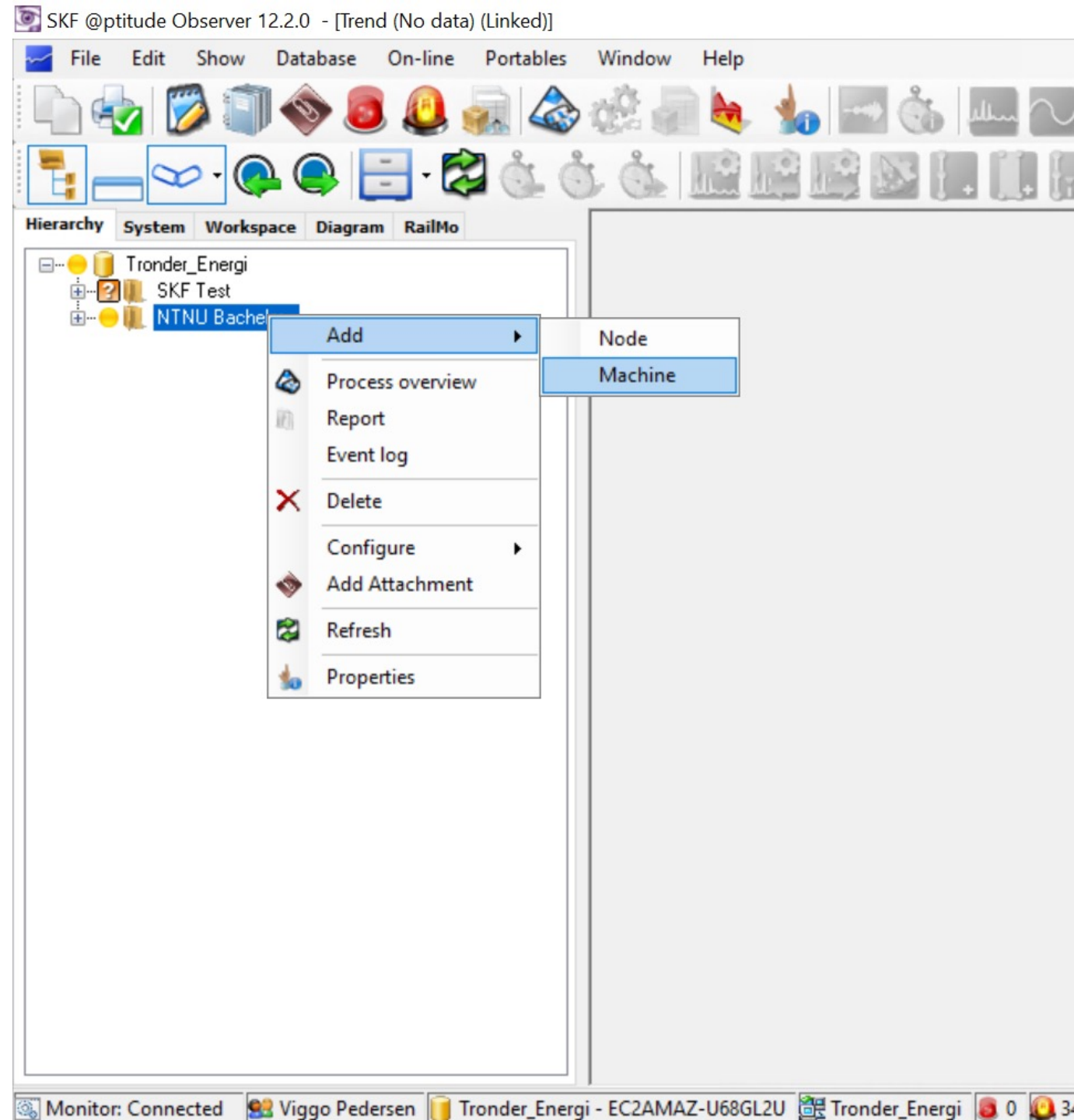
Øvern, A., Egeland, O. & Njåstad, E., 2018. *Industry 4.0 - Digital Twins and OPC UA*.

Available at: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2561319>

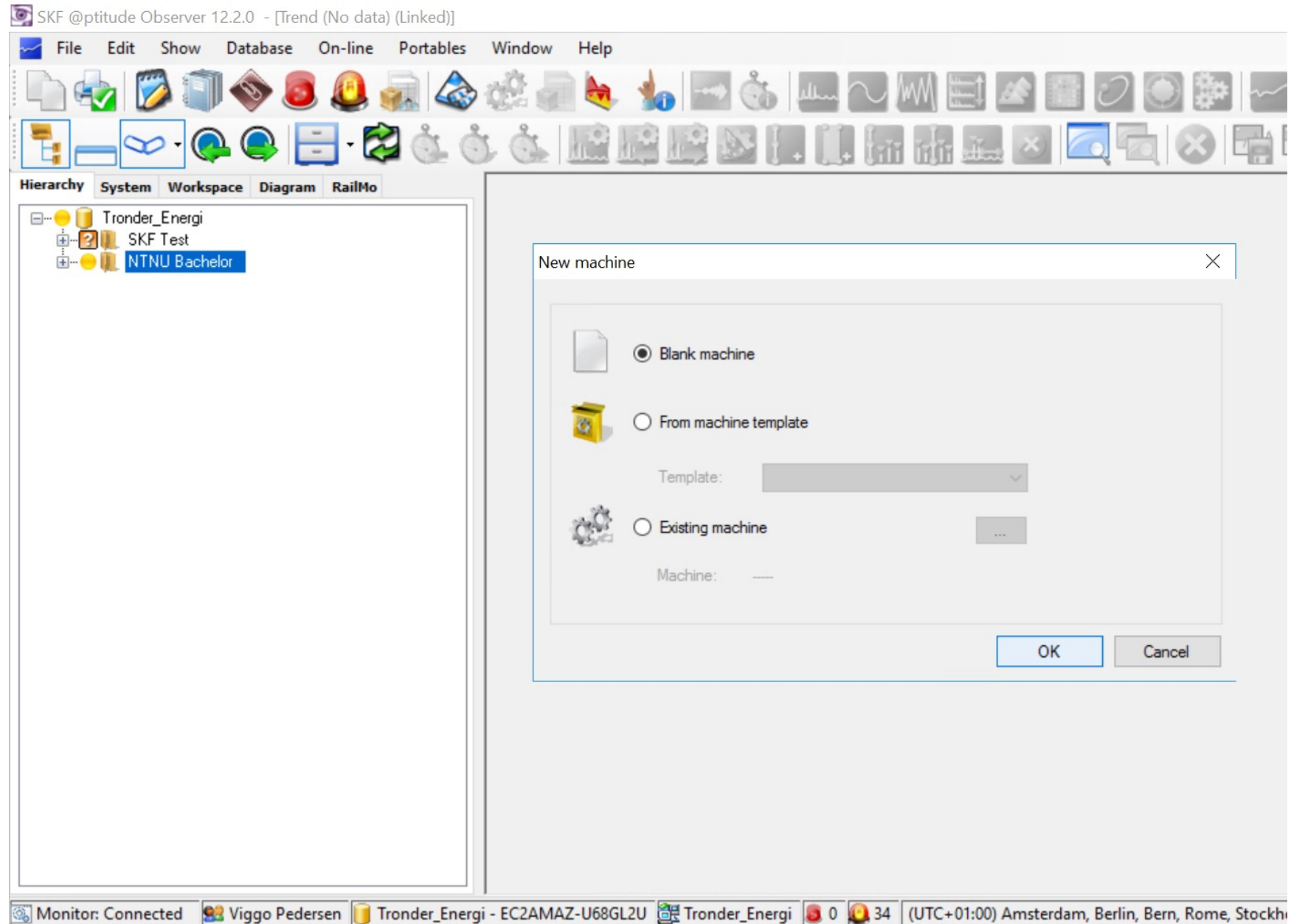
(Hentet: 12 Mai 2021).

Vedlegg 1

- Maskinen det skal måles på legges inn. Høyreklikk på mappen hvor maskinen skal ligge, velg «Add» og «Machine».




- Velg «Blank machine» dersom det ikke eksisterer en maskin fra før. Trykk «OK» for å bekrefte.



Machine properties

General Extended Information Diagnosis Protean Diagnoses Attachments Advanced Machine parameters RailMo Enlight Collect

Settings

 **Name:**

Description:

Machine code:

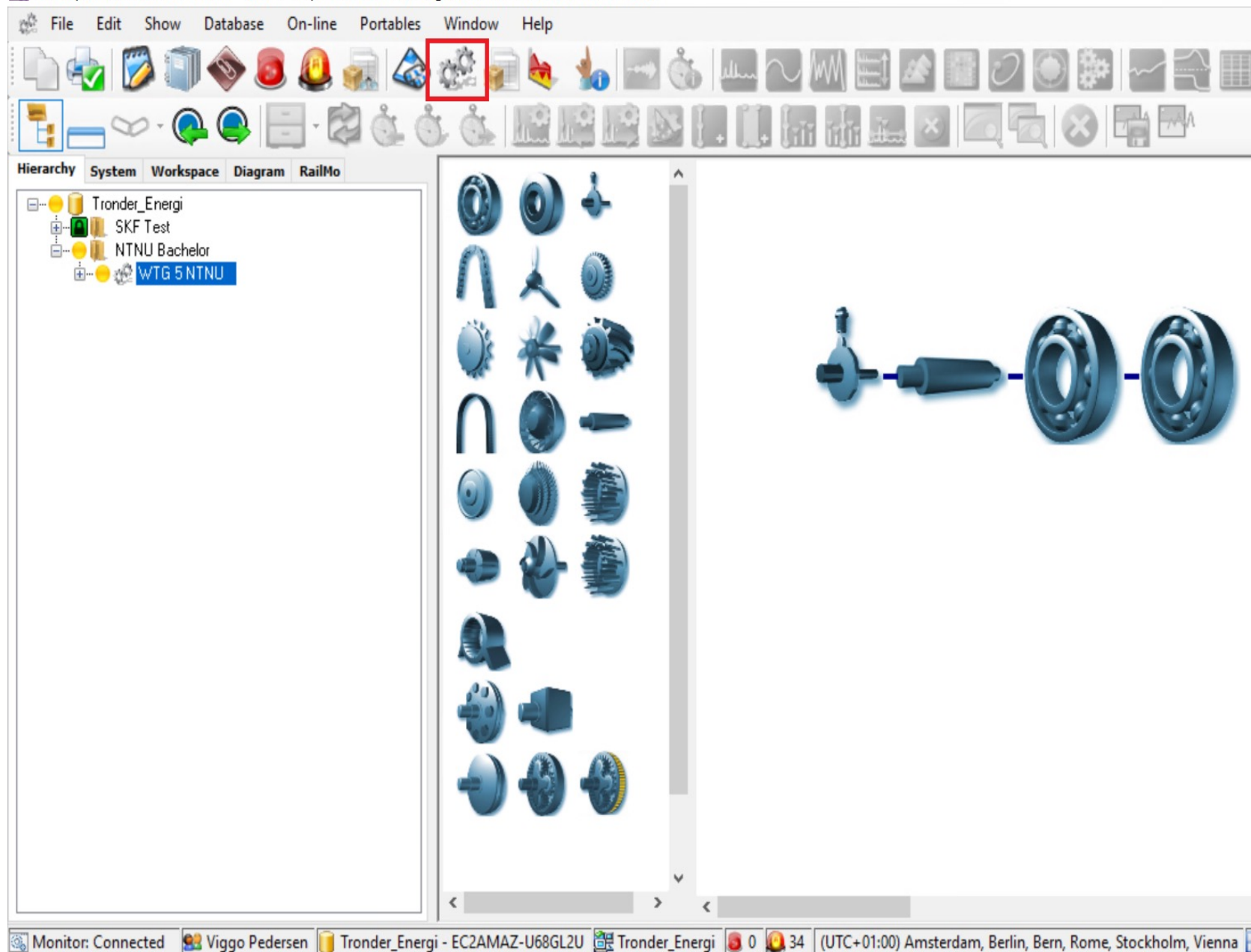
ISO class:

OK Cancel

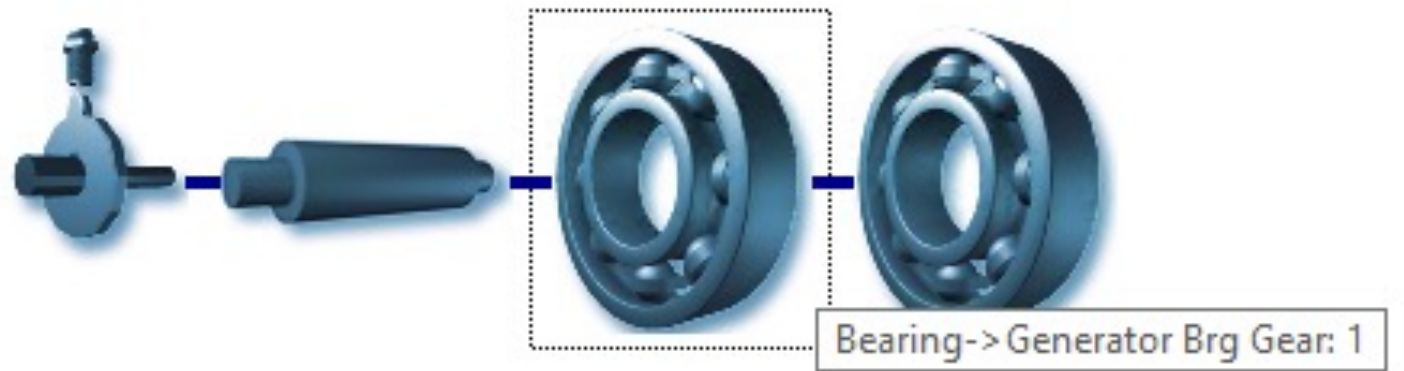
Hierarchy System Workspace Diagram RailMo

- Tronder_Energi
 - SKF Test
 - NTNU Bachelor

- Skriv inn navn og evt beskrivelse på maskinen, og trykk «OK».



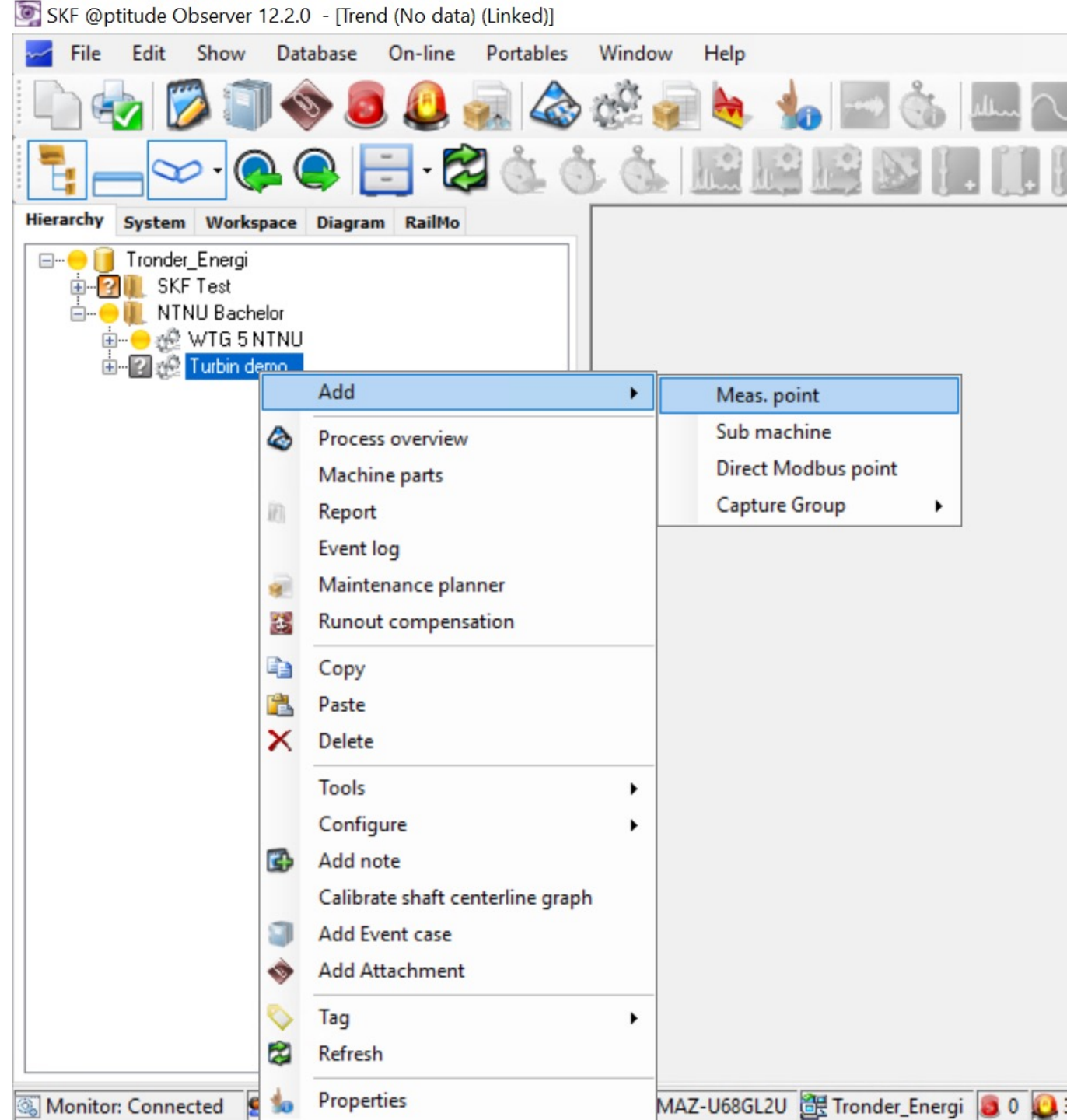
- Etter maskinen er opprettet velger man komponenter som maskinen består av (som er relevant for målingene). Her er det «drag and drop» funksjon.



- Her kan man gå inn og legge inn mer informasjon om hver enkelt komponent. Det ligger også en database med et utvalg av lager.

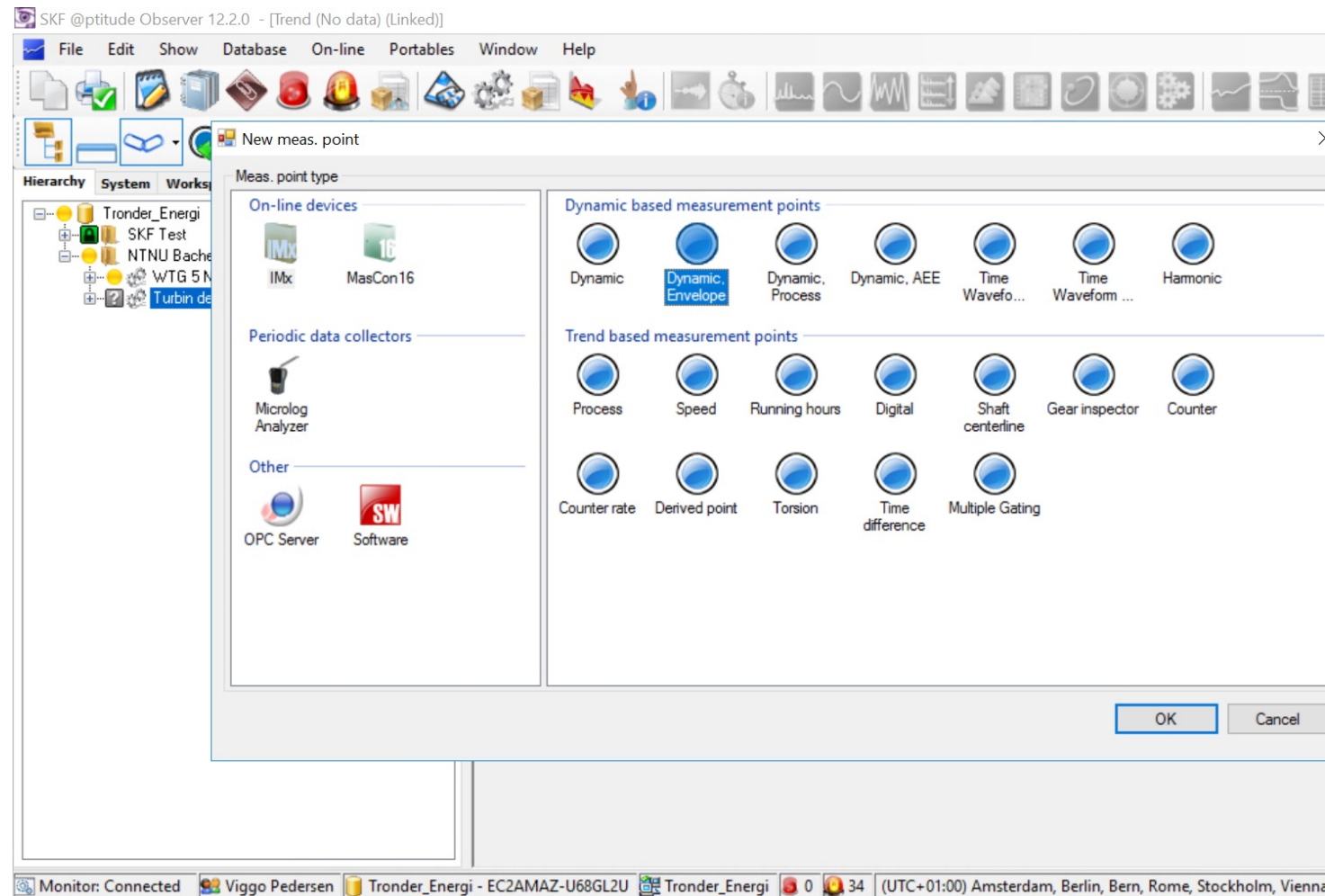
Machine parameters

Name:	<input type="text" value="Generator Brg"/>
Part number:	<input type="text"/>
Type:	<input type="text" value="Bearing"/>
Manufacturer:	<input type="text" value="SKF"/> ...
Bearing code:	<input type="text" value="BT2-8079/HA1_OHNE_DICHT"/>
Rotating race:	<input checked="" type="radio"/> Inner race <input type="radio"/> Outer race



- For og komme i gang oppsette av målepunktene må man legge til ønskede «Measurement points»: Høyreklikk på maskinen som ble lagd tidligere, velg «Add» og «Meas.point»

- For Envelope velger man «Dynamic Envelope».
- Følg oppsettet videre og fyll inn for hver fane på neste side.



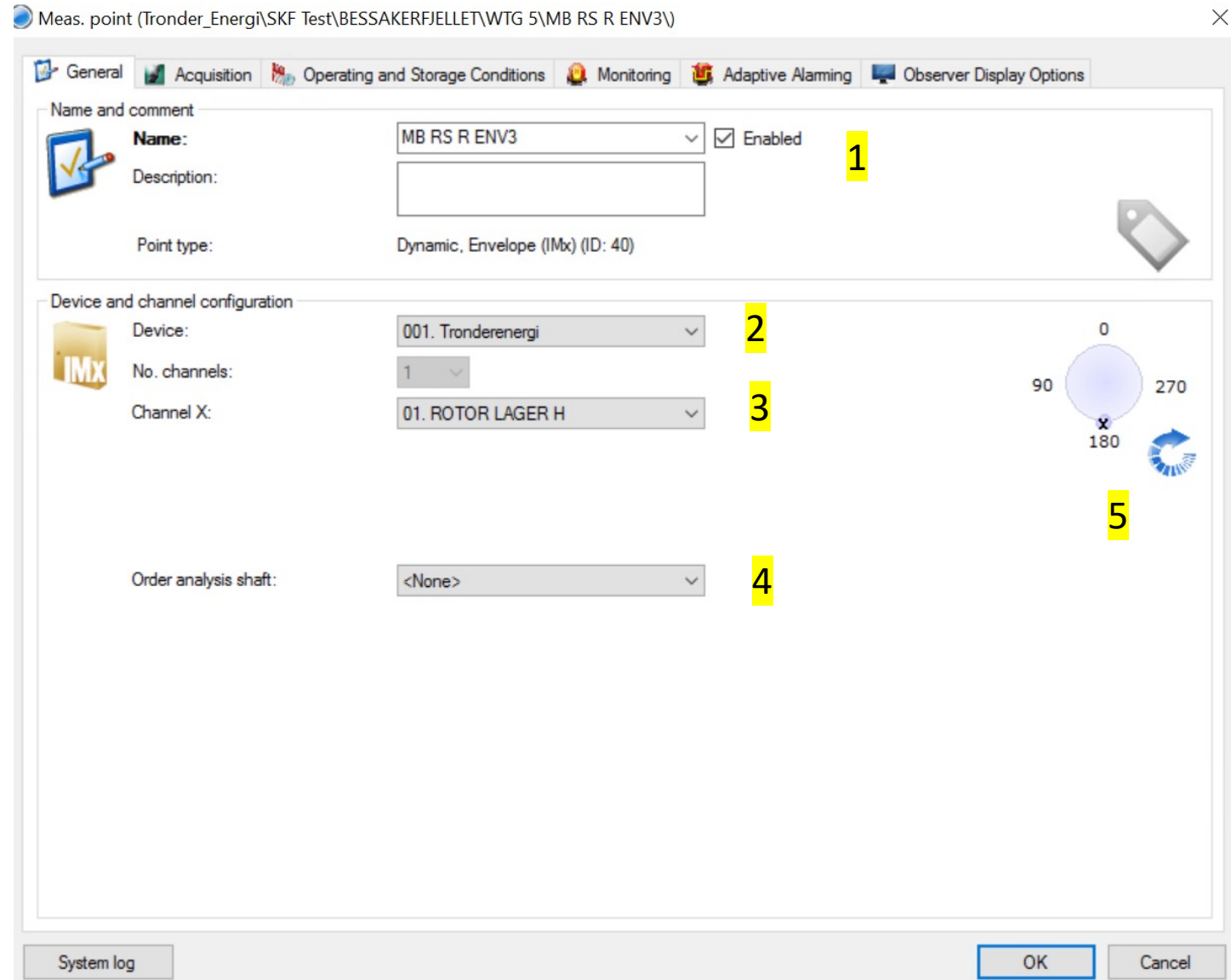
1. Navn på målepunkt

2. Navn på Imx enhet

3. Navn på sensor med plassering

4. Er akselen på maskinen som skal brukes til ordreanalyse i spektrum, historie og 3D-plot.

5. Plassering i forhold til lager



1. Pre-prosesseringstype for eksempel Envelope.

2.

- Fixed frequency: Måler like ofte uansett frekvens/omdreining

Pre-processing: [None] Trigg.

Acquisition type: Fixed frequency

No. of lines: 6400

Frequency range: 0 - 1 kHz, 0 - 60 000 cpm **14**

- Order tracking: er en effektiv måte å analysere maskiner med variabel hastighet på. Den måler akselens hastighet hver omdreining og justerer prøvetakingshastigheten for å holde samme antall prøver per omdreining uavhengig av akselhastighet.

3. Antall linjer som behøves for å gjennomføre FFT

4. Hvor mange passeringer til et gitt punkt.

5. Type vindu for en FFT

6. Er lavfrekvensavskjæringen som kan brukes som et filter til begrense uønskede topper eller "skiløyper" i starten av FFT. For eksempel å sette dette verdien til 5 vil nullstille alle verdiene mellom 0 og 5 Hz i FFT.

7. Bestemmer hvilket format av fangede data som skal lagres i systemet. Det er bare anbefalt å lagre bølgeform. Observer vil i farta beregne og vise FFT basert på bølgeformen når du klikker på spektrene knapp.

Meas. point (Tronder_Energi\SKF Test\BESSAKERFJELLE\WTG 5\MB RS R ENV3\)

General Acquisition Operating and Storage Conditions Monitoring Adaptive Alarming Observer Display Options

Acquisition

Pre-processing: Acc Env 3 (500 - 10 kHz) **1**

Acquisition type: Order tracking Trigg. **2**

No. of lines: 3200 **3**

No. revolutions: 16 **4**

Window: Hanning **5**

Spectra low freq. Cutoff: 0.2 [X] **6**

Save: Spectra **7**

Resolution: 0,0625 X/Line

No. samples: 8192

Max order: 200 X

Recommended setting for optimal performance is to store time waveform only (FFT is calculated in software when needed) unless you need averaging in the frequency domain.

Trend Configuration

No. of lines: Same as spectra **9**

E.U.: gE **10**

Scaling: PtP **12**

Exp. averaging: 0% Rapid **11**

Associated measurements

Speed meas.: Rotor Speed **13**

Process meas.: <None>

Digital meas.: <None>

In order to use triggering, a speed point using a physical tachometer is required.

System log OK Cancel

- 8.
- Resolution ved order tracking: Viser oppløsning ut i fra valgte verdier i punkt 3 og 4
 - No. Samples: nødvendige målinger for å lage time waveform
 - Resoultion ved fixed frequency: Viser oppløsning ut i fra valgte verdier i 3 og 14 (fra forrige side)
 - Meas.time: Viser måletiden ut fra valgte verdier fra 3 og 14 (fra forrige side)

9. Hvor mange linjer du ønsker og vise i trenden.

10. Måleenhet på x-akse

11. Eksponentiell gjennomsnitt: Jevner ut kurven og hindrer at alarmer slår ut ved forstyrrelser/støy inntreffer.

Formel: $ny\ kalkulert\ verdi = målt\ verdi(1 - forventet\ verdi) + siste\ kalkulerte\ verdi * forventet\ verdi$

12. Definerer hvordan trendverdier blir kalkulert og lagret

13. Valg av hastighetsmålingspunkt

Meas. point (Tronder_Energi\SKF Test\BESSAKERFJELLET\WTG 5\MB RS R ENV3\)

General Acquisition Operating and Storage Conditions Monitoring Adaptive Alarming Observer Display Options

Acquisition

Pre-processing: Acc Env 3 (500 - 10 kHz) 1

Acquisition type: Order tracking 2

No. of lines: 3200 3

No. revolutions: 16 4

Window: Hanning 5

Spectra low freq. Cutoff: 0,2 [X] 6

Save: Spectra 7

Resolution: 0,0625 X/Line 8

No. samples: 8192

Max order: 200 X

Recommended setting for optimal performance is to store time waveform only (FFT is calculated in software when needed) unless you need averaging in the frequency domain.

Trend Configuration

No. of lines: Same as spectra 9

E.U.: gE 10

Scaling: PtP 12

Exp. averaging: 0% Rapid 11

Associated measurements

Speed meas.: Rotor Speed 13

Process meas.: <None>

Digital meas.: <None>

In order to use triggering, a speed point using a physical tachometer is required.

System log OK Cancel

1. Hastighet: betyr at den aktive rekkevidden bestemmes av hastigheten målepunktavlesninger valgt i «Associated Measurements» i «Acquisition» fanen.

2. Hvis forskjellen mellom to målepunkter blir for høy, antar systemet at vibrasjonen kommer fra abnormale kilder, og dermed stoppe målingene for å filtrere ut det som støy.

3. Systemet kan tvinges til å kun ta data når amplitudeavlesningene er innenfor visse nivå, ved å tilordne en minimums- og en maksimumsverdi for målområdet. Hvis en verdi er utenfor målområdet, vil systemalarmen genereres i stedet for en alarm på målepunktet.

4. Aktivisering av planlagt trendlagring. Trend Selection definerer hvilke målte verdier som skal holdes under lagringsintervallet

Maks: Holder maksimumsverdien for hele lagringsintervallperioden.

Min: Holder minimumsverdien for hele lagringsintervallperioden.

Først: Holder den første verdien målt i intervallet for lagring.

Intervall er ønsket intervall for datafangst.

5. Intervallalarm er ønsket intervall for datafangst når nivået er i advarsel

eller alarmtilstand.

6. Funksjon som filtrer ut høye spikes i vibrasjonen, som er mest sannsynlig forårsaket av eksterne forhold. Denne funksjonen gir ikke alarm og lagrer ikke avlesningen. Men avlesningen vil gi utslag på punkt 3

7. Hvor ofte et spektrum lagres ved normal drift. Og hvilket intervall det lagres på etter en alarm er utløst.

Meas. point (Tronder_Energ)\SKF Test\BESSAKERFJELLET\WTG 5\MB RS R ENV1\

General Acquisition **Operating and Storage Conditions** Monitoring Adaptive Alarming Observer Display Options

Operating Condition

Type: Speed Condition: 2 30 [cpm] 1 Max allowed delta: 0 [cpm] 2

Type: All

Valid Measurement Range

Enabled Min: 0 [gE PtP] Max: 0 [gE PtP] 3

Applies to the values in the Overall band

Scheduled Trend Storage

Enabled IMx/MasCon Trend Selection: First Database Rolling buffer: First

Interval: 10 Minutes 4 Interval alarm: 10 Minutes 5

Spike filter

Enabled 0 [g PtP] 6

Scheduled Dynamic Data Storage

Enabled

Type: Same as Operating Conditic

Type: Same as Operating Conditic

Average: Frequency Number: 1

7 Interval: 1 Hours Interval alarm: 7 Minutes

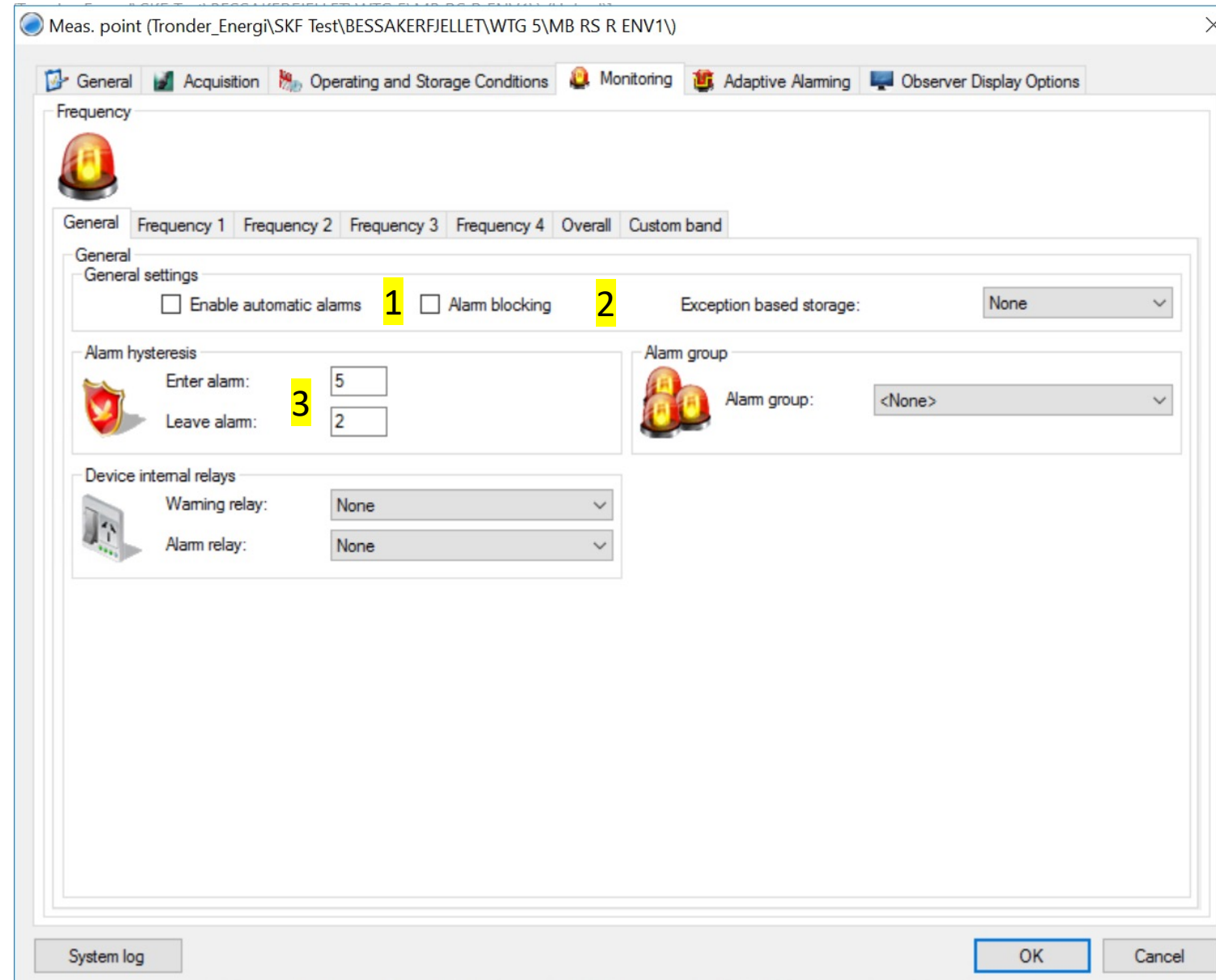
System log OK Cancel

1. Automatisk alarm gjør at målepunktet kan bruke automatiske nivåer for valgte aktive trendalarmer. Systemet vil automatisk beregne alarmen og varslingsnivå etter et minimum spesifikt antall historiske verdier er lagret i databasen.

2. Gjør at man midlertidig kan deaktivere alarmer

3. Enter: Antall ganger påfølgende målinger som må være over alarm grensen før den trigger alarmen

Leave: Antall ganger verdien må være under alarm grensen for å forlate alarm tilstanden.



1. **Frekvensbånd** betyr at det totale vil bli beregnet fra et definert bånd i frekvensdomenet.
2. **TruePtP** betyr at det totale vil bli beregnet ut fra bølgeformen (true- peak-peak) og deretter skalert til RMS, peak eller peak-peak (= ingen kalering) i henhold til «Trend Configuration» innstillingene i kategorien «Acquisition».
3. **Start** er startfrekvensen til frekvensbåndet som skal overvåkes.
4. **Stopp** er slutfrekvensen til frekvensbåndet som skal overvåkes.
5. **Alarmgrenser** for Warning level og Alarm level

