

Ann Katrin Hoås Hanssen, Kenneth Marius
Madsen

Stasjonært vibrasjonsanalyseutstyr fra SKF utnyttet til å konstruere en portabel løsning

Portabel måleenhet

Bacheloroppgave i Drift og vedlikehold

Veileder: Viggo G. B. Pedersen

Mai 2024



NTNU

Kunnskap for en bedre verden

Ann Katrin Hoås Hanssen, Kenneth Marius Madsen

Stasjonært vibrasjonsanalyseutstyr fra SKF utnyttet til å konstruere en portabel løsning

Portabel måleenhet



Bacheloroppgave i Drift og vedlikehold
Veileder: Viggo G. B. Pedersen
Mai 2024

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



Kunnskap for en bedre verden

RAPPORT BACHELOROPPGAVEN

Tittel

Stasjonært vibrasjonsanalyseutstyr fra SKF utnyttet til å konstruere en portabel løsning

Title

Stationary Vibration Analysis Equipment from SKF Utilized to Construct a Portable Solution

Prosjektnummer:

MTP-D-2024-06

Forfattere:

Ann Katrin Hoås Hanssen, Kenneth Marius Madsen

Studium:

Bachelor Maskiningeniør

Studieretning:

Drift og Vedlikehold

Oppdragsgiver eksternt:

Nidar Bergene AS

Veileder internt:

Viggo Gabriel Borg Pedersen

Rapporten er ÅPEN**Dato levert:**

21.05.2024

Kort sammendrag

Prosjektet går ut på å utvikle en portabel måleenhet, og teste denne i felt. Hensikten med oppgaven er å effektivt kunne montere og koble fra utstyr i felt som det er hensiktsmessig å ta målinger på. Det vil bli montert IMX8 med strømforsyning i en koffert, og deretter teste den i felt hos Nidar, på melismøllen.

Short summery

This project involves developing a portable measuring unit and testing it in the field. The purpose of the task is to efficiently mount and disconnect equipment in the field for which measurement are desired. An IMX8 with a power supply will be installed in a case, and then it will be tested in field at Nidar, at the powdered sugar mill.

Stikkord:

- SKF @ptitude,
- IMX8 med strømforsyning
- Portabel måleenhet
- Felt
- Ståstedsanalyse
- Melismølle

Keywords:

- SKF @ptitude
- IMX 8 with Power Supply
- Portable Measure Device
- Field
- Point of View Analysis
- Powdered Sugar Mill

Forord

Denne bacheloren avslutter tre års studier i drift og vedlikehold, utført ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim. Rapporten er utarbeidet av Ann Katrin Hoås Hanssen og Kenneth Marius Madsen fra bachelorstudiet Maskiningeniør. I løpet av dette studiet har vi tilegnet oss verdifull kunnskap og nyttig erfaring som er brukt i gjennomføringen av denne oppgaven, utført våren 2024.

Hensikten med oppgaven er å bygge en portabel måleenhet og få testet denne i felt. Oppgaven ble foreslått av veileder Viggo Pedersen, høsten 2023. Vi synes begge at dette hørtest spennende ut, så valget ble enkelt. Oppgaven har vært svært relevant til de ulike temaene i emnene, og mye av pensum i studiet har blitt brukt for å løse oppgaven. Ved gjennomføring av bacheloroppgaven har vi fått testet kunnskaper innenfor konstruksjon, vedlikeholdsrelatert arbeid og samarbeid.

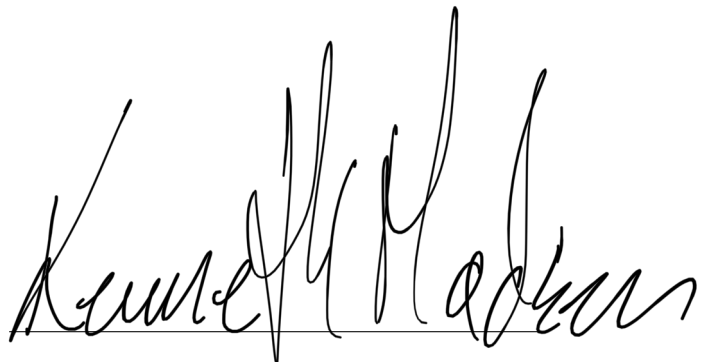
Gruppen ønsker å benytte anledningen til å takke foreleser og veileder, Viggo Pedersen. Vi er takknemlig for vår veileder som har vært en viktig ressurs for fremdriften av dette prosjektet, samt gitt oss denne oppgaven. Hans ekspertise, kompetanse på det aktuelle feltet og bidrag til vårt arbeid gjennom konstruktive tilbakemeldinger, gode råd og støtte har vært avgjørende for gjennomføring av dette prosjektet. Videre vil vi takke Erik Solberg ved SKF for god assistanse og veiledning innen SKF @ptitude. Gruppen vil også rette en takk til Leif Håkon Jensen ved Nidar for at vi fikk montere og teste den portable måleenheten.

Trondheim,

21.05.2024



Ann Katrin Hoås Hanssen



Kenneth Marius Madsen

Sammendrag

Denne bacheloroppgaven tar for seg konstruksjon av en portabel måleenhet for vibrasjonsanalyse, basert på stasjonært utstyr fra SKF. Hovedmålet var å lage en løsning som kunne brukes i felt for å effektivt montere og demontere utstyr ved behov for målinger. Den portable måleenheten er tiltenkt undervisningen ved NTNU, for at studenter kan ta nytte av den og bruke den videre. Prosjektet ble gjennomført i samarbeid med Nidar, hvor den portable måleenheten ble testet på en melismølle.

Den portable måleenheten ble konstruert ved å montere en IMX8 Plus med strømforsyning i en koffert. Den korte testingen viste at enheten fungerer og gir vibrasjonsdata. Dette kan bidra til å forbedre vedlikeholdsprosesser ved å identifisere behov for reparasjoner eller justeringer tidlig. For å få en oversikt av den daværende situasjonen, ble det gjennomført en ståstedsanalyse. Dette kan bidra til å forbedre vedlikeholdsprosesser ved å identifisere behov for reparasjoner eller justeringer tidlig.

Oppgaven har også gitt verdifull praktisk erfaring innen konstruksjon, vedlikeholdsarbeid og samarbeid. Begrensninger i studien er at det er testet kun på én type maskin. Videre bør det inkluderes testing på ulike maskiner og miljøer for å forbedre utstyret ytterligere og øke påliteligheten.

Summary

This bachelor's thesis addresses the construction of a portable measuring unit for vibration analysis, based on stationary equipment from SKF. The main objective was to create a solution that could be used in the field to efficiently mount and dismount equipment as needed for measurements. The portable measuring unit is intended for teaching at NTNU, so that students can benefit from it and use it in the future. The project was carried out in collaboration with Nidar, where the portable measuring unit was tested on a powdered sugar mill.

The portable measuring unit was constructed by mounting an IMX8 Plus with a power supply in a case. The short testing period showed that the unit functions and provides vibration data. This can help improve maintenance processes by identifying the need for repairs or adjustments early. To get an overview of the current situation, a status analysis was conducted. This can contribute to improving maintenance processes by identifying the need for repairs or adjustments early.

The project also provided valuable practical experience in construction, maintenance work, and collaboration. Limitations of the study include testing on only one type of machine. Further testing on various machines and environments should be included to further improve the equipment and increase its reliability.

Begreper og forkortelser

Avskalling	Små biter eller flak som faller av en overflate
Avvik	Hvor mye feil det er i måleverdien i forhold til den faktiske verdien
BPFI	<i>Ball Pass Frequency Inner Race</i> : Indikerer feil på innerringen
BPFO	<i>Ball Pass Frequency Outer Race</i> : Indikerer feil på ytterringen
BSF	<i>Ball Spin Frequency</i> : Indikerer feil på kule/rulleoverflaten
CMMS	Datastyrt vedlikeholdsstyringssystem
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i> : Brukes til vibrasjonsanalyse for å identifisere frekvenskomponentene
FTF	<i>Fundamental Train Frequency</i> : Indikerer feil i kuleholderen
Industri 4.0	Den fjerde industrielle revolusjonen
True peak to peak	Differansen mellom den høyeste bølgetoppen og den laveste bølgebunnen innen et bestemt intervall.

Innholdsfortegnelse

Figurliste	ix
Tabelliste	x
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn og motivasjon	1
1.2 Problemstilling	2
1.3 Resultatmål	2
1.4 Effektmål	3
2 Teori	4
2.1 Generelt om vedlikehold	4
2.1.1 Vedlikeholdsstrategi	7
2.2 SKF @ptitude Observer	7
2.3 Målenøyaktighet	8
2.4 Kalibrering	9
2.5 Vibrasjon	10
2.5.1 Tilstandsparameter ved degradering	11
2.6 Frekvens	12
2.6.1 Grunnfrekvens	13
2.6.2 Frekvensdomene	14
2.7 Envelope	15
2.8 Sensorer til bruk i vibrasjonsmåling	16
2.8.1 Plassering av målepunkter	17
2.9 Lagerskade	18
2.9.1 Ulike feilfrekvenser på lager	20
2.9.2 Lagerskade i forhold til vibrasjon	22
2.10 Bærekraft	24
2.11 Digitalisering og Industri 4.0	25
3 Metode	26
3.1 Intervju og Teamsmøter	26
3.2 Tidligere oppgaver	26
3.3 Litteratur	27
3.4 RAMS - Lab	27

3.5	Kildekritikk	28
3.6	Feilkilder	28
4	Resultater	29
4.1	Ståstedanalyse	29
4.1.1	Kort presentasjon av bedriften	29
4.1.2	Presentasjon av melismølla	29
4.1.3	Befaring	31
4.1.4	Vedlikehold	31
4.1.5	Feltmåling	32
4.2	Portabel måleenhet	34
4.2.1	Planleggingsfasen	34
4.2.2	SKF IMx8 Plus	35
4.2.3	Akselerometer	37
4.2.4	Tacho sensor	37
4.2.5	Konstruksjon	39
4.2.6	Ta i bruk den portable måleenheten i SKF @ptitude	40
4.2.7	Innstillinger SKF @ptitude	42
4.3	Vibrasjonsanalyse	42
4.4	Brukermanual	43
5	Diskusjon	45
5.1	Styrker og svakheter med den portable måleenheten	45
5.2	Ståstedanalyse	46
5.2.1	A. Befaring av melismølle hos Nidar	46
5.2.2	B. Se på tidligere vedlikeholdsdata for melismølla i CMMS	48
5.2.3	C. Gjennomføre feltmåling hos Nidar på melismølle	49
5.3	Vibrasjonsanalyse	49
5.4	Veien videre	50
6	Konklusjon	51
6.1	Hovedfunn og resultater	51
6.2	Læringsutbytte	51
6.3	Begrensninger og veien videre	51
6.4	Anbefalinger	52
6.5	Avslutning	52

7	Kilder	53
8	Vedlegg	56
8.1	Brukermanual portabel måleenhet	56

Figurliste

2.1	Utvikling av vedlikehold	4
2.2	Vedlikeholdsforbedringer og kostnader	5
2.3	Eksempel på en vedlikeholdssløyfe	7
2.4	Eksempel av ideell målekurve og virkelig målekurve	8
2.5	Sammenhengen mellom måleparameter	11
2.6	Forvarsling med forskjellige parameter	12
2.7	Relevante frekvensområder for maskinvibrasjon	13
2.8	Sammenhengen mellom tid og frekvens	14
2.9	Envelope-signalet visualisert	15
2.10	Posisjongivere montert med en 90-graders vinkel	16
2.11	Eksempel av plassering av målepunkter på en pumpe	17
2.12	SKF - Hyppigste årsaker til lagersvikt	19
2.13	Fire faser av lagerskade	22
2.14	Bærekraftsmål 7, 9 og 12	24
4.1	Melismølla foran	30
4.2	Melismølla bak	30
4.3	Snittbilde av mølla	30
4.4	Turtallsmåling	31
4.5	Monterte vibrasjonssensorer	32
4.6	Vibrasjonssensor elmotor	32
4.7	Montering av turtallssensor	33
4.8	Turtallssensor fra siden	33
4.9	SKF IMx8 Plus Top	35
4.10	SKF IMx8 Plus Bottom	35
4.11	SKF IMx8 Plus Top	36
4.12	SKF IMx8 Plus Bottom	36
4.13	CMSS-WIND-100-10	37
4.14	Tacho Sensor	37
4.15	Tacho Sensorer	38
4.16	Koffert fra Clas Ohlson	39
4.17	Åpen koffert	39
4.18	Under montering	40
4.19	Deler fra SKF	40

4.20	Komplett koffert	40
4.21	SKF Cloud Solutions	41
4.22	Legge til maskindeler	42
4.23	Envelope avlesing fra innsamlet data	43
4.24	Forside brukermanual	44
5.1	Tachosensor fra siden	47
5.2	Skadet tachosensor	48

Tabelliste

1.1	Resultatmål	2
1.2	Effektmål	3
4.1	Snitt av tabell Resultatmål	29
4.2	IMx8 Plus innganger/utganger	36

1 Introduksjon

I dette kapittelet vil vi se nærmere på hvordan oppgaven er bygget opp. Først vil det bli sagt noe om bakgrunn og motivasjon til oppgaven, før det vil bli gjennomgått hvilke mål gruppen har satt seg, og mål for samarbeidspartene som er en del av oppgaven.

1.1 Bakgrunn og motivasjon

Oppgaven ble valgt ut av medlemmene i gruppa etter å ha fått tilsendt et utvalg av forslag fra foreleser og veileder Viggo Gabriel Pedersen. Dette var noen oppgaver han hadde tilgjengelig og lurte på om det var noen vi var interesserte i. Det å bygge en portabel koffert med vibrasjonsutstyr i og gjennomføre en vibrasjonsanalyse, så vi på som en god måte å bli kjent med utstyr og metoder innen vibrasjonsanalyse, samt SKF. Høsten 2023 startet med å kontakte bedriftene som skulle være en del av oppgaven, SKF er de som står for utstyret og Nidar stiller analyseobjekt i form av en melismølle uten noe form for digital oppfølging.

Det ble gjort en avtale om å installere sensorer på melismølla i starten av 2024 - men før installeringen av utstyr kunne gjennomføres måtte den portable enheten bygges og klargjøres i form av testing og kalibrering. Etter å ha vært i kontakt med SKF og Nidar, ble det planlagt hvilke sensorer som var hensiktsmessig å ha med. Etter flere møter med SKF fikk vi også kalibrert sensorene slik at dataene skulle bli korrekte og enkel å analysere.

Denne bacheloren tar for seg å konvertere stasjonert viberasjonsutstyr fra SKF til en portabel måleenhet, denne kan brukes i opplæring for å dra ut i felt og ta feltmålinger over en periode. Dette vil være noe studenter ved NTNU kan benytte seg av i opplæring i vibrasjonsanalyse. Det skal være en enkel enhet som skal være lett å ta i bruk, og med en god bruksanvisning ville studentene ha god nytte av dette verktøyet i studiene. Det å kunne bygge/skape noe nytt av eksisterende utstyr fra SKF - som videre kan bli brukt for kommende studenters læring, er motiverende for å få gjennomført denne oppgaven.

Gjennom vårt 3-årige studie på *Drift og Vedlikehold* ved NTNU har vi hatt mye om vibrasjonsanalyse og forskjellige måter å samle inn data på. Temaet *prediktivt vedlikehold*

er meget lærerikt og kan ha stor innvirkning senere i arbeidslivene våre som maskiningeniører innen drift og vedlikehold. Dette er et tema som går igjen i flere fag under Drift og Vedlikehold, og blir mer fokusert på i industrien.

1.2 Problemstilling

NTNU sitt IMX8 system med SKF@ptitude skal utvikles videre med oppbygging til portabelt måleutstyr. Til formålet skal IMX8 Plus med nødvendig tilbehør monteres i egen portabel måleenhet for hurtig montering/demontering i felt. Dette skal testes i samarbeid med Nidar på en av deres maskiner, en melismølle som i dag kun har visuell oppfølging. Her skal vi gi Nidar en analyse på melismølla for å eventuelt avdekke et behov for mer oppfølging av maskinen.

1.3 Resultatmål

Gruppen har kommet fra til 3 resultatmål med 9 delmål, disse skal gjøre at vi skal få fullført oppgaven på en bra måte.

1. Ståstedsanalyse
A. Befaring av melismølle hos Nidar B. Se på tidligere vedlikeholdsdata for melismølla i CMMS C. Gjennomføre feltmåling hos Nidar på melismølle
2. SKF portabelt måleutstyr
A. Sette seg inn i IMX8 Plus med oppkobling mot SKF @ptitude B. Bygge portabel måleenhet med IMX8 Plus C. Koble opp enheten i SKF @ptitude og kjør test på RAMS lab på NTNU
3. Sluttresultat
A. Rapportere måleresultat til Nidar B. Introdusere portabel måleenhet C. Lage prosedyre/bruksanvisning for bruk av portabel måleenhet

Tabell 1.1: Resultatmål

1.4 Effektmål

Under diskusjon over effektmål kom vi fram til at vi har tre ulike grupper med effektmål, som er delt opp i; gruppen, Nidar og NTNU. Gruppas sine mål går inn på at vi ønsker å oppnå erfaring av å jobbe med vibrasjonsanalyse og utstyret benyttet til dette. Effektmålet til Nidar er vibrasjonsanalysen vi skal gjennomføre etter innsamling av vibrasjonsdata. Når det gjelder effektmålet til NTNU, så ønsker vi å gi dem et verktøy som er funksjonelt, og vil kunne bidra til at andre studenter kan bruke dette til å dra ut i felt for å ta analysedata av hvilken som helst maskin. Dette vil kunne bidra til økt utvikling innen feltet vibrasjonsanalyse og opplæring i utstyr fra SKF.

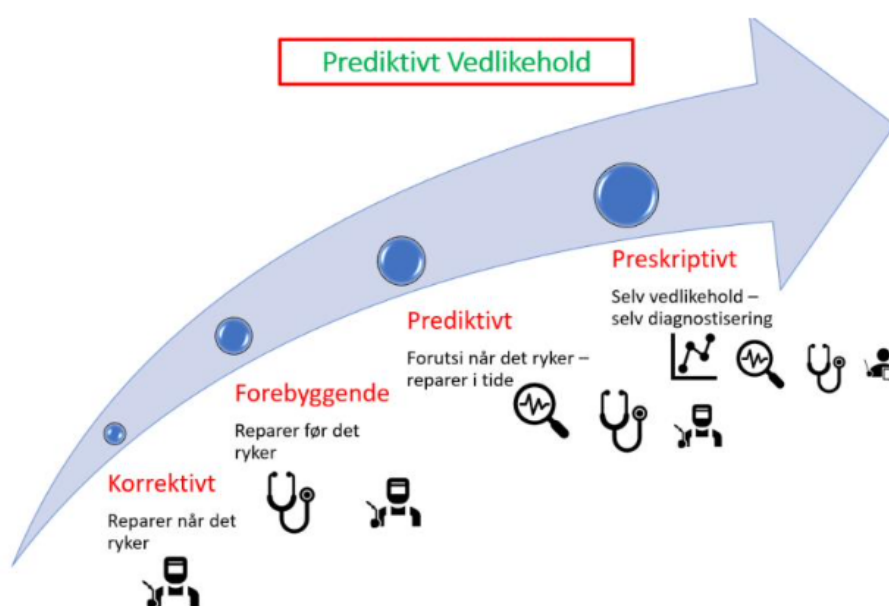
Effektmål
Effektmål til gruppen: <ul style="list-style-type: none">• Oppnå praktisk erfaring innen bruk av SKF@ptitude• Erfaring innen montering og måling• Få mer erfaring innen vibrasjonsmåling• Få mer erfaring med samarbeid med flere partnere• Få relevant erfaring som kan bli dratt nytte av etter studiene
Effektmål til Nidar: <ul style="list-style-type: none">• Få vibrasjonsdata på melismølla
Effektmål til NTNU: <ul style="list-style-type: none">• Få en portabel måleenhet som kan brukes til feltmåling og undervisning

Tabell 1.2: Effektmål

2 Teori

I dette kapittelet vil det bli sett på relevant teori for denne oppgaven. Noe av teorien er hentet fra emnene ”MAST 2012 - Tilstandsbasert Vedlikehold” og ”MAST 2006 - Driftsikkerhet og Vedlikehold”, hvor begge er obligatoriske emner på studiet *Drift og Vedlikehold* ved NTNU.

2.1 Generelt om vedlikehold



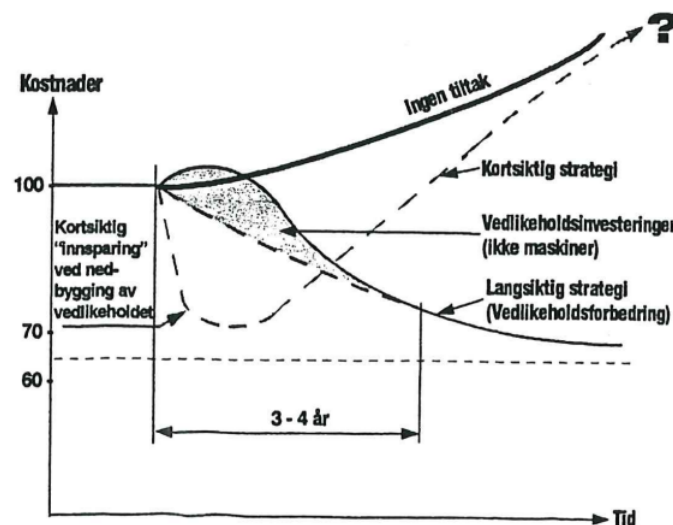
Figur 2.1: Utvikling av vedlikehold (Pedersen, 2023)

Utviklingen innen alle typer industriell virksomhet går mot stadig mer kapitalintensive og teknisk kompliserte anlegg. Slike anlegg har ofte høye kostnader ved avbrudd og derfor strenge krav til driftseffektivitet, sikkerhetsnivå og totaløkonomi. Myndighetene stiller også stadig strengere krav til miljøhensyn og sikkerhet – både for arbeidere ved anleggene og mennesker i omgivelsene (Bye, 2009).

Med tilgang til datamaskiner startet mange bedrifter med tidsstyrte vedlikeholdssystemer som genererte arbeidsordrer etter planlagte intervaller. Dette førte ofte til utskifting og reparasjoner før komponentene var utslitt, noe som økte vedlikeholdskostnadene unødvendig. I senere år har imidlertid ny teknologi og måleutstyr gjort det mulig å måle

driftsmessige tilstander og forutsi behovet for vedlikehold, kjent som tilstandsbasert vedlikehold (Bye, 2009).

For å overleve i dagens konkurranseutsatte markeder må bedrifter optimalisere maskiners produksjons tilgjengelighet til lavest mulig kostnad. Vedlikeholdsavdelinger bør fokusere på å redusere behovet for vedlikehold gjennom forebyggende tiltak allerede fra prosjekteringsstadiet. Dårlig organisert vedlikehold kan medføre store, ofte skjulte, kostnader som kan langt overstige de synlige direkte vedlikeholdskostnadene (Bye, 2009).



Figur 2.2: Vedlikeholdsforbedringer og kostnader (Bye, 2009)

Vedlikehold deles inn i to hovedtyper: *Forebyggende vedlikehold* og *korrektivt vedlikehold*.

Forebyggende vedlikehold utføres før en funksjonssvikt oppstår og omfatter planlagte aktiviteter som har som mål å beskytte mennesker og miljø, redusere behovet for korrikerende vedlikehold, og forhindre eller utsette svikt eller feil som kan føre til følgeskader eller ødeleggelse av utstyr (Bye, 2009).

Forebyggende vedlikehold kan enten være tilstandsbasert eller tidsfast (Bye, 2009):

- Tilstandsbasert vedlikehold - Utføres kontinuerlig (gjennom målinger), periodisk (gjennom inspeksjoner, kontroller eller funksjonstester) eller ved behov. Hvis tilstanden ikke er tilfredsstillende, igangsettes nødvendige tiltak.
- Tidsfastsatt vedlikehold - Utføres på faste vedlikeholdsintervaller, enten basert på

driftstid eller kalender.

Korrigerende vedlikehold utføres etter at en feil er oppdaget, og har som mål å bringe en enhet tilbake til en tilstand som gjør det mulig å utføre den nødvendige funksjonen. Før en korrigerende vedlikeholdsaksjon kan gjennomføres, må man ofte foreta en feilsøking for å identifisere og diagnostisere problemet. På grunn av mange uforutsette stopper og skader på maskineri og utstyr - er denne typen vedlikehold svært kostbar (Bye, 2009).

Ulike typer korrigerende vedlikehold (Bye, 2009):

- Forutsett (planlagte) – aktiviteter som utføres for å rette opp svikt som har blitt tillatt å inntreffe
- Uforutsett – aktiviteter som gjennomføres for å gjenopprette funksjonsevnen ved akutt, uforutsett svikt som truer funksjon eller sikkerhet
- Utsatt (planlagt) – korrigerende vedlikehold som ikke iverksettes umiddelbart etter at en feil er identifisert, men som utsettes i henhold til bestemte vedlikeholdsregler.
- Akutt – korrigerende vedlikehold som igangsettes umiddelbart etter at en feil er identifisert.

Prediktivt vedlikehold har i likhet med forebyggende vedlikehold mange definisjoner. For noen arbeidere innebærer prediktivt vedlikehold å overvåke vibrasjonene i roterende maskineri for å oppdage tidlige problemer og forhindre katastrofale feil. For andre handler det om å overvåke infrarøde bilder av elektriske brytere, motorer og annet elektrisk utstyr for å identifisere utviklingsproblemer. Hovedprinsippet for prediktivt vedlikehold er at regelmessig overvåkning av den faktiske mekaniske tilstanden, driftseffektiviteten og andre indikatorer vil gi en nødvendig data for å sikre maksimale intervaller mellom reparasjoner og minimere antall og kostnader for uplanlagte driftsstans (Bye, 2009).

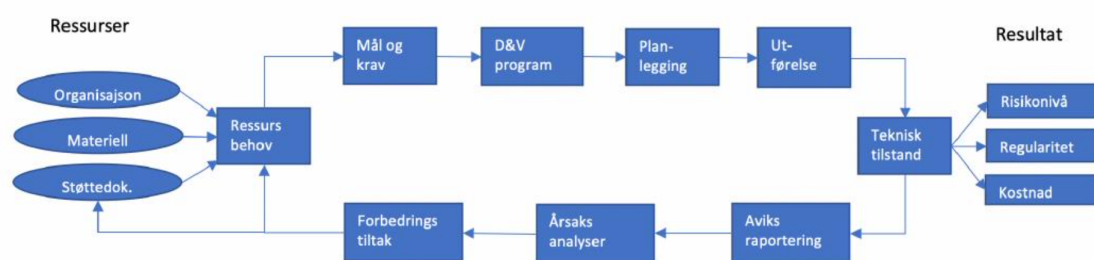
Prediktivt vedlikehold er imidlertid mer enn dette. Det er en strategi for å forberede produktiviteten, produktkvaliteten og den generelle effektiviteten til produksjonsanlegg. Det er en filosofi som bruker den faktiske driftstilstanden til utstyr og systemer for å optimalisere den totale driften av anlegget (Bye, 2009).

Prediktivt vedlikehold har blitt synonymt med overvåkning av vibrasjonsegenskaper til roterende maskineri for å oppdage tidlige problemer og forhindre katastrofale feil. Vibrasjonsanalyse alene gir imidlertid ikke dataene som kreves for å vurdere elektrisk utstyr, varmetap, smøreoljens tilstand eller andre parametere som vanligvis inngår i et vedlikeholdsstyringsprogram. Derfor må et omfattende prediktivt vedlikeholdsprogram for maskineri inkludere flere teknikker, som hver gir spesifikk informasjon om utstyret (Mobley, 2002).

2.1.1 Vedlikeholdsstrategi

Valg av vedlikeholdsstrategi for en utstyrsenhet baseres på flere faktorer, inkludert hvor kritisk utstyret er, konsekvensene av en mulig svikt, og om svikten kan forutses basert på driftstid eller tilstandskontroll (Bye, 2009).

Målstyring er en kontinuerlig forbedringsprosess som innebærer å kontrollere og ved behov korrigere tiltakene som iverksettes for å nå målene. Vedlikeholdsstyring bør baseres på en styringsmodell som gir en klar oversikt over vedlikeholdsorganisasjonens arbeidsprosesser. Ulike styringsmodeller finnes for å sikre at målene nås, og det er essensielt at alle elementene i styringsløyfen er på plass for at vedlikeholdet skal fungere effektivt. Tilsyn må føres med alle elementene, selv om enkelte kan vektlegges mer enn andre (Bye, 2009).



Figur 2.3: Eksempel på en vedlikeholdssløyfe (Bye, 2009)

2.2 SKF @ptitude Observer

@ptitude Observer fungerer sammen med SKF @ptitude Monitoring Suite, og er en kjerneplattform i en familie med pålitelige programvareapplikasjoner. Den er for datahåndtering

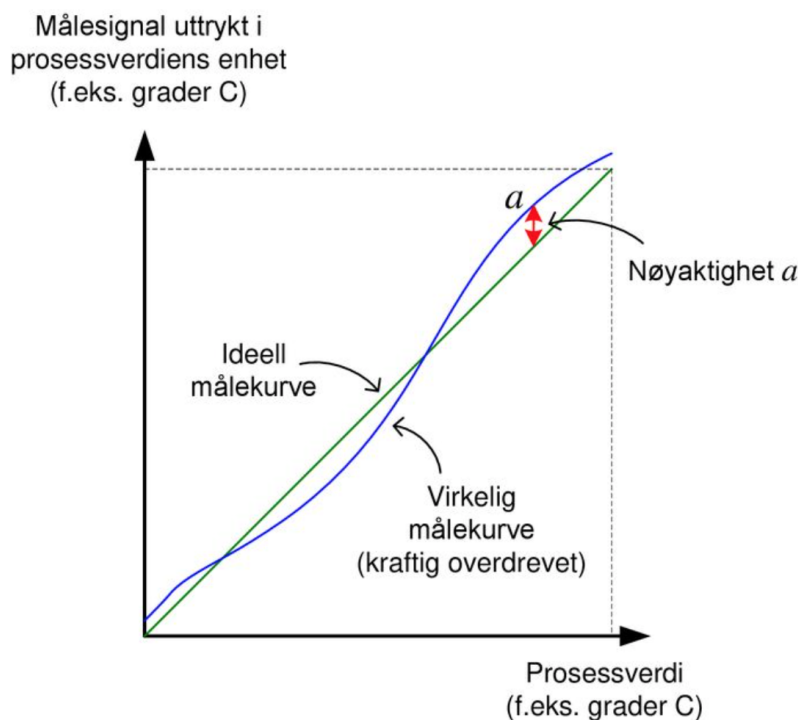
og analyse av måledata for tilstandsovervåking og er internasjonalt anerkjent for sin brukervennlighet, allsidighet og ytelse (SKF, 2017b).

@ptitude Observer er Microsoft Windows - basert og støtter de fleste av Windows baserte systemer. Noe av innholdet kan være avhengig av en passende programvarelisens og tilgang med en bruker på administratornivå (SKF, 2017b).

2.3 Målenøyaktighet

Med målenøyaktighet menes den graden den målte verdien og den faktiske verdien samsvarer med hverandre. Det skilles ofte mellom statistisk- og dynamisk nøyaktighet (Norsk-Industri, 2013).

Hvor godt målingen klarer å "henge med" ved en endring i den fysiske størrelsen menes med dynamisk nøyaktighet. Instrumentet vil vise feil verdi etter at den fysiske størrelsen har skjedd, dette er på grunn av at instrumentet har en viss treghet. Avviket blir større hvor raskere endringen er – men om endringen skjer veldig sakte ser en som regel bort fra det, siden det dynamiske avviket blir så lite (NorskIndustri, 2013).



Figur 2.4: Eksempel av ideell målekurve og virkelig målekurve (Haugen, 2017)

Det at instrumentets nøyaktighet etter alle dynamiske forhold har stabilisert seg, menes med statistisk nøyaktighet, og kan spesifiseres på seks måter:

1. Oppløsningsevne – den minste størrelsen som kan måles med et instrument
2. Repeterbarhet – refererer til hvor nøyaktig et instrument gjentar samme verdi under like forhold og betingelser over gjentatte målinger
3. Reproduserbarhet – refererer til hvor nøyaktig et instrument gjentar samme verdi under forskjellige forhold og betingelser
4. Hysterese – referere til fenomenet der samme inngangssignal kan resultere i ulike utgangssignaler, avhengig av om verdien øker eller synker. Angis normalt i prosent av hele området som skal måles og skyldes ofte treghet, slark (mekanisk dødgang) eller friksjon.
5. Linearitet – hvor godt kurven til måleinstrumentet samsvarer med referansekurven
6. Aldring – avvik som skyldes forurensning, endring i temperatur, eventuelle påvirkninger fra omgivelsene eller forskjellige typer slitasje når instrumentet blir eldre. Da kan disse forholdene også påvirke målenøyaktigheten.

2.4 Kalibrering

Det som menes med kalibrering er at man justere instrumentets nøyaktighet ved å sammenligne den med noe kjent, enten en størrelse eller et instrument med kjent verdi. Noen instrumenter må kalibreres på verksted eller laboratorium, men noen kan også kalibreres på montasjestedet. Hensikten er å forberede nøyaktigheten (NorskIndustri, 2013).

Ved utføring av kalibrering er det vanlig å utføre en 5-punktsjekk, som innebærer at en velger ut 5 sjekkpunkter fra minste til største verdi over hele måleområdet. Ved de ulike punktene sammenligner en den ideelle verdien med den faktiske verdien som blir notert på de ulike punktene, og beregner avviket. Ofte må en sette seg inn i produsentens manualer for kalibrering på grunn av at moderne instrumenter har ofte dataverktøy og programvare som de er installert med (NorskIndustri, 2013).

2.5 Vibrasjon

Vibrasjoner defineres som hurtige og periodiske bevegelser, svingninger (SNL, 2021). Bruken av vibrasjonsanalyse er ikke begrenset til prediktivt vedlikehold. Teknikken er også nyttig for diagnostiske applikasjoner (Mobley, 2002). Gjennomføring av vibrasjonsanalyse kan avdekke feil på roterende eller bevegelige utstyr, og er en sentral tilstandskontrollmetode og kan brukes for prediktivt vedlikehold. En kan måle vibrasjonsnivået enten med intervall som er regelmessige eller kontinuerlig, og sammenligne de med en referanseverdi (normalverdien).

Er det endringer kan det være et varsel på at en skade er under utvikling - eller har oppstått. Her kan blant annet feil som ubalanse og lagerslitasje oppdages. Dette er bare et par eksempler på hva som kan oppdages. Analyseres disse dataene kan de fortelle mye om tilstanden til maskineriet.

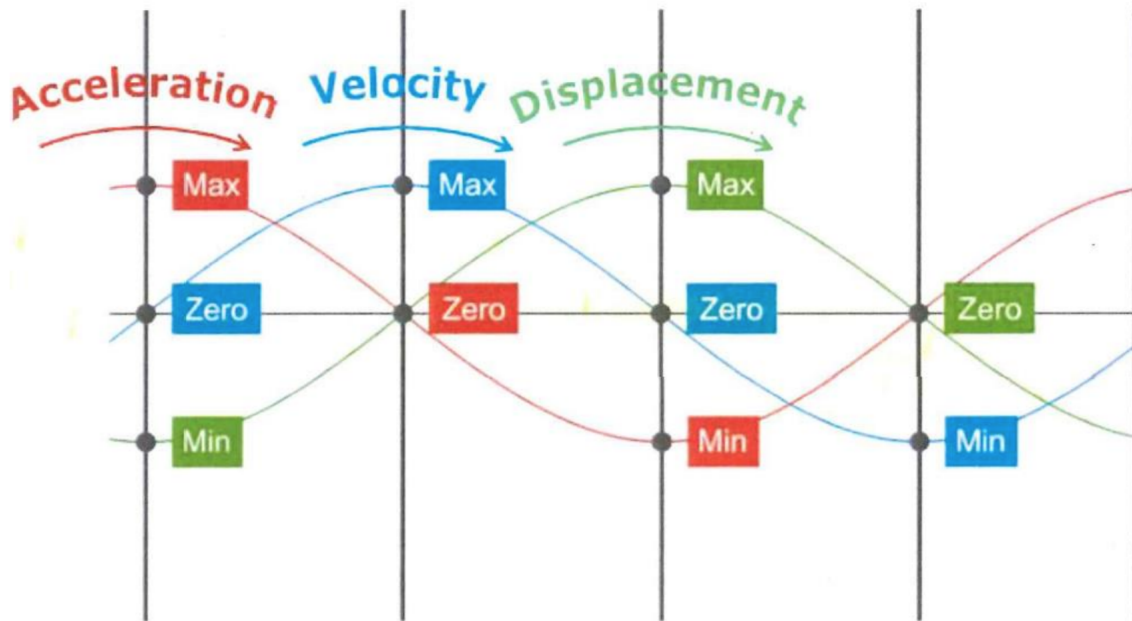
Vibrasjoner kan enten måles ved bevegelsens forskyvning, hastighet eller akselerasjon (Bye, 2009).

Forskyvning - beskriver avstanden massen beveger seg fra referansepunktet (null-linjen). Benevnes i enhetene millimeter (mm) eller mikrometer (μm).

Hastighet - beskriver hvor raskt massen beveger seg til enhver tid. Den er null i bevegelsens endepunkt og størst når massen passerer nullpunktet. Enheten for hastighet er mm/s.

Akselerasjon - beskriver endringen i massens hastighet per tidsenhet. Hastigheten endrer seg raskest i bevegelsens endepunkter, hvor akselerasjonen derfor er størst. Akselerasjon måles i m/s^2 . Den kan også uttrykkes i enheten g, hvor 1g tilsvarer tyngdeakselerasjonen på $9,81 m/s^2$.

Hvilke av disse måleparameterne, av de nevnt ovenfor, som brukes avhenger av hva som skal måles. For eksempel vil ubalanse i en maskin vise seg ved turtallfrekvensen, vanligvis mellom 1 og 100 Hz. En begynnende skade på et kule- eller rullelager vil derimot gi størst utslag i det høyfrekvente området over 1000 Hz (Bye, 2009).



Figur 2.5: Sammenhengen mellom måleparameter (MobiusInsitute, 2016)

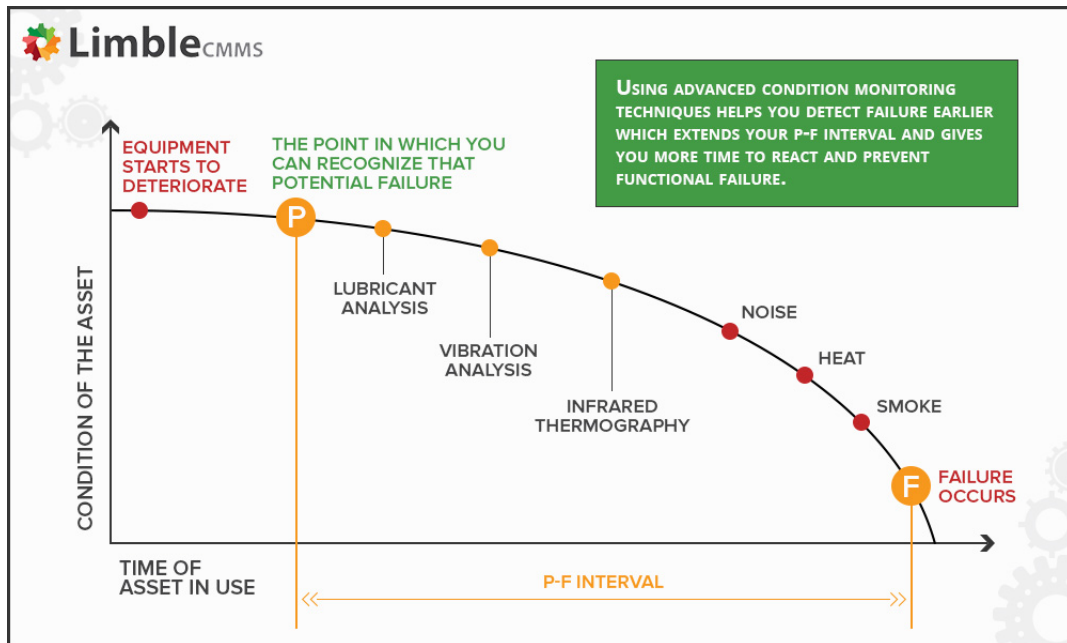
Generelt blir forskyvning brukt på komponenter med vibrasjoner i det lave frekvensområdet. Og Akselerasjon brukes hovedsaklig på komponenter med vibrasjoner i det høye frekvensområdet (Bye, 2009).

2.5.1 Tilstandsparameter ved degradering

Det finnes flere parametere som kan måles for å vurdere tilstanden på et maskineri. Teknikere kan ved visuell inspeksjon merkere parameter som røykutvikling og støy. Ved bruk av termokamera kan man også kontrollere varmeutvikling. Problemet med disse metodene er at skaden allerede har oppstått når man oppdager endringer i støy eller røykutvikling (Bye, 2009).

Vibrasjonssensorer kan derimot oppdage feilmoder på et vesentlig tidligere stadium enn andre metoder. Siden vibrasjonssensorer kan detektere flere feilmoder, kan man tidlig identifisere årsaken til problemet og dets alvorlighetsgrad. Det kreves ofte personell med spisskompetanse innen vibrasjon, det er en av utfordringene med vibrasjonsanalyse (Bye, 2009). Det er også muligheter for å gjennomfør oljeanalyser, som innebærer måling av viskositeten til smøremidler og analyse av forurensninger for å minimere slitasje på maskineri

(Chan, 2024).



Figur 2.6: Forvarsling med forskjellige parameter (Chan, 2024)

I Figur 2.6 viser den en P-F kurve. Tegning av disse kurvene kan hjelpe med å vurdere påliteligheten og effektiviteten til maskineri over tid. Punktet P markerer punktet der du gjenkjenner tegn til en potensiell feil. Punktet F markerer punktet der en funksjonsvikt vil oppstå. Et lengre P-F intervall er lengre, og betyr at det er god tid til å utføre tilstandsbasert vedlikehold og unngå havari (Chan, 2024).

2.6 Frekvens

Frekvens beskriver antall repetisjoner av en bestemt vibrasjonskomponent eller forseringsfunksjon innenfor en bestemt tidsenhet. For eksempel, vurder et hjul med fire eiker utstyrt med et akselerometer. Hver gang akselen fullfører en rotasjon, passerer de fire eikene akselerometeret én gang, noe som resulterer i fire sykluser per omdreining. Derfor, hvis akselen roterer med 100 omdreininger per minutt (RPM), er frekvensen til eikene som passerer akselerometeret 400 sykluser per minutt (cpm). Frekvens uttrykkes også ofte i sykluser per sekund (cps) eller Hertz (Hz) (Mobley, 2002).

Der er viktig å merke seg at frekvens og feilforhold ikke alltid er eksklusive, og en bestemt

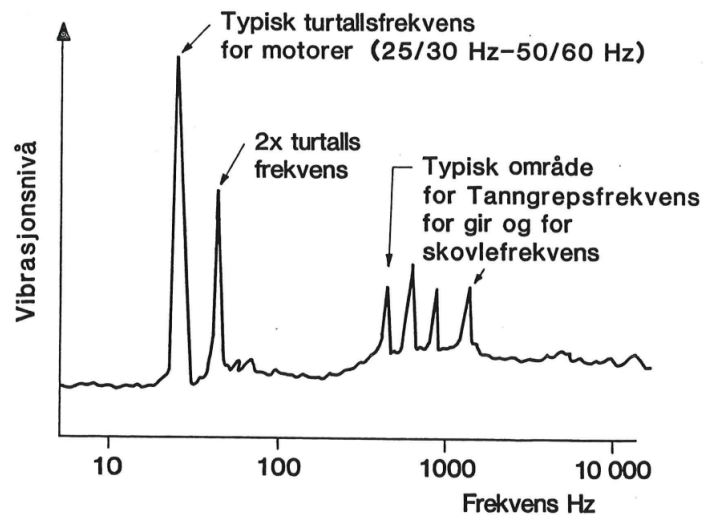
mekanisk feil kan ikke nødvendigvis knyttes til en enkelt frekvens. Selv om frekvens er avgjørende for å identifisere maskinfeil, er det bare en del av det totale bildet. Det er nødvendig å evaluere alle dataene før man trekker en konklusjon (Mobley, 2002).

2.6.1 Grunnfrekvens

Grunnfrekvensen, også kjent som turtallfrekvensen, er et nøkkelbegrep innen vibrasjonsanalyse. Frekvensen er vanligvis lik turtallet delt på 60. For eksempel, om en motor opererer med turtall (n) på 1500 RPM, er grunnfrekvensen $\frac{1500RPM}{60sek} = 25 \text{ Hz}$ (Bye, 2009).

Det å kjenne til grunnfrekvensen er avgjørende for å identifisere mange typer feil, som ubalanse, opprettingsfeil, lagerskader, osv. Disse feilene genererer frekvenser som er multipler av grunnfrekvensen. Frekvenser som er heltallige multipler av den fundamentale frekvensen kalles *harmoniske frekvenser*, og betegnes med $1 \times n$ (grunnfrekvens), $2 \times n$ (dobbelte av grunnfrekvensen) $3 \times n$, osv.

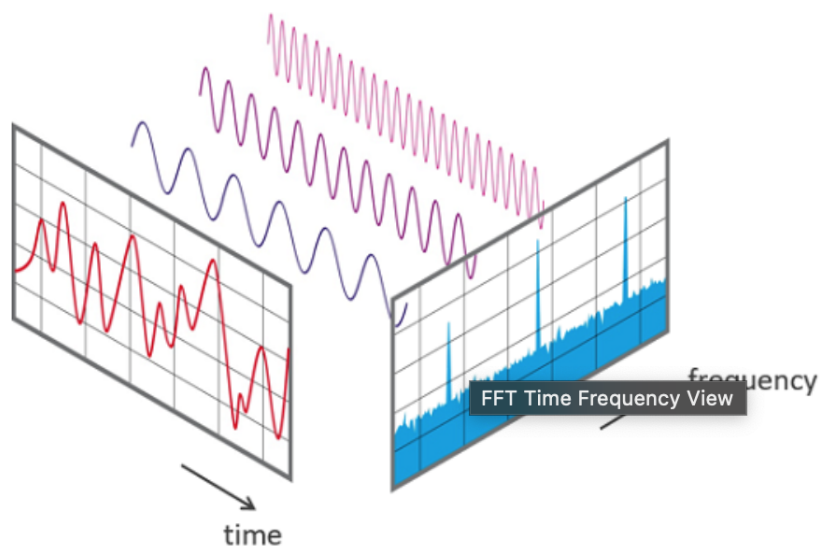
Det finnes også subharmoniske svinginger, og er frekvenser som er mindre enn $1 \times n$ (grunnfrekvensen). For eksempel kan det være $1/2 \times n$ eller $1/3 \times n$ (Bye, 2009).



Figur 2.7: Relevante frekvensområder for maskinvibrasjon (Bye, 2009)

2.6.2 Frekvensdomene

Frekvensdomeneformatet fjerner den manuelle innsatsen som kreves for å isolere komponentene som utgjør et tidsbasert signal. Frekvensdomeneteknikker bruker en matematisk prosess kalt Fast Fourier Transform (FFT) for å konvertere tidsdomenedata til konkrete frekvenskomponenter. Enkelt forklart omdanner FFT et tidsbasert signal til en serie direkte frekvenskomponenter. I et frekvensdomenediagram er x-aksen frekvens, mens y-aksen representerer amplituden av forskyvning, hastighet eller akselerasjon (Mobley, 2002).



Figur 2.8: Sammenhengen mellom tid og frekvens (NTI, udatert)

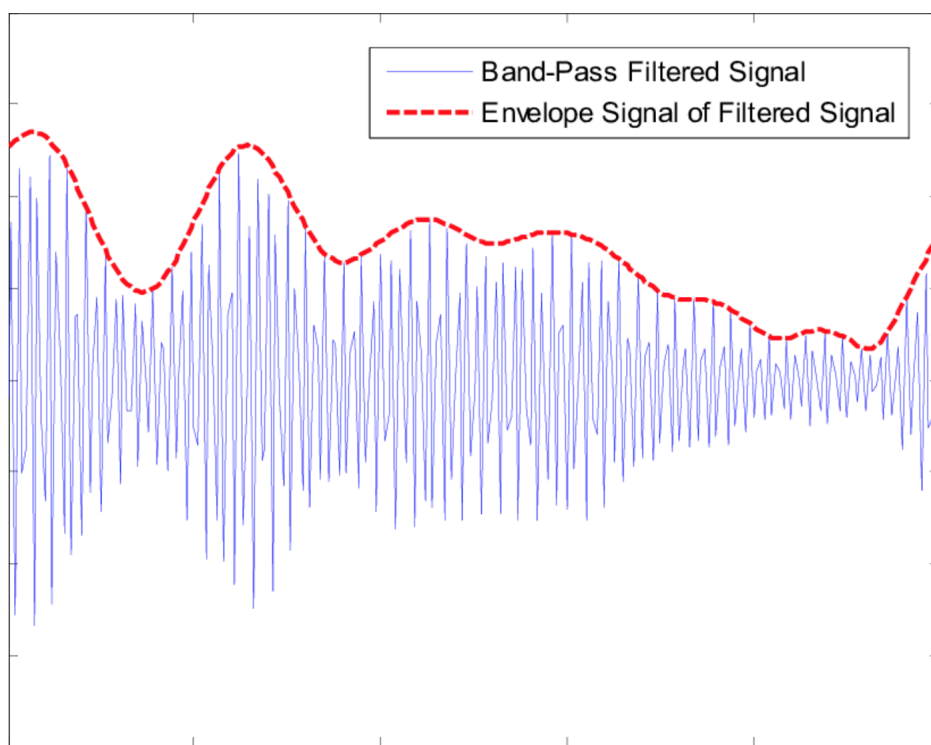
Gjennom denne analysen kan man oppnå et gjennomsnittsspekter for maskinens signatur, hvor tilbakevendende topper kan normaliseres for å gi en nøyaktig fremstilling av maskinens tilstand.

Den største fordel med frekvensdomeneanalyse er evnen til å normalisere hver vibrasjonskomponent slik at et komplekst maskinspektrum kan brytes ned til individuelle komponenter. Dette gjør det enklere å isolere og analysere mekanisk nedbryting i maskinen (Mobley, 2002).

2.7 Envelope

Når lager har skade eller degraderes, avgir det en støtpuls hver gang det ruller over den skadede delen. For å oppdage signalene fra disse støtpulsene bruker SKF en metode kalt *Acceleration Envelope*. Denne metoden måler *true Peak to Peak*, som innebærer å bruke det laveste og høyeste punktet på grafen i den angitte måleperioden. Lavfrekvent støy filtreres også bort, noe som gjør repeterende støtpulser relatert til lagerskader mer synlig. Signalene går deretter gjennom en Fast Fourier Transformasjon, som konverterer signalbildet fra et tids- og amplitudespektrum til et frekvens- og amplitudespektrum. Dette gir en bedre oversikt over vibrasjonene lagrer utsettes for og deres opprinnelse (MobiusInsitute, 2016).

På bilde nedenfor av figur 2.9 kan man se at Envelope-signalet følger toppene på amplitudegrafene.



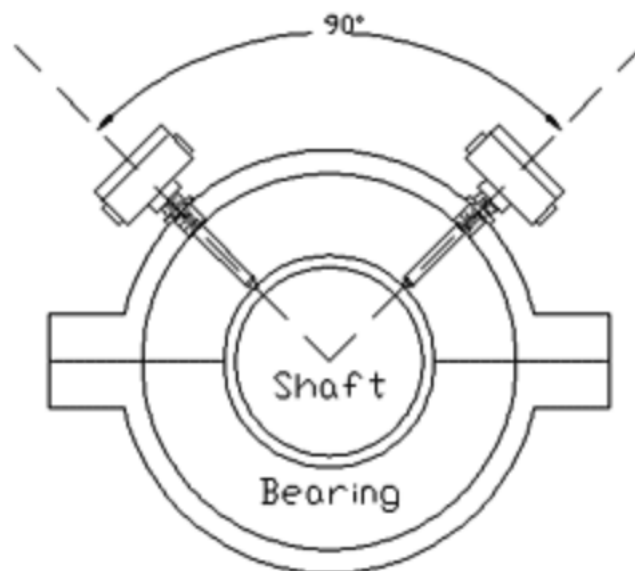
Figur 2.9: Envelope-signalet visualisert (Siegel, 2009)

Om man sammeligner Envelope-analyse med tradisjonell rå-vibrasjonsanalyse fremhever dens effektivitet i feildeteksjon. Mens råsignaler gir en detaljert, men støyfylt fremstilling av maskinvibrasjoner - tilbyr Envelope-analyse et raffinert overblikk. Ved å fokusere på

amplitudevariasjoner filtrerer Envelope effektivt ut irrelevante detaljer, noe som gjør den mer følsom for subtile endringer knyttet til utvikling av feil (Sensemore, 2024).

2.8 Sensorer til bruk i vibrasjonsmåling

De mest brukte sensorene for å måle vibrasjon i dag er akselerometre og posisjonsgivere. Posisjonsgivere, også kjent som prober, monteres i lagerhus og overvåker akselen uten å berøre den, ved kontinuerlig å måle avstanden til akselen. Ved å montere to prober i 90° kan man få en visualisering av akselens bane (Bye, 2009).



Figur 2.10: Posisjonsgivere montert med en 90-graders vinkel (STI, 2020)

Akselerometeret er det mest benyttede følertypen for plassering utenpå godset - som brukes for å måle lagerhusvibrasjoner. Et akselerometer består vanligvis av et piezoelektrisk element med en festet masse. Det piezoelektriske elemente har den egenskapen at det genererer en ladning som er proporsjonalt med den påførte kraften. For en gitt masse er denne kraften proporsjonal med akselerasjonen (Bye, 2009).

Akselerometeret festes til lagerhuset, og akselerasjonen gir en kraft på det piezoelektriske skiven, som sender en ladning til måleinstrumentet. Måleområdet for akselerometeret varierer avhengig av type, men ligger ofte mellom 0 og 15 000 Hz (Bye, 2009).

Støy kan påvirke målingene gjort med akselerometert, og kan forårsakes av:

- Temperatursvingninger
- Bevegelige ledninger
- For lange ledninger
- Dårlige kontakter

Ulike frekvenser innenfor akselerometerets måleområde registreres ved hjelp av filtrering (Bye, 2009).

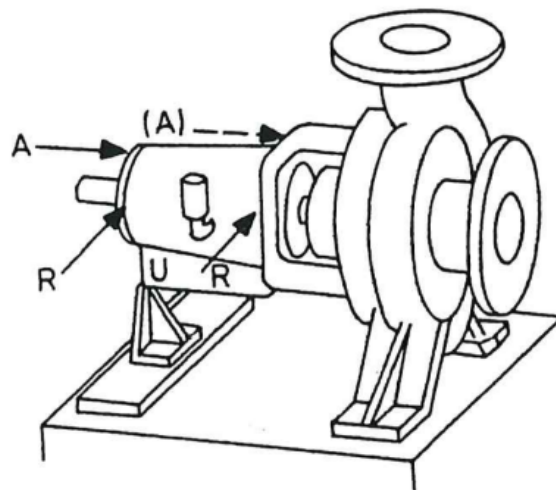
Lavfrekvent: 0 - 1000 Hz

Høyfrekvent: 1000 - 10 000 Hz (også høyere)

Ultrasonisk: Områder over 20 000 Hz

2.8.1 Plassering av målepunkter

Når man skal bestemme antall målepunkter per enhet, er det vanlig å ha ett radielt målepunkt og ett vertikalt målepunkt per lager.



Figur 2.11: Eksempel av plassering av målepunkter på en pumpe (Bye, 2009)

Følgende regler må overholdes for å oppnå et godt resultat med vibrasjonskontroll (Bye, 2009):

- Målepunktene skal plasseres så nære lageret som mulig. Å minimere antallet materialoverganger gir de beste resultatene og muliggjør en optimal sammenligning av målinger fra flere punkter eller mot standarder.
- For å unngå uheldige resonanser skal målepunktet monteres på massivt gods.
- For å kunne sammenligne målinger fra flere maskiner, bør måleretningen standardiseres slik at alle punkter måler enten horisontalt eller vertikalt. Dette er nødvendig fordi stivheten varierer mellom de to måleretningene, noe som også påvirker vibrasjonsområdet.

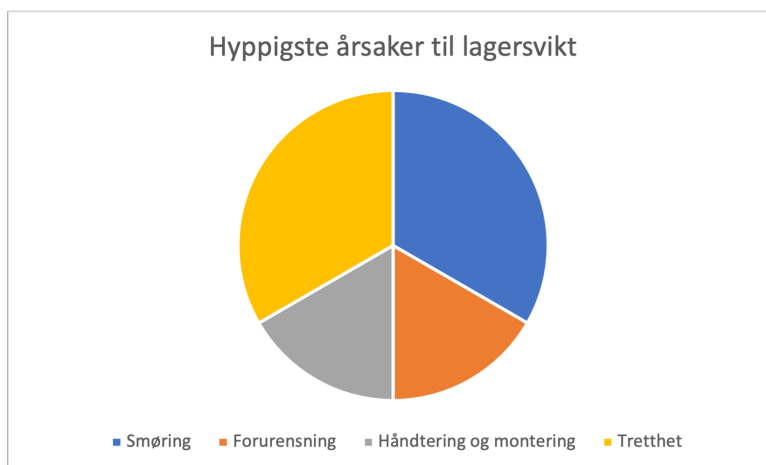
På grunn av praktiske begrensninger er det ofte utfordrende å overholde hovedreglene. Det kan være situasjoner der det er nødvendig å plassere målepunktene relativt langt unna lagrene. Dette må tas i betraktning når grenseverdiene settes (Bye, 2009).

2.9 Lagerskade

Lageret sin tilstand gjenspeiler ofte hvor godt en maskin går, og er kjernen i alt roterende utstyr. Det hender seg at lagerene svikter, da er det greit å ha en grunnleggende forståelse for å vurdere enkle feiljusteringer. Dette er på grunn av at feil kan føre til blant annet kostbar nedetid og skade på andre komponenter (SKF, udatert).

Omtrent 90% av alle lager som produseres overlever utstyret de er montert i, og en del lager byttes ut før de får feil på grunn av forebyggende og sikkerhetsmessige årsaker. Dersom lageret har riktig håndtering, transport, lagring, spesifikasjonene og smøring skal lageret vare i lang tid (SKF, 2017a).

Det finnes mange statistikker fra ulike leverandører på lagersvikt, vi har valgt å gå ut fra SKF sin statistikk. Dette er på grunn av at de har veldig like prognoser, men avhenger også av bruksområde og bransje. Når vi skal se på de største lagerfeilene, først presentert i en figur - før vi går inn på flere detaljer.



Figur 2.12: SKF - Hyppigste årsaker til lagersvikt

Smøring

Smøring består av $\frac{1}{3}$ av skadene. Dette kan skyldes feil smøremiddel, feil mengde eller feil smørintervall (SKF, 2017a). Valg av riktig smøremiddel avhenger av miljøforhold, temperatur, hastighet og belastning. De to hovedtypene av smøring er fett og olje, som har sine spesifikke fordeler og ulemper. Påføring av smøremiddel reduserer friksjonen ved akselrotasjon og forlenger lagerets levetid (Larsen, udatert).

Ulike driftsforhold krever ulike smøremidler, intervall for ettersmøring og smøremiddelskift. Derfor er det viktig å påføre riktig type smøremiddel, riktig mengde og til rett tid, med riktig metode (SKF, 2017a).

Utmatting/tretthet

Utmatting skyldes også $\frac{1}{3}$ av skadene. Utmatting oppstår når dynamiske belastninger overstiger lagermaterialets utmattingsstyrke ved driftstemperatur. Utmattingsstyrken til materialer med lavt smeltepunkt, som babbitt og blyblaserte belegg, reduseres betydelig ved høye temperaturer - kan føre til tretthetsskader på grunn av overoppheting alene. Andre årsaker inkluderer overbelastninger, sykliske ubalansebelastninger på grunn av for høy hastighet, og aksler som ikke er helt sylindriske på grunn av produksjonsfeil (Bearings, 2021).

Håndtering og montering

$\frac{1}{6}$ av skadene skyldes dårlig håndtering og montering av lager. For å montere og demontere lager kreves det riktig type verktøy og presisjon. Feil i disse trinnene kan resultere i tidlig slitasje, redusert ytelse og potensielle driftsstanser (Larsen, udatert). Det kan komme skade på lageret før og etter montering. Her vil også transport og oppbevaring av lageret spille en rolle.

Forurensning

Forurensning skyldes $\frac{1}{6}$ av skadene. Forurensning kan forekomme av ineffektive forriglinger. Om forurensning i form av partikler kommer inn i lageret gjennom tetningene, kan de overruller av rulleelementene. Overrulling skaper fordypninger i løpebanen, og når syklisk påkjenning på grunn av normal overrulling vil avskalling skje. Dette er at overflatetrettheten initieres og metallet vil begynne å løsrive seg fra løpebanen - og skaden vil fortsette til lageret er ubrukelig (SKF, 2017a). Ubrukte lager burde lagres i originalpakningen. Dette er for å beskytte mot forurensning og korrosjon. I tillegg er det ikke lurt å utsette lageret for vann over lengre tid - dette fører også til korrosjon og rust (Larsen, udatert).

2.9.1 Ulike feilfrekvenser på lager

Formlene som benyttes til å beregne frekvensene til lagerkomponenter er beskrevet nedenfor, og er hentet fra nettsiden til SKF (Mais, 2002). De fire primære lagerfrekvensene er:

1. **BPFO: Ballpasseringsfrekvens - ytterring:** Hvis det har oppstått avskalling på den ytre banen - sannsynligvis i lastsonen, vil harmoniske av BPFO være tilstede i dataene. I begynnelsen kan disse harmoniskene være svake, men ettervert som feilen utvikler seg, vil de bli sterkere og sannsynligvis øke i amplitude med økende frekvens (MobiusInstitute, 2022). For å regne ut frekvensen til ytterringen er formelen:

$$BPFO = \left(\frac{n}{2}\right)\left(\frac{RPM}{60}\right)\left(1 - \left(\frac{Bd}{Pd}\right)(\cos \phi)\right) \quad (2.1)$$

2. **BPMFI: Ballpasseringsfrekvens - innerring:** Fordi defekten på den indre ringen

roterer rundt akselen, beveger den seg inn og ut av belastningssonen (som befinner seg nederst i lageret på en horisontal maskin). Med andre ord, vil defekten treffe kulene hardere når den er i belastningssonen, og svakere når den er utenfor. Hver gang akselen roterer gjentas denne endringene i kreftene. En annen måte å beskrive dette på er at frekvensen av defekten på den indre ringen moduleres av akselhastigheten. I frekvensspekteret resulterer dette i sidebånd ved akselhastigheten rundt frekvensen av defekten på den indre ringen (MobiusInstitute, 2022). For utregning av frekvensen til innerringen er formelen:

$$BPMI = \left(\frac{n}{2}\right)\left(\frac{RPM}{60}\right)\left(1 + \left(\frac{Bd}{Pd}\right)(\cos \phi)\right) \quad (2.2)$$

3. **BFS - Ballspinnfrekvens:** Hvis det er skader på kule- eller rullelagrene, forventer vi å se en topp ved BSF med harmoniske. Det er sannsynlig at 2xBSF og dets harmoniske vil være sterkere, ettersom det skadede området på det rullende elementet kan komme i kontakt med både den indre og ytre ringen ved hver rotasjon (MobiusInstitute, 2022). For å regne ut frekvensen til rullene er:

$$BSF = 2\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{Bd}{Pd}\right)\left(\frac{RPM}{60}\right)\left[1 - \left(\frac{Bd}{Pd}\right)^2(\cos^2 \phi)\right] \quad (2.3)$$

4. **FTF - rull/kuleholder:** Er rotasjonshastigheten til rull/kuleholderen - det som støtter rullene i et rullelager. Den er alltid mindre enn halvparten av akselens turtall. En høy amplitude ved FTF i vibrasjonsspekteret betyr ikke nødvendigvis at rull/kuleholderen er skadet, men at en av rullene kan være sprukket eller deformet. Dette fører til en vibrasjonskomponent hver gang rullen får inn i lagerets belastningszone, som skjer ved hver omdreining av rull/kuleholderen, og skaper vibrasjon med denne frekvensen (MobiusInstitute, 2022). For utregning av frekvensen til rull/kulelageret er formelen:

$$FTF = \left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{RPM}{60}\right)\left(1 - \left(\frac{Bd}{Pd}\right)(\cos \phi)\right) \quad (2.4)$$

Hvor de ulike symbolene står for:

$n = \text{antall kuler eller ruller}$

$Bd = \text{diameter på ruller}$

$Pd = \text{diameter i kulesenter}$

$\phi = \text{kontaktvinkel}$

$RPM = \text{omdreininger per minutt (Rounds per minute)}$

2.9.2 Lagerskade i forhold til vibrasjon

Her vil vi se på sammenhengend mellom lagerskader og den vibrasjonen de forårsaker. Vi vil se på de ulike skadefaser og tilhørende frekvensene som oppstår. Det er viktig å merke seg at de beskrevne fasene ikke alltid er faste og kan avvike fra de teoretiske punktene. Et lager kan forbli i en av disse fasene over en lengre periode uten å utvikle seg videre, eller det kan raskt gjennomgå flere faser.



Figur 2.13: Fire faser av lagerskade(MobiusInsitute, 2016)

Når lageret går gjennom disse fasene, vil det vise ulike indikatorer. Dette innebærer ulike metoder for å oppdage de forskjellige fasene på et tidlig stadium, før skaden forverres.

Fase 1

Ved hjelp av teknikker som måler svært høye frekvenser kan denne fasen oppdages. Friksjon kan generere frekvenser på over 20 kHz i det tidligste stadiet, mens stressbølger kan produsere frekvenser mellom 1 kHz og 15 kHz. Disse frekvensene er så høye at tradisjonelle måleteknikker ikke kan fange dem opp, og de er også utenfor det hørbare området. Slike skader oppstår ofte på grunn av friksjon eller små sammenstøt i lageret - og består av indre metallskader som ikke er synlige på overflaten (MobiusInsitute, 2016).

Fase 2

Akkurat som i fase 1, er dette indre forårsaket av friksjon eller små støt i metallet. De høye frekvensene vedvarer, og amplituden fortsetter å øke. Vibrasjonen blir nå sterk nok til å skape resonans. Envelope-spekteret vil begynne å vise tegn til lagerskade, mens velocity-spekteret fortsatt ikke viser noen skadeindikasjoner (MobiusInsitute, 2016).

Fase 3

I fase tre har skaden blitt betydelig, og kan bryte sammen når som helst. Amplituden til vibrasjonene ved de svært høye frekvensene vil fortsette å øke. Envelope-teknikken vil være effektiv for å oppdage lagerskader i denne fasen. Harmoniske svinginger på grunn av støt og sidebånd - på grunn av sykliske belastningsendringer vil bli synlige. Akselasjonsspekteret og velocity-spekteret vil nå også vise topper som viser lagerfeil (MobiusInsitute, 2016)

Fase 4

I fase fire har skaden blitt betydelig. En defekt på en komponent i lageret kan nå være så stor at den påvirker andre komponenter. Vibrasjonene ved de svært høye frekvensene vil begynne å avta. Envelope-metoden vil fortsatt være effektiv, men etterhvert som skaden øker, vil vibrasjonene fremstå som mindre periodiske. Etter hvert som feilen forverres, vil toppene ved feilfrekvensene forsvinne, og spekteret vil begynne å ligne på mønstre som indikerer løshet. Dette skjer fordi så mye metall har blitt slitt bort, og klaringene i lageret har økt. Skaden vil nå også kunne høres som støy fra lageret (MobiusInsitute, 2016).

2.10 Bærekraft

I dagens samfunn står vi ovenfor mange utfordringer, med et økende fokus på bærekraft for å sikre en levedyktig fremtid. Denne løsningen vil bidra til å støtte FN's bærekraftsmål og hjelpe til å nå de innen 2030 (FN-sambandet, 2024). Den er mest relevant for bærekraftsmålene 7, 9 og 12.



Figur 2.14: Bærekraftsmål 7, 9 og 12 (FN-sambandet, 2024)

Bærekraftsmål 7 fokuserer på å sikre tilgang til pålitelige, bærekraftige og moderne energi for alle (FN-sambandet, 2024). Vår løsning kan spille en rolle i å oppfylle dette målet ved å bidra til at maskineri og utstyr fungerer effektivt, reduserer energiforbruket og minimerer tap. Ved å gjennomføre vibrasjonsanalyse på maskineri kan vi vedlikeholde systemer som vindkraft og vannkraft, sikre optimal drift og leverer opp mot maksimal energiproduksjon.

Dette størrer også bærekraftsmål 9, som handler om å bygge en solid infrastruktur og fremme inkluderende og bærekraftig industrialisering og innovasjon (FN-sambandet, 2024). Ved å tilrettelegge for utvikling og implementering av nye vedlikeholdsmetoder og – teknikker, kan kostnader reduseres, øke påliteligheten og fremmer bærekraft. Forlengelse av utstyrslevetid gjennom jevnlig vedlikehold og oppgraderinger, bidrar til å forlenge levetiden til maskineri og infrastruktur, samt redusere behovet for tidlig utskifting.

Til slutt er dette relevant for bærekraftsmål 12, som fokuserer på bærekraftige forbruks- og produksjonsmønstre - handler om å gjøre mere med mindre ressurser (FN-sambandet, 2024). Ved å overvåke tilstanden til komponenter og maskineri, og planlegge vedlikehold basert på faktiske behov – kan man minimere sløsing av ressurser, forlenge utstyrets levetid og redusere avfall. Dette bidrar til bærekraftig forbruk og produksjon.

2.11 Digitalisering og Industri 4.0

Den fjerde industrielle revolusjonen blir ofte kalt *Industri 4.0*, og refererer til en økende grad av digitalisering av industrielle systemer, der maskiner, utstyr og mennesker samhandler innenfor et integrert digitalt rammeverk. I sanntid strømmer data og informasjon, og avanserte algoritmer, maskinlæring og kunstig intelligens blir brukt for å forbedre produktiviteten, kvaliteten og tilpasningsevnen i industrien (Martinsen, 2023).

Digitaliseringen av industrielle systemer åpner opp for nye forretnings- og organisasjonsmodeller der sanntidsdata strømmer kan utnyttes til tjenester og kommunikasjon. For eksempel kan en maskin leies ut, og leverandøren kan sikre optimal ytelse ved å overvåke maskinen og utføre vedlikehold basert på sensoravlesninger av vibrasjon, varmgang og lignende. Ved å ha et stort antall maskiner hos mange forskjellige kunder, kan leverandører utvikle effektive numeriske modeller for tilstandsbasert vedlikehold. Denne utviklingen legger også til rette for sirkulære varestrømmer og fremmer økt bærekraftig produksjon og forbruk. Det blir mulig å benytte større mengder resirkulert materiale og automatisere prosessene for å håndtere variasjoner i materialkvalitet (Martinsen, 2023).

3 Metode

I dette kapitlet vil metodene som brukes av prosjektgruppen for å nå prosjektets mål, bli presentert. Dette kapitlet introduserer de ulike metodene for å tilegne oss det teoretiske stoffet som blir brukt i oppgaven. Til slutt vil vi se på kildekritikk og feilkilder.

3.1 Intervju og Teamsmøter

Gruppen har med flere anledninger utført intervju med Erik Solberg ved SKF og Leif Håkon Jensen ved Nidar.

Under møtene med SKF har vi diskutert bruk av sensorer og SKF @titude. Dette for å sikre at bruk av riktige sensorer fører til korrekt data når analysen skal utføres. Har også diskutert en del innstillinger i SKF @titude, som har ført til en bedre forståelse av programmets oppbygning og muligheter (Solberg, 2024).

Møtene med Leif Håkon Jensen vedlikeholdsingeniør ved Nidar har hovedsaklig foregått på Nidar, dette for å ha mulighet til å utføre befaring på melismølla og ha direkte tilgang til vedlikeholdsdata mens vi har planlagt installasjon av den portable kofferten (Jensen, 2024).

Vi har gjennomført jevnlig møter med veileder Viggo G. B. Pedersen, dette for å sikre fremgang i oppgaven og muligheten til å komme tidlig i gang. Møtene har blitt gjennomført på Teams (Pedersen, 2024).

Gruppen har hatt mange møter, både fysisk og via Teams. I starten omhandlet de fleste møtene planleggingen av montering av den portable kofferten. Senere brukte vi disse møtene for å diskutere oppgaven, og planlegge fremgang i selve bacheloren.

3.2 Tidligere oppgaver

I gjennomføring av denne bacheloren ble bacheloren - *Bruk av vibrasjonsmonitoreringssystem for å avdekke begynnende degradering av generatorlager i vindturbin* av Emil Meland

og Mats Erik Haugan fra 2021 brukt til veiledning for bruk av SKF @titude (Meland og Haugan, 2021). Her var det laget en bruksanvisning for gjennomføring av innstillinger i SKF @titude. I tillegg ble det brukt en prosjektoppgave fra Drift og vedlikehold: *Bruk av Vibrasjonssensor i prediktivt vedlikehold* av Karzon, Drugli, Solvåg, Wang og Hynne fra 2022 (Karzon mfl., 2022).

Disse ble brukt mye i starten for å få ting opp å gå, vi har i denne bacheloren laget en ny og utfyllende bruksanvisning som skal følge med den portable kofferten vi har bygget. Dette er for at det forhåpentligvis skal bli enklere å bruke den videre i andre prosjekter.

3.3 Litteratur

Prosjektgruppen sine forkunnskaper innen alt av relevant teori og SKF @titude har ikke vært tilskrekkelig. Selv om vi har hatt forelesninger angående vibrasjoner i tidligere emner - er det et stort og omfattende fagområde, og krever mye kunnskap. Det har vært en tid- og ressurskrevende del av oppgaven.

Kilder i denne bacheloren er hentet fra tidligere utgitte oppgaver, samt forelesninger og søk på internett. Under internett søk har vi prøvd å bruke NTNU sitt bibliotek, og prøvd kvalitetssikre kildene på en best mulig måte. Det er også tatt i bruk intervjuer med personer som har kunnskap om utstyr og teorien rundt vibrasjonsutstyret og analysen vi har gjort.

3.4 RAMS - Lab

RAMS-Lab på NTNU i Trondheim er tatt i bruk for konstruksjon av den portable kofferten som er bygget, samt testing av utstyret før montering i felt. Under prosjektet hadde vi tilgang til labben - hvor det står en Bently Nevada RK4. Denne ble brukt for å teste sensorene og utstyret, og den ble også brukt for veiledning i bruken av SKF @titude. Her kunne vi prøve og feile selv med forskjellige innstillinger. Det er også mulighet for å velge RPM selv, dette ble blant annet brukt for å sammenligne RPM inne på Observer og den visuelle målingen for RPM på Bently Nevada RK4.

3.5 Kildekritikk

Kildekritikk handler om å vurdere troverdigheten av en kilde og avsenderen. Dette anvendes av mediebrukere og de som produserer medieinnhold (Orgeret, 2024).

Her er det i hovedsak to spørsmål som er svært essensielle å spørre seg selv om:

1. Hvor kommer informasjonen fra?
2. Er informasjonen som presenteres pålitelig?

Disse spørsmålene er blitt brukt hyppig under innhenting av informasjon til denne oppgaven. Kildene som er brukt i denne bacheloren er i hovedsak intervjuer med aktuelle kandidater som har relevans for oppgaven. I teoridelen er det søkt en del på nett for å finne kilder som støtter opp kunnskapen vi har lært og tatt i bruk og diskutert.

En god del av informasjon som er brukt har vi motatt fra SKF, og funnet inne på nettsiden deres. Selv om de er en leverandør av vibrasjonsutstyr, har vi vurdert informasjonen til å være relevant til oppgaven.

3.6 Feilkilder

Feilkilder vil alltid eksistere i et forskningseksperiment, undersøkelse, etc, også i dette prosjektet. Alle metoder vil ha noen feil, enten det er målinger, datainnsamling eller intervju. Disse feilene kan ofte deles inn i tilfeldige og systematiske feil (Frøslie, 2024).

Tilfeldige feil er feil som oppstår av tilfeldige årsaker som vi ikke kan kontrollere, for eksempel værforhold og ved korrektivt vedlikehold en annen plass på linjen. Systematiske feil er derimot vanligvis forårsaket av feil bruk av prosedyrer, uriktige avlesninger og feil i måleverktøyet, etc (Frøslie, 2024).

Gruppen har mangel på kunnskap om SKF @ptitude, og dermed er det muligheter for at der har blitt misforstått. Dette går under systematiske feil. Hvordan resultat tolkes, eller hvilke data det legges vekt på, kan også føre til ulike konklusjoner av samme måledata.

4 Resultater

I dette kapittelet vil det bli gjennomgått de ulike funnene for dette prosjektet med å svare på resultatmålene og presentere vibrasjonsanalysen for melismøllen hos Nidar. Deretter vil vi også presentere den portable enheten og brukermanualen til denne.

4.1 Ståstedanalyse

I ståstedsanalysen kom vi fram til 3 punkter som var aktuell for oppgaven, disse ser vi som essensiell for at oppgaven skal være vellykket.

Ståstedsanalyse
A. Befaring av melismølle hos Nidar B. Se på tidligere vedlikeholdsdata for melismølla i CMMS C. Gjennomføre feltmåling hos Nidar på melismølle

Tabell 4.1: Snitt av tabell Resultatmål

4.1.1 Kort presentasjon av bedriften

Test av den portabel enhet ble utført ved Nidar i Trondheim. De ble etablert i 1912, og er Norges største sjokolade- og godterimerke. Nidar har en stolt historie, og har i over 100 år laget godteri og sjokolade i Trondheim. I 2013 ble de kjøpt opp av Orkla Confectionary & Snacks Norge (Nidar, udatert).

4.1.2 Presentasjon av melismølla

Maskinen som er testobjekt for den portable enheten er en mølle fra den tyske produsenten Bauermeister med over 135 års erfaring. Bauermeister er en av verdens ledende produsenter av male- og klassifiseringssystemer og anlegg for matvare-, mineral- og kjemisk industri (Bauermeister, udatert-a).

Møllen er en universalmølle av modell UT23 produsert i 1999. Den er konstruert for å male myke til medium harde materialer som sukker, gips og kalkstein. I dette tilfellet maler

den sukker til melis (Bauermeister, udatert-b).

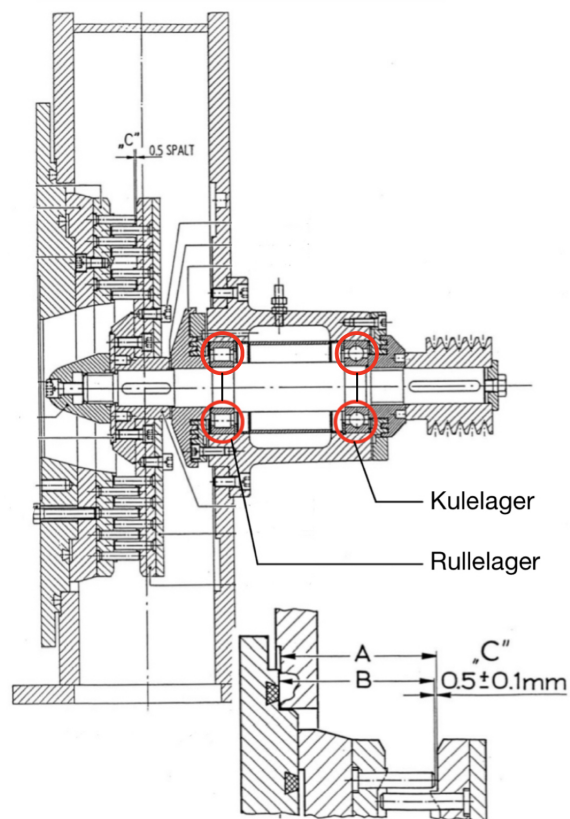


Figur 4.1: Melismølla foran



Figur 4.2: Melismølla bak

Det ligger 4 lager inne i lagerhuset (merket med røde ringer figur 4.3), de vi ønsker å overvåke ligger undersiden av drivakselen i lastsonen. De to lagrene lengst til venstre er av typen sylindrisk rullelager med betegnelsen NU310 ECP 50x110x27 og de andre to til høyre er av typen kulelager med betegnelsen 6310 C3 50x110x27.



Figur 4.3: Snittbilde av mølla
(Bauermeister, 1999)

På mølla er det opplyst et turtall på 5295 rpm som den jobber i, men for å få et nøyaktig tall så ønsket vi også å måle turtallet, dette også så vibrasjonsdataene som vi kunne lese av ble mer nøyaktig. Dette ble målt direkte på drivakselen på utsiden av kileremskiva. (se figur 4.4)



Figur 4.4: Turtallsmåling

4.1.3 Befaring

Det ble utført flere befaringer for å komme fram til hvordan selve målingene skulle utføres. Under planleggingsfasen gikk vi gjennom maskintegninger og CMMS for å lokalisere og identifisere hvor i melismølla lagrene lå og hvilke rutiner de hadde fra før rundt vedlikeholdet på mølla.

4.1.4 Vedlikehold

Gjennomgangen av CMMS viser at vedlikeholdsarbeidet på mølla er 1-2 ganger i året under et planlagt vedlikeholdsstopp til fastsatt tid. Overvåkingen av tilsand utføres med jevne mellomrom, ved å lytte og se på mølla etter tegn som kan fortelle hvis det er noe som ikke er som det skal. Det er også egne rutiner for stans og stopp slik at mølla hele tiden skal være klar. Her skiller man på korte stans og lengre stans med to forskjellige rutiner (Jensen, 2024).

4.1.5 Feltnmåling

Installasjon av den portable enheten ble planlagt i flere runder, slik at når dagen kom så skulle alt være tilrettelagt. Vi gikk nøye gjennom de ulike målepunktene og hvor de skulle monteres. Det ble valgt tre punkter for vibrasjonsmåling og en turtallsmåler, to av vibrasjonssensorene skulle monteres på hvert sitt lager på undersiden av drivakselen.



Figur 4.5: Monterte vibrasjonssensorer

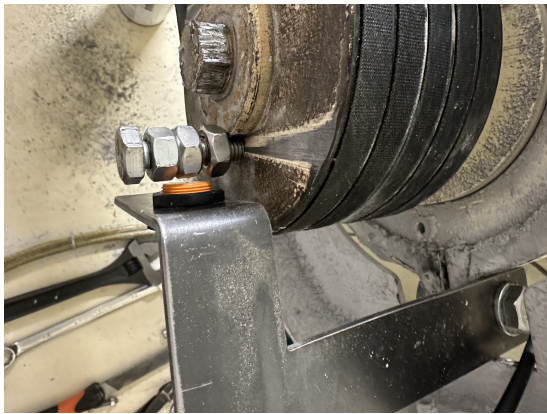
Den tredje vibrasjonssensoren skulle monteres på elmotoren for å kunne gjøre en analyse av denne også, men dette var ikke noe Nidar så på som en prioritet. Vi kom fram til at vi skulle prøve å montere denne allikevel som en kuriositet, men den kunne ikke demonteres slik vi ønsket og dette førte til en litt fiks løsning.



Figur 4.6: Vibrasjonssensor elmotor

Senere oppdaget vi at den var koblet feil slik at vi ikke fikk målt noe data med denne, og vi fikk ikke rettet opp feilen før utstyret måtte demonteres. Tiden vi fikk målt ble litt forkortet da Nidar skulle renovere inne i det rommet utstyret var montert.

Den siste sensoren vi monterte var en turtallssensor, dette for å forsikre oss om at turtallet var det som ble oppgitt på mølla. Den eneste plasseringen vi fant var på utsiden av drivakselen via en brakett som ble laget til dette formålet, dette fikk vi god hjelp til av lærlingen på Nidar som ble utdelt som hjelper under monteringen. Braketten ble montert i dekslet som kapsler inn drivremmer og reimhjulene, slik at sensoren fikk et fast ankerpunkt uten bevegelse. Deretter ble det montert en bolt med 3 muttere inn i festeanordningen på drivakselen for at sensoren skulle ha noe å registrere per fulle omdreining. Det var viktig at braketten, sensoren og bolten med muttere ikke var i noen form for bevegelse da sensoren er avhengig av å være så nær som 1-4mm for å registrere data.



Figur 4.7: Montering av turtallssensor



Figur 4.8: Turtallssensor fra siden

4.2 Portabel måleenhet

I dette delkapittelet vil vi gå gjennom hvordan den portable måleenheten er konstruert, testet og stilt inn.

4.2.1 Planleggingsfasen

I planleggingsfasen hadde vi intervjuer med Leif Håkon Jensen ved Nidar (Jensen, 2024), Erik Solberg ved SKF (Solberg, 2024) og Viggo Pedersen veileder og foreleser ved drift og vedlikehold på maskiningeniørinja ved NTNU (Pedersen, 2024). Under intervjuene fant vi ut hvor mange sensorer som måtte være med, og hvilken type sensorer som måtte brukes. Det kom også fram at vi måtte ta hensyn til eksplosjonsfare på grunn av hvor finmalt sukkeret var, så hvis det var fare for gnist så måtte dette være innkapslet. Ut fra dette laget vi en utstyrsliste med komponenter som var nødvendig:

Komponenter til portabel måleenhet:

- Koffert som er støv og vanntett
- Strømforsyning
- SKF IMx8 Plus
- 3 x CMSS WIND-100-10 Akselerometer av 10meter
- Tacho sensor av 10 meter
- LTE antenne
- SIM-kort
- Strømledning med stikk
- Nipler som er støv og vanntett i to dimensjoner
- festeskinne

Verktøy til konstruering av portabel måleenhet:

- Elektrikertang
- Ledning metervare
- Sterk dobbeltsidig tape

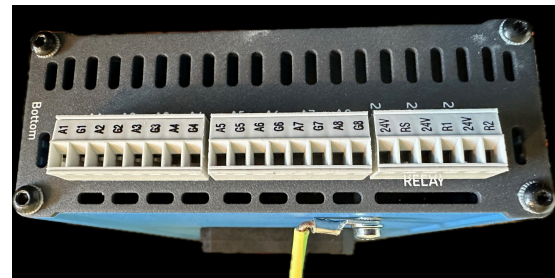
- Skrujern
- Koblingsklemmer
- Kabelsko
- Drill
- Hullsag for drill
- Krympestrømpe

4.2.2 SKF IMx8 Plus

Styreenheten i den portable måleenheten er en SKF IMx8 Plus, denne mottar signal fra alle sensorer som er koblet til og sender dette videre til lagring i skyen. Den har også et minne på 4Gb for intern lagring, men det er kun 2Gb som er tilgjengelig for bruk, de to siste er for framtidig utvikling (SKF, 2020).

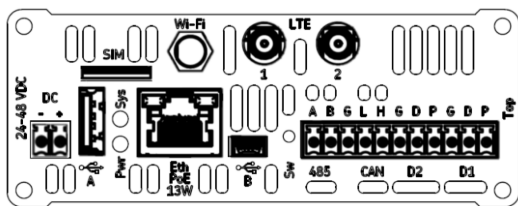


Figur 4.9: SKF IMx8 Plus Top

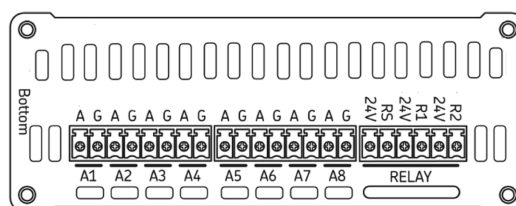


Figur 4.10: SKF IMx8 Plus Bottom

Den har plass til 8 analoge sensorer, og 2 digitale sensorer. De 8 analoge har posisjon (A1,G1)-(A8,G8) på bunnen av IMx boksen. På framsiden skal den/de digitale tacho/hastighetssensorene kobles til, her skiller man mellom 2-leder og 3-leder sensorer, og har posisjonen (P1,D1,G1) og (P2,D2,G2).



Figur 4.11: SKF IMx8 Plus Top (SKF, 2020)



Figur 4.12: SKF IMx8 Plus Bottom (SKF, 2020)

Forklaring av innganger til IMx8 Plus

Terminal	Forklaring
DC	\pm for 24-48 V DC strømforsyning
SIM	Micro-SIMkortholder
A	USB A vertsgrensesnitt, Bluetooth-dongel vanligvis montert her
Eth	RJ45 Ethernet kontakt med med strøm
Wi-Fi	Tilkobling for ekstern antenne, der Wi-Fi blir brukt
B	USB mini-B kontakt, servicegrensesnitt
LTE 1/2	Mobildatakontakt for ekstern antenne, der LTE blir brukt
485 A/B	RS485 2-leder A og B terminaler
G	Jordingskontakt for RS485 og/eller CAN
CAN L/H	CAN bus for kjøretøysystem (ingen programvare support)
D1-D2	2 digitale innganger (Ground-, Digital-, Powerkontakt for hver sensor)
LED	Pwr-Strøm (grønn, normal: på), Sys-System (rød, normal: av)
Sw	trykknapp - nødstoppsknapp, går over til vedlikeholdsmodus
A1-A8	Analoge innganger 1 til 8 (Analog-, Jordterminal til hver) Koble signal til A
R2	Relé 2, relédriverutgang (åpen kollektor)
24V	24V DC strøm for reléspole
R1	Relé 1, relédriverutgang (åpen kollektor)
24V	24V DC strøm for reléspole
RS	Systemrelé, relédriverutgang (åpen kollektor)
24V	24V DC strøm for reléspole

Tabell 4.2: IMx8 Plus innganger/utganger (SKF, 2020)

4.2.3 Akselerometer

De analoge sensorene som ble brukt til denne målingen er av typen SKF CMSS WIND-100-10. De har et måleområde på 0.5 Hz til 10000 Hz (SKF, 2024). For å få målt data på høyere frekvenser - kan man bruke envelopemetoden.



Figur 4.13: CMSS-WIND-100-10 (SKF, 2024)

4.2.4 Tacho sensor

Det ble brukt en tacho sensor for å holde øye med - og sjekke det reelle turtallet. Denne er av typen 2-leder med strøm fra IMxboksen.



Figur 4.14: Tacho Sensor

Forskjellen på de digitale tacho sensorene kan du se i figuren under som er hentet fra SKF IMx8 Plus brukermanual (SKF, 2020).

Sensor type	Wire colour	Wire function	Digital input
2-wire	White	+	P
IMx powered	Black	-	D
			G
3-wire PNP	Brown	+	P
IMx powered	Black	Output	D
	Blue	-	G
Pulse source			P
or TTL	(no standard)	+	D
External power		-	G

Figur 4.15: Tacho Sensorer (SKF, 2020)

4.2.5 Konstruksjon

Kofferten vi valgte ble kjøpt på *Clas Ohlson*. Den har en IP65 sertifisering - som vil si den er støv- og vanntett, og den er så robust at den beskytter mot støt som vil beskytte utstyret inni kofferten. Den har også en automatisk luftventil for utgjevning av trykk inne i kofferten (Ohlson, 2024).

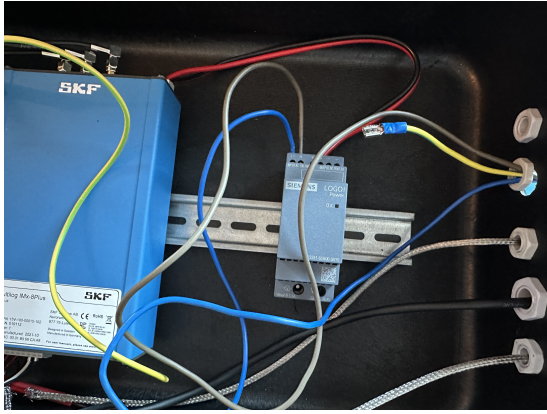


Figur 4.16: (Ohlson, 2024)



Figur 4.17: (Ohlson, 2024)

RAMS-lab på NTNU ble brukt som laboratorie for konstruering av den portable måleenheten. Vi startet med å feste skinnen som SKF IMx8 Plus og strømforskyvningen skulle sitte fast i - her ble det brukt en kraftig dobbeltsidig tape, for å feste skinnen. Deretter ble det boret hull på siden av kofferten, for montering av nipler for kabelgjennomføring. LTE-antennen ble også montert inne i topplokket til kofferten med dobbeltsidig tape.



Figur 4.18: Under montering



Figur 4.19: Deler fra SKF



Figur 4.20: Komplette koffert

4.2.6 Ta i bruk den portable måleenheten i SKF @ptitude

Den portable måleenheten ble lagt til i SKF @ptitude under NTNU_Valgrinda. Den vil nå ligge tilgjengelig inne på SKF @ptitude Observer 13.2 når den skal tas i bruk ved et senere tidspunkt. Når dette systemet tas i bruk senere, vil det være tilstrekkelig å justere parameterne for den nye maskinen det skal kobles til for å gjennomføre en ny analyse. Neste bruker trenger dermed ikke å gjennomgå denne prosessen på nytt.

Under konstruksjonen ble det laget en bruksanvisning som skal veilede neste bruker i bruken av kofferten. Bruksanvisningen gir en trinnvis veiledning om hvordan kofferten ble

satt opp for bruk på vårt analyseobjekt (Hanssen & Madsen, 2024). I bruksanvisningen går vi gjennom alle punktene vi brukte for å sett opp kofferten, og innloggingen er en 8 stegs prosess.

SKF Cloud Solutions
Cloud maintenance 2024, 18:30-21:30 CET: May 16, Jun 13, Jul 11, Aug 15, Sep 12, Oct 10

Support | RDP Help

Domain\user name: rdcemea\vpedersen
Password:

Security
Warning: By logging in to this web page, you confirm that this computer complies with your organization's security policy.

Sign in

To protect against unauthorized access, your RD Web Access session will automatically time out after a period of inactivity. If your session ends, refresh your browser and sign in again.

[SKF Terms and Conditions](#) [SKF Privacy Policy](#)

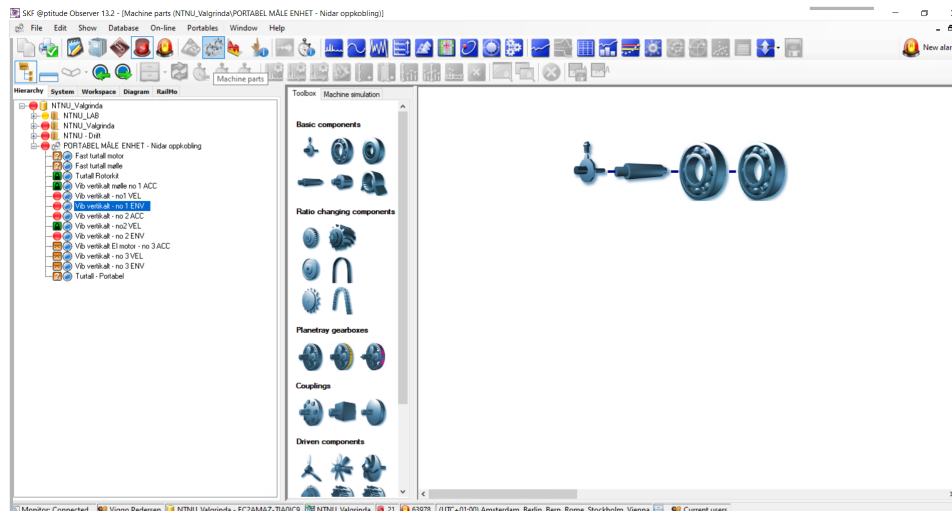
Figur 4.21: SKF Cloud Solutions

Oppstart av SKF @ptitude Observer 13.2:

- Link til SKF Cloud Solutions
- Logg inn med brukernavn og passord
- Velg Observer 13.2
- Åpne fil
- Logg inn med brukernavn og passord
- Velg vis detaljer
- Remote app DUO innlogging via telefon
- Velg NTNU_Valgrinda press OK

4.2.7 Innstillinger SKF @ptitude

For å ta i bruk kofferten må man legge til maskindelenene man ønsker å måle på inne i Observer. Da må man starte med å fjerne de delene som er lagt til fra forrige bruk.



Figur 4.22: Legge til maskindeler

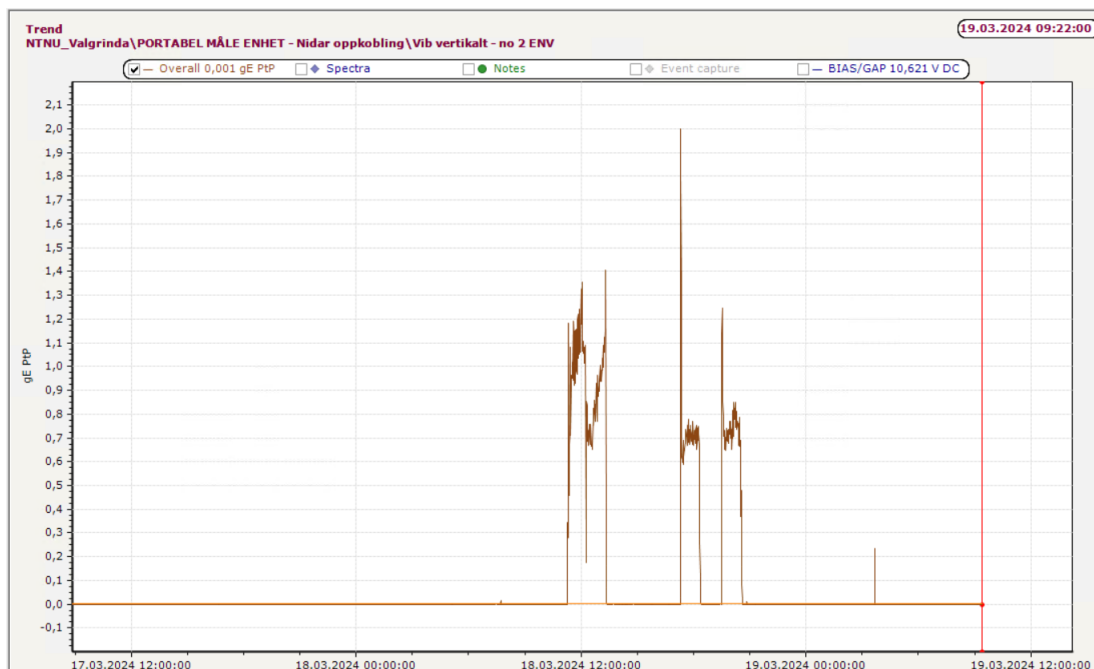
Det må tas en vurdering av hvilken type vibrasjonssensor som skal brukes, på grunn av at sensorene har en range den opererer innenfor. Deretter må det velges hvor mange sensorer det er ønskelig å ta i bruk, koble de til og legge dem til i Observer på riktig kanal. Det er mulighet for å ha digitale sensorer som tacho sensor (turtall), eller så kan man legge til et fast turtall. Det ble kjent under intervju med Erik Solberg (Solberg, 2024), at om man ikke brukte sensor for turtall - kunne det legges til et fast turtall som målingen tar hensyn til. Turtallsensoren fra Bently Nevada Rotorkit er allerede installert, så for å teste utstyret, trenger man bare å aktivere den.

4.3 Vibrasjonsanalyse

Etter møte med Nidar (Jensen, 2024) ble vi enig om at vi skulle la den portable måleenheten stå tilkoblet fra uke 11 til uke 14 for å samle mest mulig data. I uke 13 prøvde vi å koble opp til kofferten uten å få kontakt med den. Vi kontaktet Nidar for å undersøke hvorfor vi ikke fikk kontakt med kofferten - og fikk opplyst den 08. April at den var koblet fra strømkilden på grunn av påskeferie. Vi gikk da ut i fra at den ble koblet til

for videre analyse. 12. April tok vi på nytt igjen kontakt med Nidar fordi vi fortsatt ikke fikk kontakt med kofferten, og 16. April fikk vi opplyst at den var koblet fra på grunn av vedlikehold av gulvet inne i det rommet den var montert. Og hvis vi skulle ha en lengre måling så måtte vi installere et mer permanent utstyr - inne i et forsyningsskap. Etter overveielse og i samråd med veileder (Pedersen, 2024) ble beslutningen at vi demonterte utstyret, og heller fokuserte på bacheloren.

Mengden data som var innsamlet var fra 18. Mars og vi har ikke nok datagrunnlag for å utføre en analyse, men vi fikk testet kofferten og sjekket at den fungerte som var hoveddelen i bacheloroppgaven.



Figur 4.23: Envelope avlesing fra innsamlet data

4.4 Brukermanual

Under konstrueringen av den portable enheten har vi laget en brukermanual til veiledning i bruk av denne. Vi har prøvd å være så informativ som mulig for å sikre enkel bruk. Her kan man slå opp hvert punkt vi har gått igjennom for å legge til ny maskin, og stilt inn alle sensorene for korrekt innsamling av data. Har også lagt til tips for raske endringer og gjennomsjekk av innstillinger.

BRUKERMANUAL

Portabel måleenhet



NTNU 2024

Figur 4.24: Forside brukermanual

Det er også et lite kapittel om selve konstrueringen. Konstruksjonen av den portable måleenheten startet med intervju med Nidar (Jensen, 2024) om hvordan han så for seg kofferten skulle være. Antall sensorer ble diskutert, hvilke sensorer som skulle være med, og diverse mål og hensyn vi måtte ta for at dette skulle bli vellykket. En av de viktigste hensynene vi måtte ta, var eksplosjonsfaren som kunne oppstå ved gnist i rommet der melismøllen befant seg. Dette gjorde at vi fant en koffert som var mest mulig tett, slik at gnistfare ikke skulle bli et problem. Den er sertifisert IP65 som gjør den støv, fuktighet og vanntett, mer informasjon om denne finner man på Clas Ohlson sine hjemmesider (Ohlson, 2024).

Denne blir lagt med som vedlegg og er nok et godt verktøy for nye studenter.

5 Diskusjon

I dette kapittelet gjennomgår vi og drøfter hvert av målene for resultat. Vi vil undersøke styrker og svakheter og vurdere alternative vurderinger. I tillegg vil vi diskutere litt om veien videre.

5.1 Styrker og svakheter med den portable måleenheten

Den portable måleenheten har noen styrker verdt å nevne, som størrelsen på kofferten. Den er valgt større enn selve utstyret slik at den skal ha mulighet for å utvides, her med tanke på om det skulle være nødvendig med flere sensorer enn 8, så kan man enten bytte ut IMx8 til en IMx16, eventuelt bygge ut med en ekstra IMx8 inne i kofferten. Der er også mulighet for å bore flere hull å sette inn nipler i samme dimensjon for å få plass til sensorene. Kofferten har også IP65 som gjør at den kan utsettes for flere hardføre omgivelser.

Svakheter kan være for eksempel bruken av dobbeltsidig tape, denne skal være kraftig, men vi så ved demontering at denne kan skape skjevheter i oppsettet inne i kofferten. Varme kan også forårsake at limen slipper taket og skinnen og/eller antennen kan løsne fra sitt feste. Grunnen til at vi valgte dobbeltsidig tape var at vi ønsket å lage minst mulig hull i kofferten.

Vi vurderte bruken av andre tilkoblingspunkter på utsiden av kofferten da vi etter montering så at der ville komme uønsket slitasje på ledninger ved av- og påkobling. Dette vil forkomme ved montering av den portable måleenheten på utsiden av selve rommet der melismølla sto, da måtte kablene demonteres og trekkes gjennom en kabelsjakt før vi koblet dem til igjen. En annen vurdering for andre tilkoblingspunkt er at kablene/sensorene kan oppbevares inne i kofferten under oppbevaring, og frakt av utstyret. Dette betyr at de burde være lett avtakbare, som kan hindrer slitasjer og skader på ledningene.

Det kan være utfordrene å sette seg inn i alle innstillingene og lett å gjøre feil. Derfor har vi laget en bruksanvisning som skal guide gjennom de punktene vi har tatt i bruk. Vi gjorde selv en feilkobling/innstilling under montering og innstilling, dette tok tid før vi oppdaget

og kunne vært unngått med mer kunnskap om utstyret. Den ene feilen som ble gjort var at vi skulle legge til sensor 3 som skulle på elmotoren i kanal 4, men under montering satt vi sensor 3 - på kanal 3, som var veldig naturlig, og vi glemte å dobbeltsjekke at det var riktig. Dette resulterte i at vi ikke fikk noe data fra dette målepunktet. Vi hadde også en feil i innstillingene på hvor ofte sensor 2 skulle samle måledata, dette kan unngås ved bruk av "Multiple point update wizard" der man kan se på flere innstillinger samtidig for å sammenligne.

Vi føler at konstruksjonen av den portable måleenheten kan bidra til at andre studenter ved NTNU kan ha større mulighet for å drive med prediktivt vedlikehold og vibrasjonsanalyse, ved hjelp av denne portable måleenheten. Ved bruk av bruksanvisningen og veiledning kan den tas raskt i bruk, og kan monteres på mange forskjellige områder uten nødvendighet for en fast installasjon. I tillegg er det viktig å presisere at *brukermanualen* ikke er en fasit. Det kan være lettere å gjennomføre på andre måter - men det er en veiledning for at det skal være mulig å ta den portable måleenheten i bruk.

5.2 Ståstedanalyse

I ståstedsanalysen har vi 3 punkter som vi mente var essensiell for en vellykket oppgave. Her vil vi gå inn på de punktene.

5.2.1 A. Befaring av melismølle hos Nidar

Under befaringen av melismølla ble det gjort intervju og en nøye gjennomgang av mølla. Det ble gjort flere vurderinger om hvilke sensorer vi skulle ha med og hvor de skulle plasseres.

Der er fire lager som er aktuelle uten å måtte montere vibrasjonssensorer på innsida av mølla, vi valgte de to som ligger i lastsonen på drivakselen. Her ble det tatt en vurdering om vibrasjonssensorene skulle limes på, eller bores hull for så å skru de på plass for sikker montering. Vi endte opp med å bore hull for at de skulle sitte skikkelig fast da mølla vibrerer og genererer varme slik at lim eventuelt kunne løsne.

Den tredje vibrasjonssensoren valgte vi å feste litt uortodoks i en bolt for så å skru den inn der løfteøye satt fast på elmotoren, det i håp om at vi kunne motta data fra denne også. Dette var noe som ikke var en prioritet fra Nidar sin side da elmotoren akkurat var byttet, og at mølla hadde høyere prioritet. Så den ble montert mest som en kurriositet fra vår side.

Vi monterte også en tachosensor for å sjekke det oppgitte turtallet på drivakselen som var gitt til 5295 RPM, dette for å forsikre oss om at datainnsamlingen hadde minst mulig feilmargin. Utfordringen med montering av denne sensoren var at der ikke var noe festepunkt for sensoren eller et referansepunkt sensoren kunne måle på. Dette løste vi ved å lage en festeanordning som vi monterte fast i dekslet som var rundt reimhjulene og kilereimene, og så monterte vi en bolt med noen muttere i reimhjulet som sensoren kunne bruke som referansepunkt på hvert omløp.



Figur 5.1: Tachosensor fra siden

Tachosensoren må monteres veldig nært inntil referansepunktet med en avstand på maks 4mm, dette viste seg å være katastrofalt for sensoren da vi oppdaget under demontering at den hadde vært borti bolten og blitt skadet under målingen.



Figur 5.2: Skadet tachosensor

5.2.2 B. Se på tidligere vedlikeholdsdata for melismølla i CMMS

I intervjuet under befaringen gikk vi gjennom tidligere vedlikeholdsdata i CMMS, her kom vi fram til at melismølla har hatt planlagt vedlikeholdsstopp 1-2 ganger i året. Der var ingen registrerte nødstopper i CMMS så langt som vi kunne se. Arbeidet som vi kunne se var utført var smøring av lager, utskifting av lager, skifte av kilereimer og bytte av elmotor. Ifølge CMMS så er der ingen registrerte feil før under selve vedlikeholdsstoppene. Den prediktive vedlikeholdsmetoden melismølla er blitt holdt øye med er ved å lytte, se og ta på.

Vi ser et potensial ved bruk av vibrasjonsanalyse som hjelpemiddel for å predikere tilstanden til melismølla. Dette fordi vi ser på CMMS at utførelse av prediktivt arbeid kun

utføres til faste tider, og kan føre til svikt om det skulle skje noe utenfor faste vedlikeholdsstopp.

5.2.3 C. Gjennomføre feltmåling hos Nidar på melismølle

Monteringen av den portable måleenheten gikk ganske fint, vi fikk utdelt en mekanikerlærling som skulle bistå oss under selve montasjen. Vi brukte en dag på å montere utstyret på avtalte punkter, og sjekke at det fungerte.

Feltemålingen gikk ikke helt som planlagt da vi fikk svært lite data fra den tiden utstyret sto montert. Melismølla gikk til sammen en hel dag med to skift før den ble frakoblet. Som tidligere nevnt under resultat ble utstyret frakoblet som en del av ferieavvikling i påska og senere vedlikehold av gulv inne der den sto montert.

5.3 Vibrasjonsanalyse

Datainnsamlingen som var planlagt å skulle ta syv uker, ble kortet inn til en uke. Dette fikk store følger for analysen vi skulle ha med i oppgaven. På den ene uka gikk melismølla i en dag i to skift, dette resulterer i at vi ikke har nok data for å gjøre en analyse. Dette gjorde også at vi ikke fikk mulighet til å rette innstillinger som ble korrigert i ettertid.

Under forsøk i å se på frekvensene i spektret viste det seg at det er for lite data til å få opp et spekter, dette fører til at det ikke er mulig å se på frekvensene lagrene jobber i, og umulig å gjøre en analyse.

Med nærmere ettertanke ville kanskje en montering av strømforsyning inn i forsyningskap gjort at vi fikk mer data for analyse, men når denne avgjørelsen ble tatt følte vi at dette var mot sin mening da hovedoppgaven var å konstruere en portabel løsning av utstyr fra SKF.

5.4 Veien videre

Etter å ha gått gjennom alle fordeler og ulemper med den portable måleenheten har vi sett på flere muligheter for veien videre. Videre utvikling bør inkludere testing på ulike maskiner og miljøer, for å forbedre og øke påliteligheten. Et annet element er å sette inn bananpluggen istedet for Namron nipler, som er montert i dag, dette vil føre til en bedre brukeropplevelse da av- og påkobling vil kunne utføres uten at man må demontere kablene i stor grad. Dette fører til lavere tidsbruk og mindre slitasje over tid. Om dette skulle være aktuelt å gjøre senere, så må tap tas med i beregningen, på et så ømfintlig utstyr vil det være svakt for støy og eventuelt tap i signalstyrke.

En annen utbedring vil være å ha muligheten for oppbevaring av sensorer med kabler inne i kofferten, både under lagring og transport mellom maskiner som man ønsker å benytte utstyret på. Dette vil være en utbedring som automatisk vil komme av å montere for eksempel bananpluggen eller andre alternativ.

Bruksanvisningen har også forbedringspotensial, både med tanke på de punktene som allerede er kommentert og utvidelse med andre funksjoner. Her kan IMx8 med andre tilkoblingsmuligheter og IMx16 være en ide. Vi har ikke kommentert funksjoner vi ikke har tatt i bruk som Ethernet, Bluetooth, Wi-Fi og rele osv.

6 Konklusjon

I denne bacheloroppgaven har vi utviklet en portabel måleenhet for vibrasjonsanalyse, basert på stasjonært utstyr fra SKF. Ved å konstruere dette om til en bærbar løsning, har vi som mål å øke effektiviteten og fleksibiliteten ved feltmålinger.

6.1 Hovedfunn og resultater

Vi har utviklet og testet en portabel måleenhet som inkluderer IMX8 Plus med strømforsyning, montert i en koffert. Denne enheten ble testet på RAMS-lab på Bently Nevada rotorkit og i felt hos Nidar på melismøllen. Resultatene viser at den portable måleenheten fungerer i felt selv om det var en kort test, og kan raskt monteres og demonteres, men kunne vært enda raskere ved å utbedre tilkoblingene. CMMS data viser at det kan være behov for videre oppfølging og at der er mulighet for forbedring i vedlikeholdsrutinene.

6.2 Læringsutbytte

Gjennom bacheloren har vi brukt vår kunnskap innen konstruksjon, vedlikeholdsrelatert arbeid og samarbeid. Oppgaven har gitt oss praktisk erfaring med bruk av vibrasjonsanalyseutstyr, samt erfaring i samarbeid med både akademiske og industrielle partnere. Dette har økt vår forståelse av hvordan teoretisk kunnskap kan brukes i praktiske situasjoner.

6.3 Begrensninger og veien videre

En viktig begrensning i undersøkelsen er at feltmålingene ble utført på en enkelt type maskin (melismøllen). For å forbedre utstyret ytterligere, anbefales det å teste den portable måleenheten på flere typer maskiner og i ulike miljøer. I veien videre kan man fokusere på å forbedre og øke påliteligheten til den portable måleenheten.

6.4 Anbefalinger

Vi anbefaler at den utviklede portable måleenheten brukes i undervisningen ved NTNU for å gi studenter praktisk erfaring med vibrasjonsanalyse.

6.5 Avslutning

Bacheloren har vist at det er mulig å konvertere stasjonært utstyr til en portabel løsning, det kan også bidra til en bærekraftig løsning ved å forlenge levetiden til maskiner gjennom bedre vedlikehold. Dette bidrar til FN's bærekraftsmål ved å fremme bærekraftig industrialisering og redusere ressursløsning.

7 Kilder

- Bauermeister. (1999). *Driftshåndbok universalmøller* (Data sheet Nr. BA 784-0 / 12-94) (Available as PDF at Nidar). Baurmeister.
- Bauermeister. (udatert-a). *Historie* [bauermeister.de]. <https://www.bauermeister.de/en/Company/about-us/> (accessed: 14.05.2024).
- Bauermeister. (udatert-b). *Maskin* [bauermeister.de]. <https://www.bauermeister.de/en/Machines/Impact-Mills/universal-mill/> (accessed: 14.05.2024).
- Bearings, W. (2021). *Bearing failure and how to prevent it* [waukbearing.com]. <https://www.waukbearing.com/en/resources/bearing-damage-index/fatigue.html> (accessed: 08.05.2024).
- Bye, P. I. (2009). *Vedlikehold og driftsikkerhet*. 1. utgave red Trondheim: NTNU.
- Chan, J. (2024). *Condition-Based Maintenance* [limblecmms.com]. <https://limblecmms.com/strategies/condition-based-maintenance/> (accessed: 06.05.2024).
- FN-sambandet. (2024). *FNs bærekraftsmål* [fn.no,]. <https://fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal> (accessed: 11.05.2024).
- Frøslie, K. F. (2024). *Målefeil* [Store norske leksikon, SNL.no]. <https://snl.no/m%C3%A5lefeil> (accessed: 05.05.2024).
- Hanssen, A. K. H., & Madsen, K. (2024). *Brukermanual portabel måleenhet* (Brukermanual) (Available as PDF). NTNU Trondheim.
- Haugen, F. A. (2017). *Signaler og nøyaktigheter i prosessmålinger* [slideplayer.no, HSN]. <https://slideplayer.no/slide/13737597/> (accessed: 10.05.2024).
- Jensen, L. H. (2024). Personlig intervju [Intervjuer ble utført i perioden 01. november 2023 - 01. april 2024].
- Karzon, A., Drugli, K., Solvåg, M., Wang, R. K., & Hynne, I. (2022). *Bruk av vibrasjonssensor i prediktivt vedlikehold* (Prosjektrapport) (Available as PDF). NTNU Trondheim.
- Larsen, A. I. (udatert). *Kulelager 101: Vedlikeholdstips for lengre levetid* [ail.no]. <https://www.ail.no/kulelager-og-vedlikehold> (accessed: 08.05.2024).
- Mais, J. (2002). *Spectrum Analysis - The key features of analyzing spectra* [SKF.com/cm,]. <https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/bearing-failure-and-how-to-prevent-it> (accessed: 08.05.2024).

- Martinsen, K. (2023). *Den fjerde industrielle revolusjon* [Store norske leksikon, snl.no]. https://snl.no/den_fjerde_industrielle_revolusjon (accessed: 11.05.2024).
- Meland, E., & Haugan, M. E. (2021). *Bruk av vibrasjonsmonitoreringssystem for å avdekke begynnende degradering av generatorlager i vindturbin* (Bachelor) (Available as PDF at NTNU Open). NTNU Trondheim.
- MobiusInstitute. (2016). *Vibration Analysis*. 4.0 red. s.l mobiusinstitute.com.
- MobiusInstitute. (2022). *Vibration analysis dictionary* [Mobius Institute, mobiusinstitute.com]. <https://www.mobiusinstitute.com/vibration-analysis-dictionary/#f> (accessed: 08.05.2024).
- Mobley, R. K. (2002). *An Introduction to Predictive Maintenance*. 2nd ed. Amsterdam : Butterworth-Heinemann.
- Nidar. (udatert). *Historie* [Nidar.no]. <https://www.nidar.no/om-nidar/> (accessed: 14.05.2024).
- NorskIndustri. (2013). *Kjemiprosessfaget*. Norsk Industri: Læremateriell fra Industriskolen.
- NTI. (udatert). *Fast Fourier Transformation FFT - Basics* [NTI audio, nti-audio.com]. <https://www.nti-audio.com/en/support/know-how/fast-fourier-transform-fft> (accessed: 10.05.2024).
- Ohlson, C. (2024). *Merch* [clasohlson.com]. <https://www.clasohlson.com/no/p/41-1730> (accessed: 15.05.2024).
- Orgeret, K. S. (2024). *Kildekritikk* [Store norske leksikon, SNL.no]. <https://snl.no/kildekritikk> (accessed: 30.04.2024).
- Pedersen, V. G. B. (2024). Personlig intervju [Intervjuer ble utført i perioden 01. november 2023 - 01. april 2024].
- Pedersen, V. G. B. (2023). *Prediktivt Vedlikehold* [ntnu.blackboard.com]. https://ntnu.blackboard.com/ultra/courses/_23009_1/cl/outline (accessed: 08.05.2024).
- Sensemores. (2024). *Envelope Analysis* [sensemore.io, Sensemore smart machine health]. <https://sensemore.io/envelope-analysis/> (accessed: 06.05.2024).
- Siegel, D. (2009). *Evaluation of Health Assessment Techniques for Rotating Machinery* [researchgate.net]. https://www.researchgate.net/figure/Time-Signal-and-Envelope-Signal-for-Bearing-with-Level-3-Scratch-Damage_fig9_265038187 (accessed: 08.05.2024).

- SKF. (2017a). *Bearing damage and failure analysis* [SKF.com]. https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d1968064c148/pdf_preview_medium/0901d1968064c148_pdf_preview_medium.pdf#cid-297619 (accessed: 01.05.2024).
- SKF. (udatert). *Bearing failure and how to prevent it* [SKF.com]. <https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/bearing-failure-and-how-to-prevent-it> (accessed: 08.05.2024).
- SKF. (2024). *Products* [skf.com]. <https://www.skf.com/id/productinfo/productid-CMSS-WIND-100-10> (accessed: 20.05.2024).
- SKF. (2017b). *SKF @ptitude Observer* [SKF.com, User manual]. https://vehicleaftermarket.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d19680b754d7-Observer-122User-manualEN_tcm_12-565840.pdf (accessed: 01.05.2024).
- SKF. (2020). *SKF Multilog On-line System IMx-8/IMx-8Plus* [skf.com]. <https://www.skf.com/id/productinfo/productid-CMSS-WIND-100-10> (accessed: 15.05.2024).
- SNL. (2021). *Vibrasjoner* [Store norske leksikon, SNL.no]. <https://snl.no/vibrasjoner> (accessed: 15.04.2024).
- Solberg, E. (2024). Personlig intervju [Intervjuer ble utført i perioden 01. november 2023 - 01. april 2024].
- STI. (2020). *Proximity Probe Transducer Installation: Part 1 Radial Vibration* [STI Vibration Monitoring Inc., stiweb.com]. https://www.stiweb.com/kb_results.asp?ID=177 (accessed: 08.05.2024).

8 Vedlegg

8.1 Brukermanual portabel måleenhet

BRUKERMANUAL

Portabel måleenhet



Innholdsfortegnelse

Brukermanual: Portabel måleenhet.....	2
<i>Innledning</i>	<i>2</i>
<i>Oppbygging av kofferten.....</i>	<i>3</i>
Koblingsskjema.....	4
<i>Har tegnet et lite koblingsskjema av slik vi har koblet i kofferten. Bilder under er forstørret bildet av tilkoblinger på SKF IMx8 Plus.</i>	<i>4</i>
<i>Oppsett SKF @ptitude</i>	<i>5</i>
Innlogging.....	5
Legge til aktuelle komponenter	8
Legge til sensorer i IMx8	10
Legge til målepunkt	12
Kalibrering	14
Tips	20
Bibliografi	25

Brukermanual: Portabel måleenhet

Innledning

I denne brukermanualen vil det komme forklaringer på hvordan kofferten er oppbygd, og hvordan man kan legge de ulike sensorene i SKF @ptitude. I tillegg har det blitt laget et lite punkt med et tips, dette kommer helt til slutt.

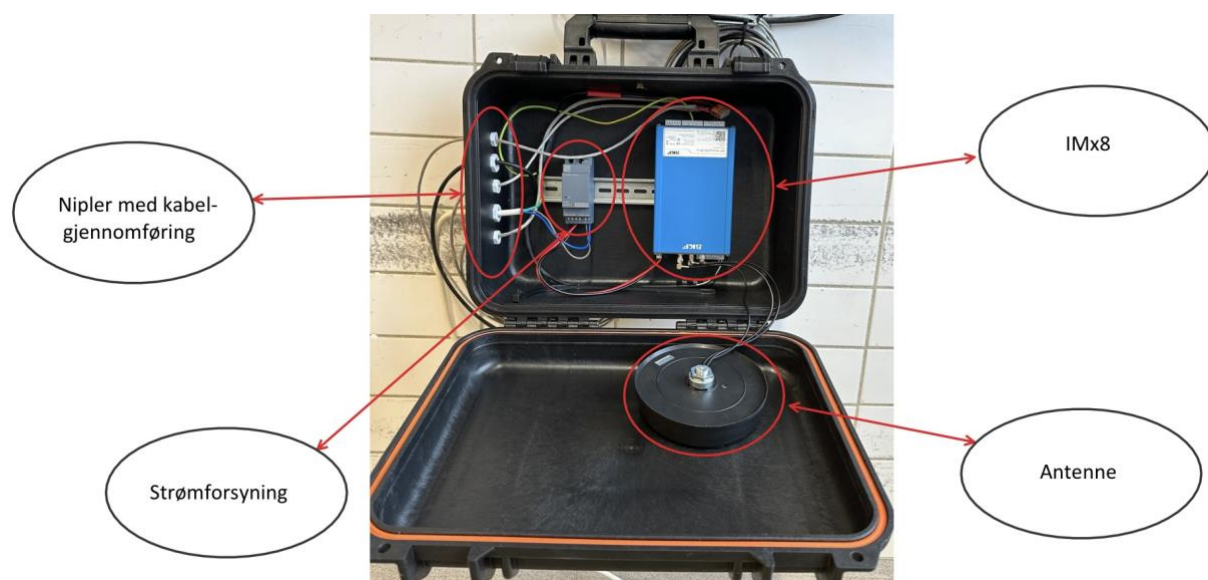
Denne manualen er en veiledning på oppsett av sensorer i den settingen som har blitt brukt angående kofferten. Og dermed ikke en fasit på hvordan man kan gjøre ting i SKF @ptitude – men en god veiviser til å kunne ta i bruk kofferten. Det kan hende noe kan bli gjort annerledes og raskere, men i den tiden som har gått – har vi kommet fram til dette.

Det ble brukt et utgangspunkt i en prosjektoppgave fra *Drift og Vedlikehold: Bruk av vibrasjonssensorer i prediktivt vedlikehold* (Karzon, et al. 2022), til å starte med for å skrive inn de ulike innstillingene i SKF @ptitude. Denne ble brukt som et utgangspunkt for å kunne sette opp de ulike innstillingene, og var til god hjelp under oppsett. I tillegg har vi hatt god kontakt med Erik Solberg fra SKF, til hjelp i å finne de riktige innstillingene.

Oppbygging av kofferten

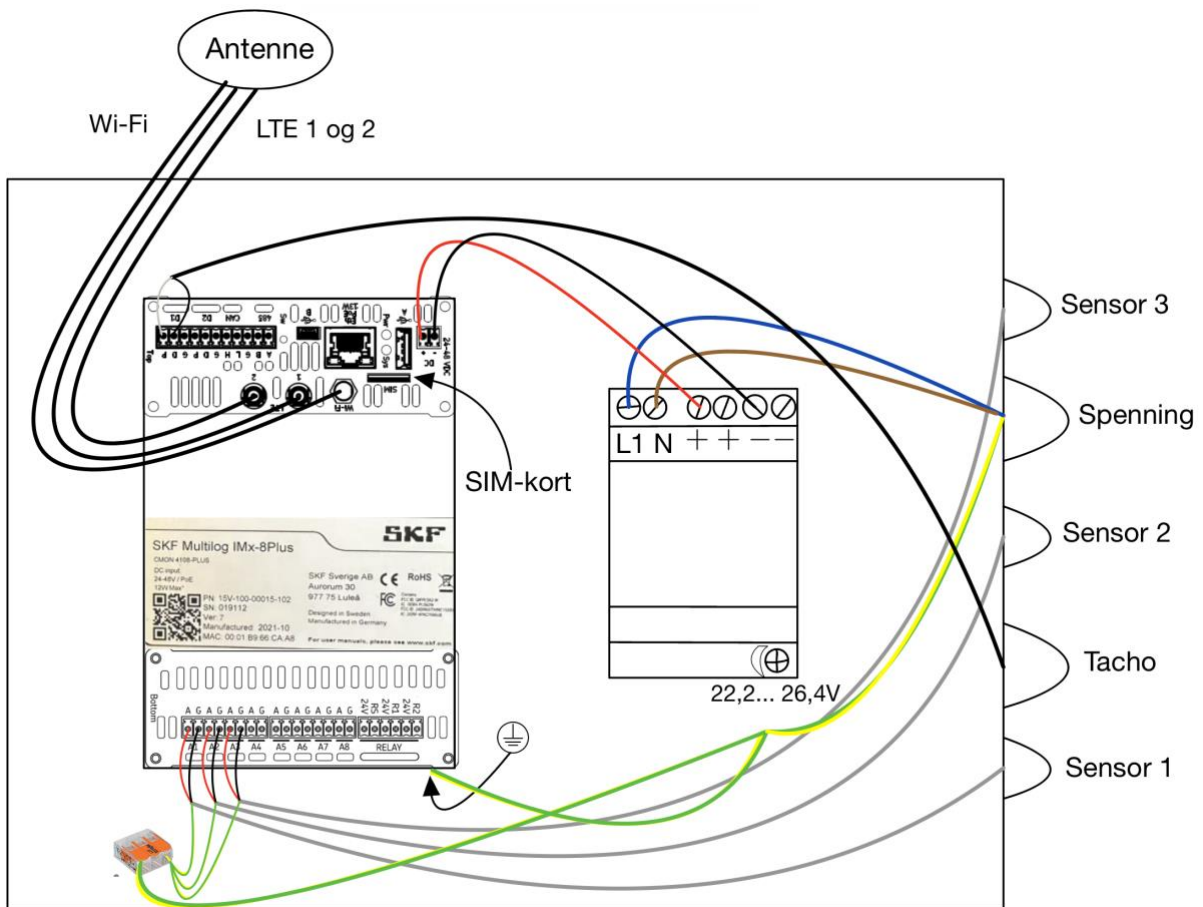
Denne kofferten har IP65 og beskytter mot støv, fuktighet og vann (Clas Ohlson 2024). Mer informasjon om dette finnes på Clas Ohlson under; *Støv – og vannbeskyttet koffert, IP65*.

Kofferten er bygd opp med komponenter fra SKF og utstyr fra RAMS lab og består av en antenne, strømforsyning, IMx8 Plus, ledninger og nipler. Skinnen som er i montert i kofferten, er hentet ut fra sikringsskapet som ble utlevert sammen med SKF-utstyret. Denne skinnen gjør at det er enkelt å montere og demontere de ulike komponentene. Det er også mulig å endre posisjon ved å dra komponentene til siden for å få bedre plass til eventuelle kabler. Det gjør det også enklere å koble de ulike kablene og ledningene på selve strømforsynings – og IMx8-boksen.

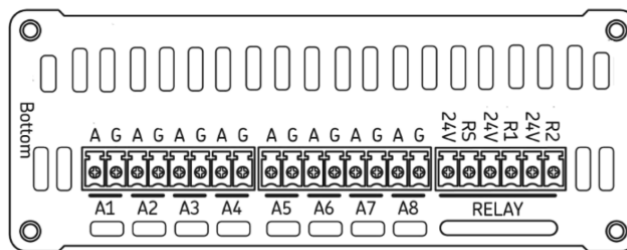


Dersom det er ønskelig å bruke flere sensorer for målinger er dette en mulighet, da det er en mulighet å lage flere hull og sette inn flere nipler på siden av kofferten. IMx8 Plus har mulighet for 8 analoge sensorer og 2 digitale, man kan også sette inn en IMx16 som har plass til 16 analoge sensorer, eventuelt sette inn en ekstra IMx8 Plus. Det som er viktig å passe på er at man lager hull som passer til nippelen man skal bruke og at det ikke blir for stort, dimensjon som er brukt er \varnothing M12 og M16. Dette er for at kofferten fremdeles skal beskytte mot støv og vann.

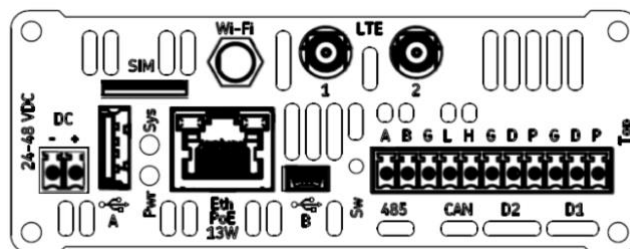
Har tegnet et lite koblingskjema av slik vi har koblet i kofferten. Bilder under er forstørret bildet av tilkoblinger på SKF IMx8 Plus.



Figur 1 Koblingskjema



Figur 2 Hentet fra SKF Multilog On-line System IMx-8/IMx-8Plus (SKF 2020)

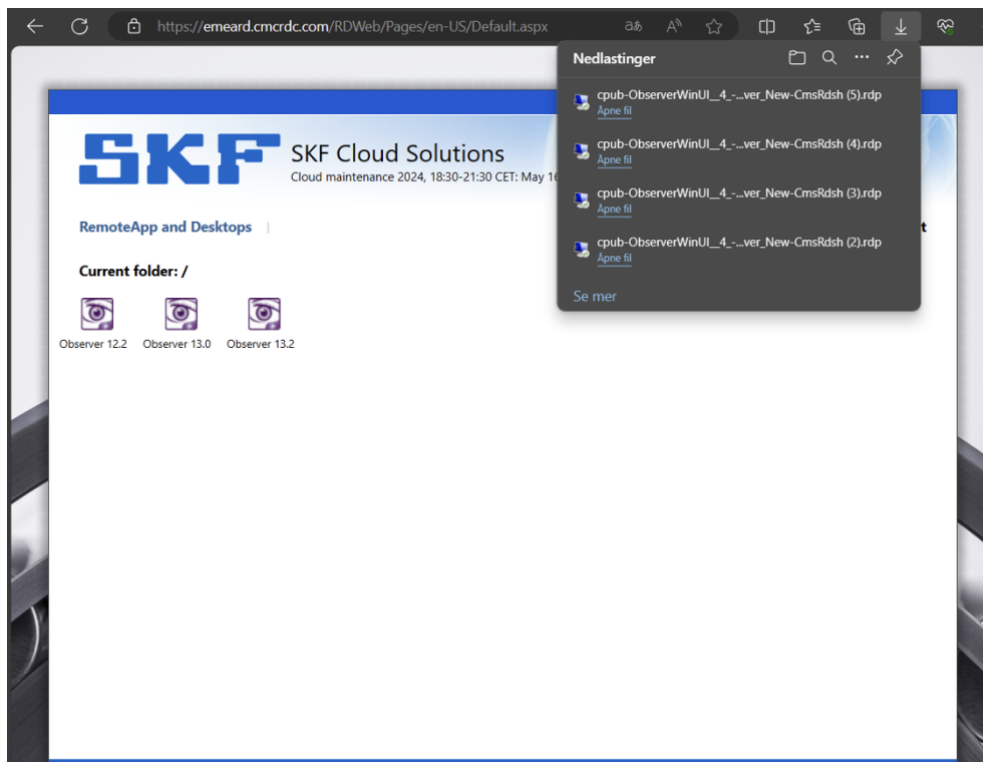


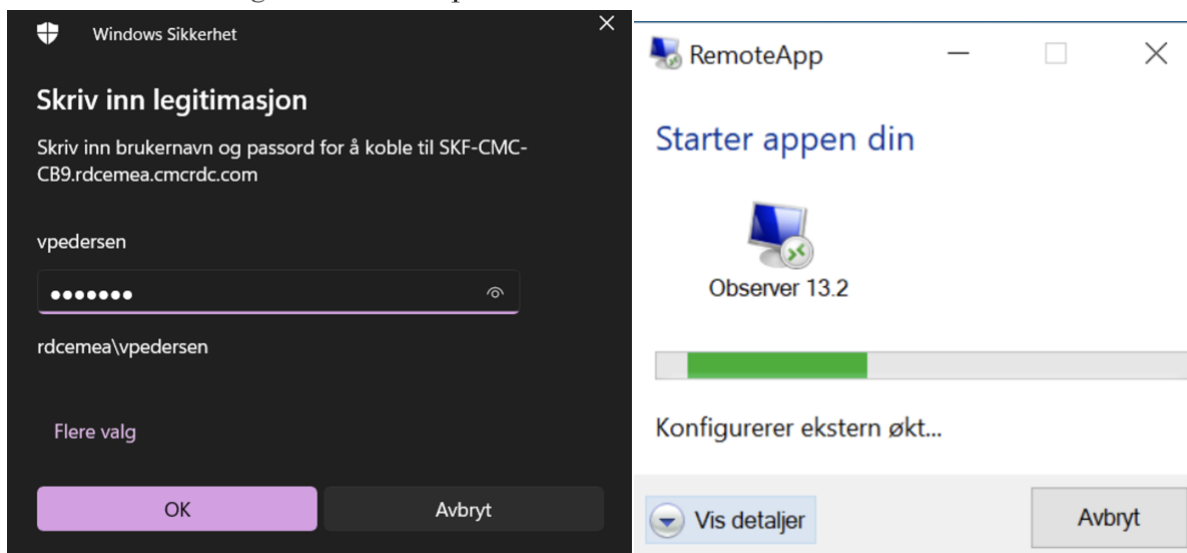
Figur 3 Hentet fra SKF Multilog On-line System IMx-8/IMx-8Plus (SKF 2020)

Ved å følge denne lenken: <https://emeard.cmcrcd.com/RDWeb> vil en komme direkte inn til innloggingsiden for SKF Cloud Solutions. Her vil en trenge brukernavn og passord. Bilde vist under:

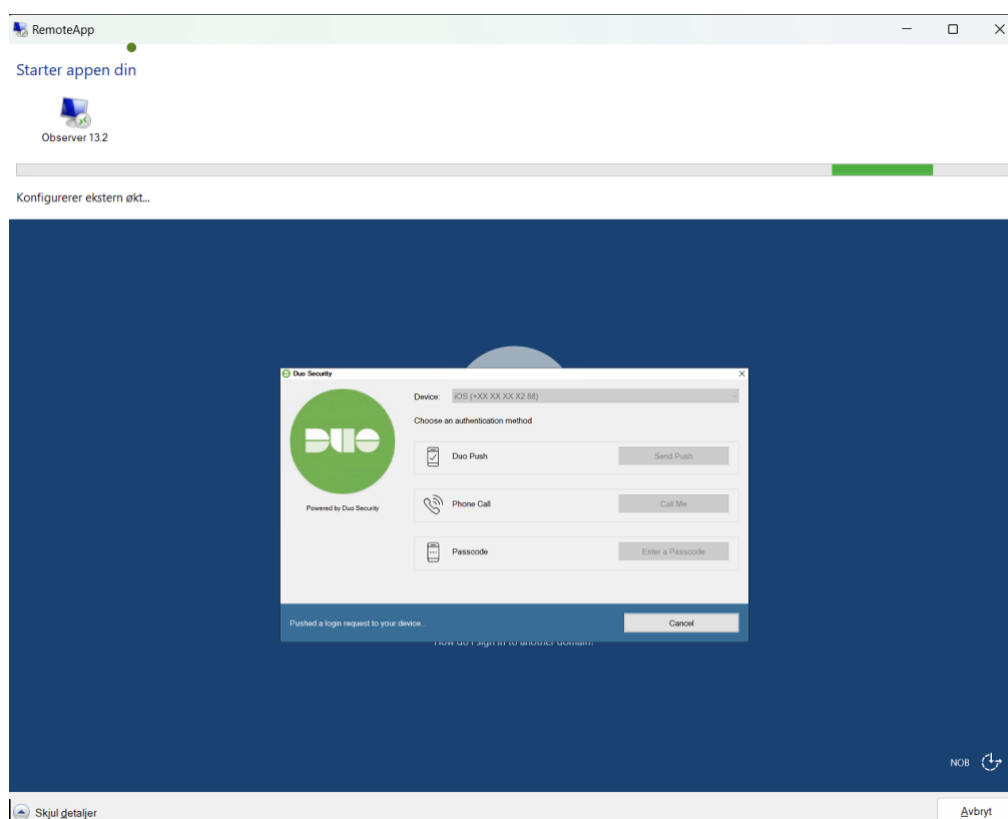


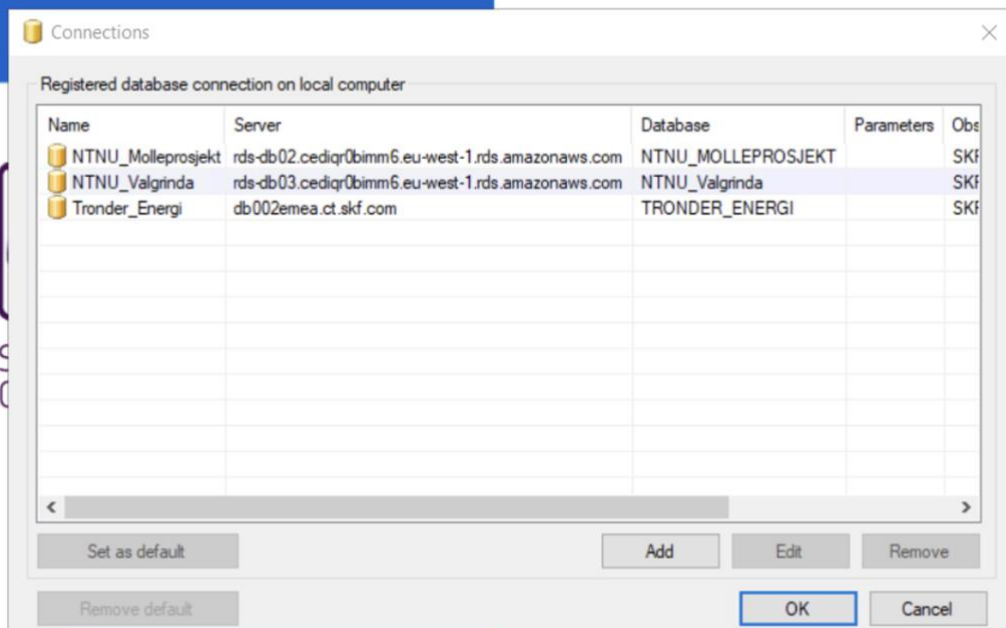
Deretter når man trykker *Sign in*, vil en få opp en ny side der man velger Observer 13.2, da vil man få en nedlastningslenke som vist øverst i det høyre feltet. Åpne denne.





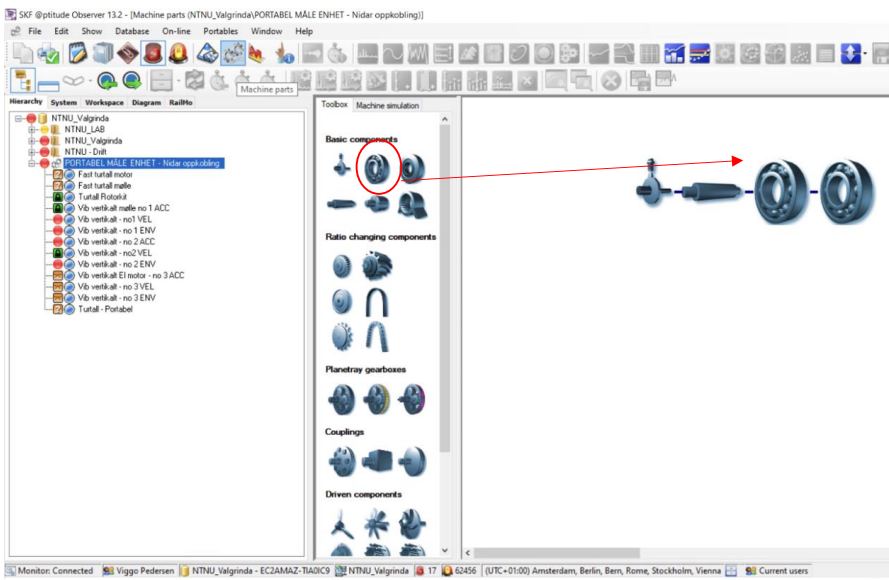
Når en har åpnet filen, vil en duo innloggingsprosedyre starte. Her vil en måtte skrive inn brukernavn og passord igjen, som vist ovenfor. Deretter åpner RemoteApp seg og en må trykke på «vis detaljer». Bildet vist under vil dukke opp, og da er det bare å vente på at Viggo godkjenner innloggingen.



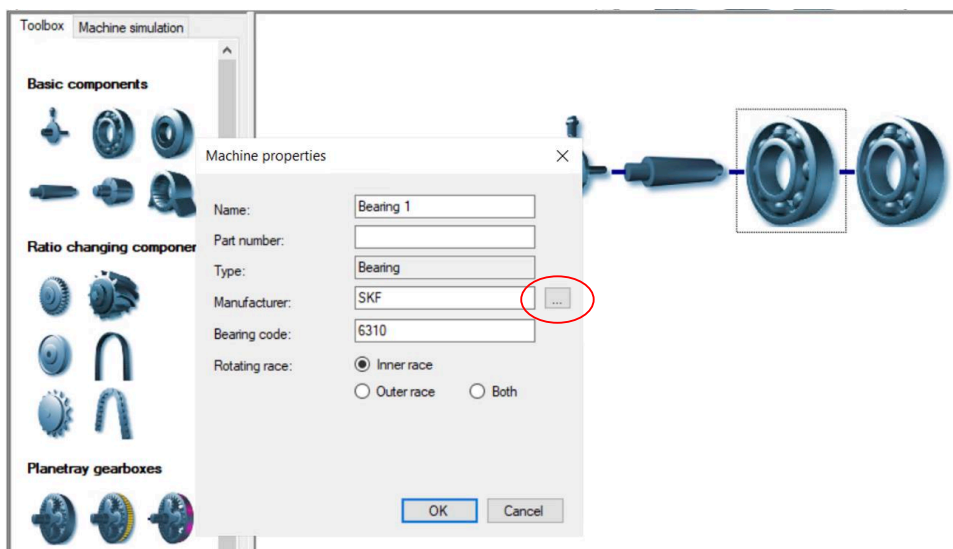


Copyright © SKF 2022
 SKF and @ptitude are registered trademarks of SKF Group
 SKF @ptitude Observer 13.2

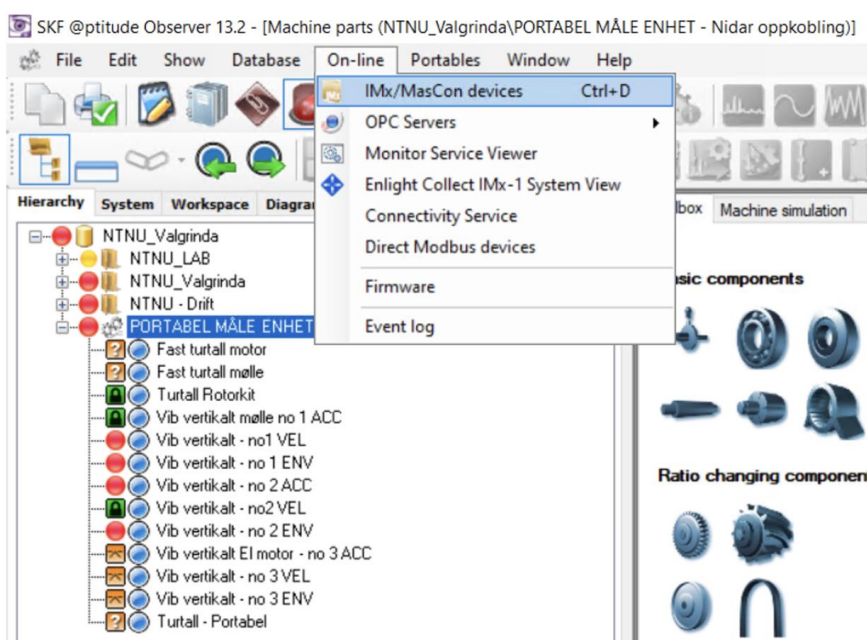
Neste steg blir da å velge NTNU_Valgrinda, og trykk «OK». Da skal du være innlogget.



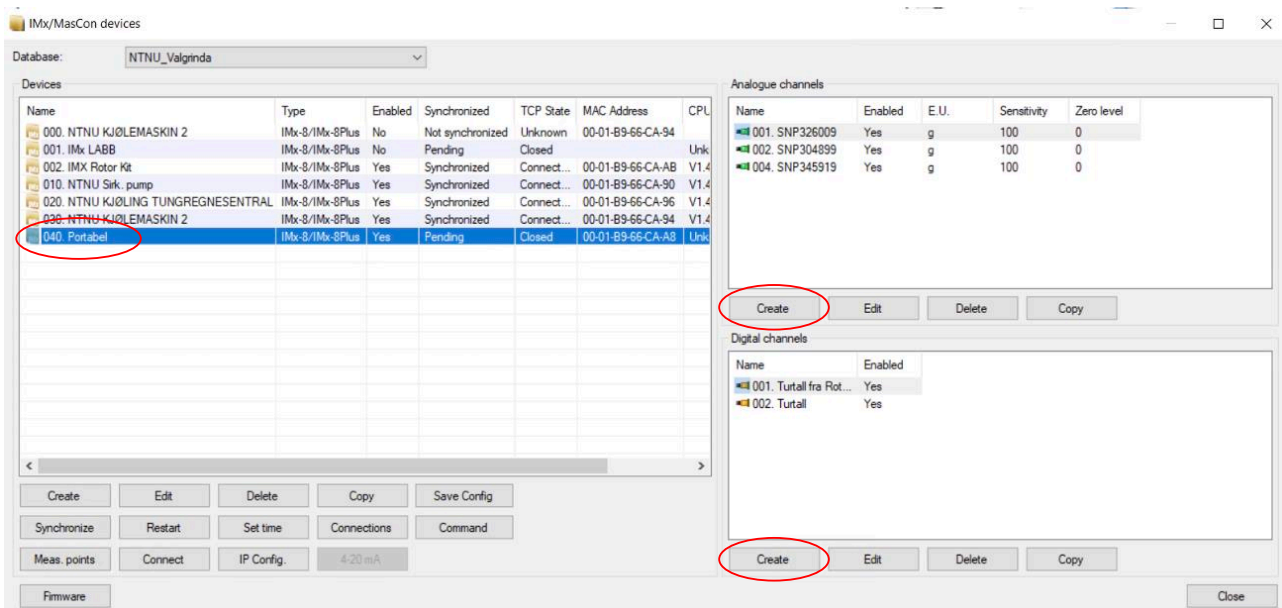
For å legge til oppsettet av maskinen du skal måle på, så legger du til maskindelene som er aktuell for målingen. Dette fungerer som *drag and drop* (dra og slipp).



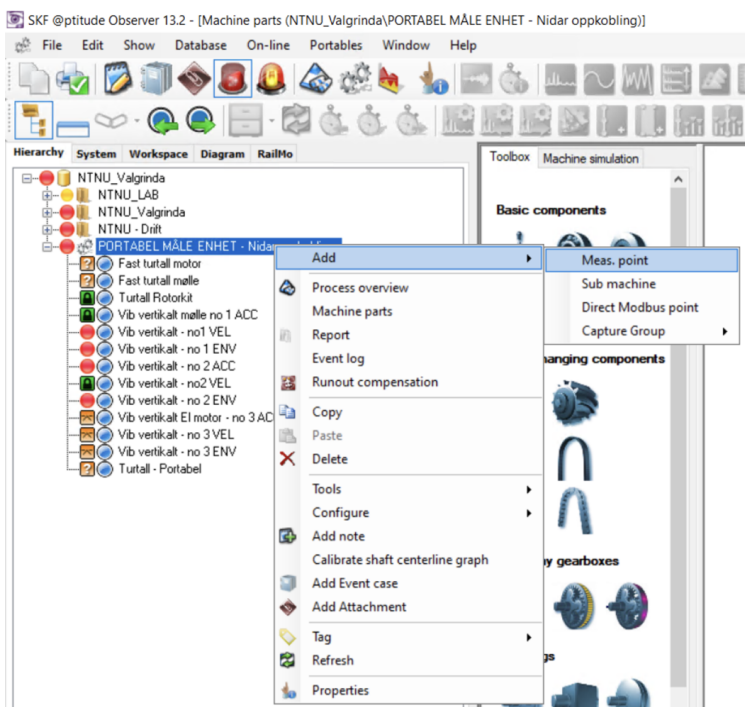
Når du har lagt til maskindelen som er aktuell for målingene så høyreklikker du på hver del for å legge inn navn og produsent, her kan du også søke i en database for å finne riktig lager. For å søke i databasen er det den lille firkanten med tre prikker i.



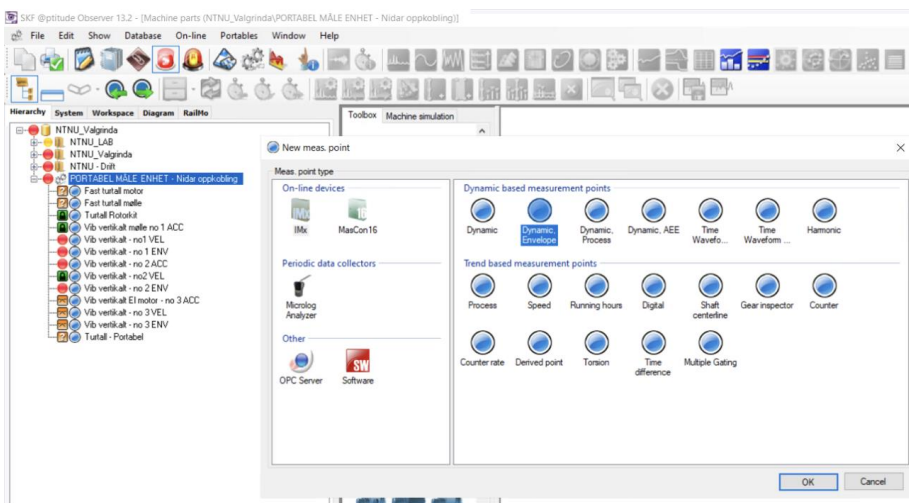
Ved å gå inn på «On-line» og «IMx/MasCon devices» vil du kunne legge til sensorene du skal ta i bruk.



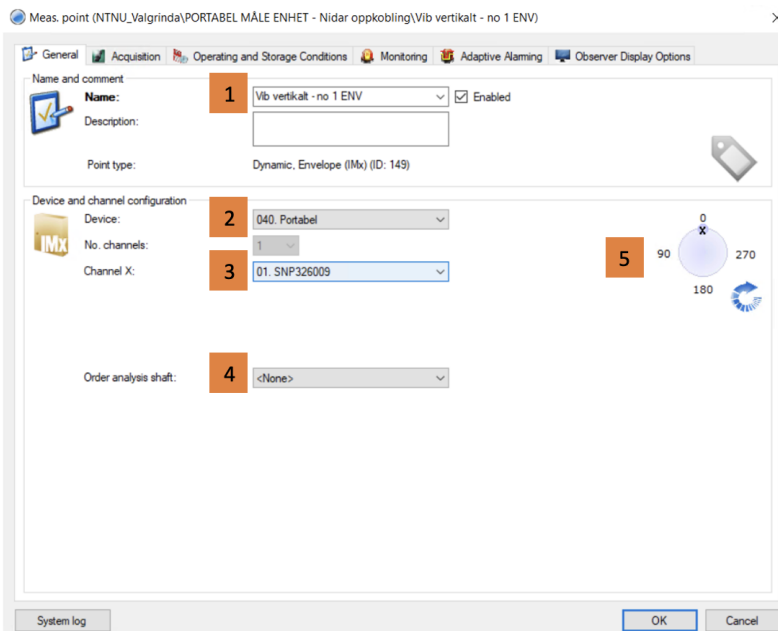
Her velger du «Portabel» og så «create» i det analoge vinduet for å legge til vibrasjonssensorene i henhold til de kanalene de er koblet til i SKF IMx8 boksen. Du gjør samme prosedyre for de digitale sensorene, som for eksempel turtallssensor. På bildet ser du to digitale, den ene er en tilkoblet sensor og en fra rotorkit for testing.



For å legge til målepunkt, høyreklikk på maskinen og velg «Add» + «Meas.Point».

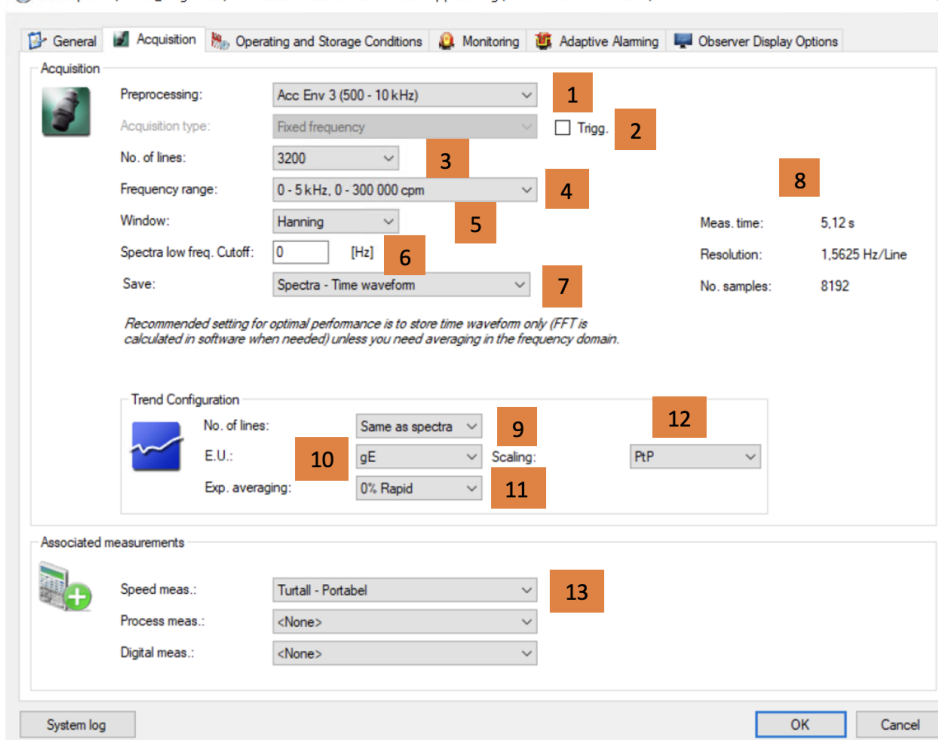


I meny for valg av nytt «Meas.Point» velger du i henhold til det du skal måle med hvilken sensor. I dette tilfelle «Dynamic Envelope». Forskjellen mellom dynamic og dynamic envelope er at dynamic viser et helhetlig spekter av systemets respons på vibrasjoner og analyserer hvordan systemet oppfører seg under normale og ekstraordinære forhold. Mens dynamic envelope er en mer fokusert del av vibrasjonsanalyse, primært brukt til feildeteksjon og tilstandsmonitorering. Dette innebærer demodulering av vibrasjonssignalet for å lage et envelopesignal som lettere kan avsløre karakteristiske feilmønstre.

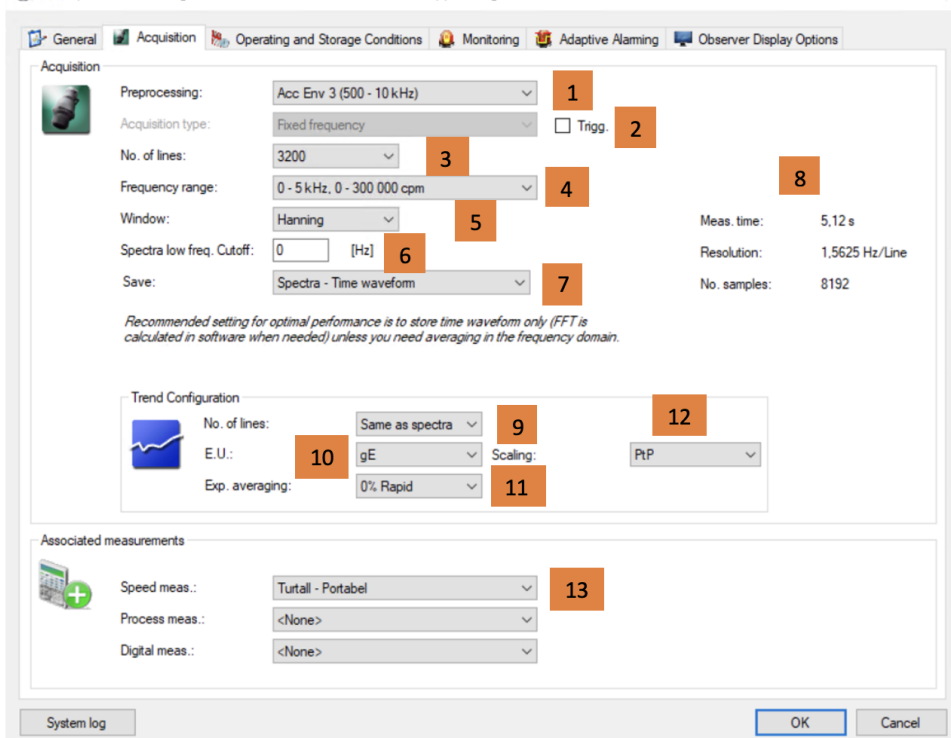


Gi navn til sensoren og hva du ser etter, deretter velg «Device» (altså den portable måleenheten), i dette tilfellet Portabel, deretter velger du «Channel X» (målepunktet) denne innstillingen skal gjelde for.

1. Her setter du opp navn på målepunkt, eventuelt en forklaring.
2. Her må du velge hvilken IMx enhet den er koblet til, altså «Portabel».
3. Her skal det velges hvilken kanal sensoren er koblet til.
4. Her velger du akselen på maskinen som blir brukt til ordreanalyse i spektrum, historie og 3D-plot.
5. Denne justeringen er hvilken vinkel sensoren står på målepunktet. (Anbefalt i lastsonen).



1. Denne velger *preprocessing*, for eksempel *Enveloping*.
2. Denne står i *fixed frequency*, dette betyr at den måler likt uansett frekvens og omdreining.
3. Valg av antall linjer for å gjennomføre FFT.
4. Her velger man hvilken frekvens sensorene skal måle.
5. Denne angir hvilket vindu målingen FFT skal ha.
6. Her setter man en grense for når målingen skal starte, for eksempel 7Hz, da vil der ikke måles noe fra 0-7Hz.
7. Valg av form på målingen, her anbefales bølgeform.
8. Her vises kalkulering av valg som er blitt gjort, denne forandrer seg ut fra hvilke valg man har tatt.
 - Meas.time gir måletiden ut fra valg gjort i punkt 3 og 14.
 - Resolution viser oppløsningen ut fra valg som er gjort i punkt 3 og 14.
 - No. Samples viser nødvendige målinger for å lage kurven som er valgt.



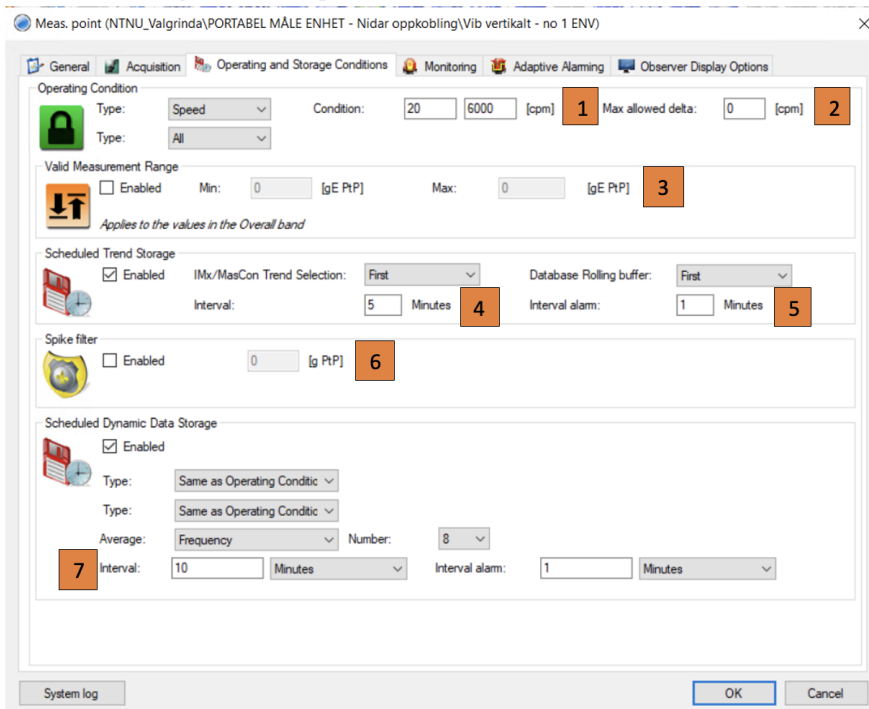
9. Velg antall linjer du ønsker i trendbildet.

10. Angi hvilken måleenhet man ønsker på x-aksen.

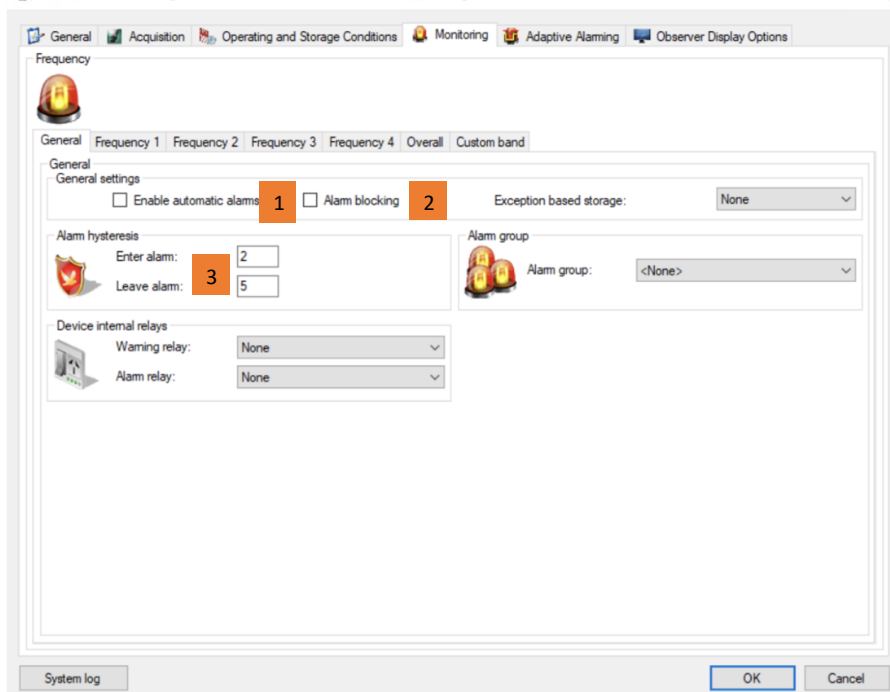
11. Dette er en innstilling som jevner ut kurven, den vil også minske uønskede alarmer ved eventuell støy.

12. Her velger du hvordan man ønsker trendverdien skal kalkuleres.

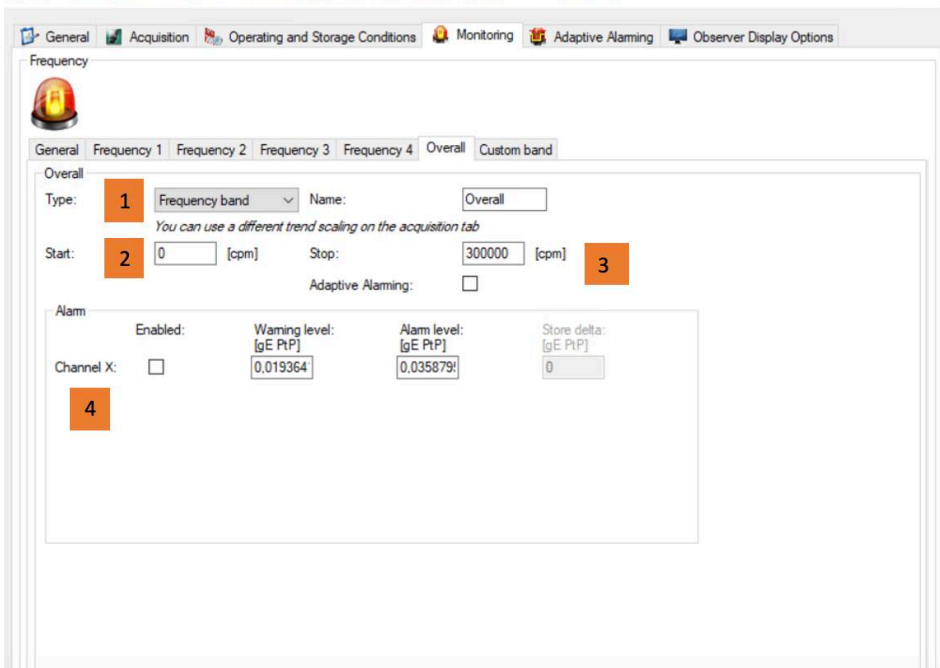
13. Hastigheten blir hentet fra det punktet du ønsker, her kan man velge turtallssensoren man har koblet til, eventuelt så kan man lage og velge et fast turtall om dette er jevnt.



1. Hastigheten du velger å måle mellom.
2. Hvis to målinger på forskjellige punkter viser seg å være veldig ulike, vil den anta at vibrasjonen kommer fra en annen kilde og stoppe målingen å filtrere det ut som støy.
3. Her kan man sette inn et amplitudenivå som man tvinger avlesninger i, dette vil skape en systemalarm når den beveger seg på utsiden av området, IKKE en alarm på målepunktet.
4. Velg hvilken type datafangst man ønsker, her er valget «First», dette vil si at den holder den første verdien som blir målt i intervallet for lagring. De to andre valgene er max og min som holder maks- minverdi gjennom hele lagringsperioden.
 - Interval setter tiden du ønsker å at lagringsperioden skal vare.
5. Interval alarm er den tiden du ønsker datalagringen skal vare når nivået er i alarmmodus.
6. Spike filter filterer ut høye amplitudespikes som mest sannsynlig hører til andre kilder. Dette vil ikke gi alarm eller en avlesning, men vil synes i punkt 3.
7. Her velger man hvor ofte data lagres ved normal drift og hvor ofte det skal lagres ved alarm.



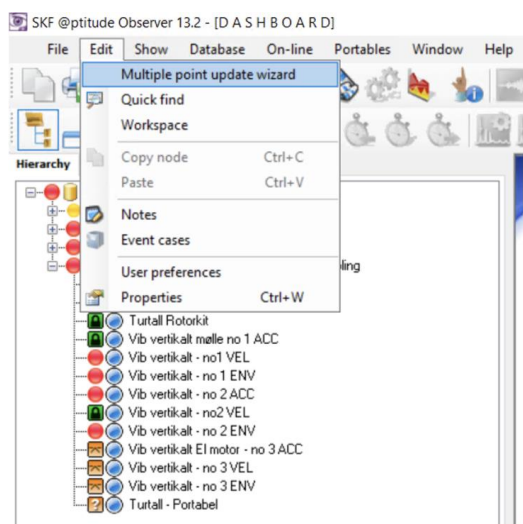
1. «Enable automatic alarms» gir systemet mulighet til å kalkulere alarmgrenser selv. Dette blir kalkulert ut fra et spesifikt antall historiske verdier som er lagret i databasen.
2. «Alarm blocking» gir mulighet til å midlertidig blokkere alarmer.
3. Her velger man hvor mange ganger nivået må være over alarmgrense for at det skal bli utløst en alarm og hvor mange ganger grensen må være under for at alarmer skal deaktiveres.



1. «Frequency band» gir en total beregning fra det definerte båndet i frekvensdomenet. «TruePtP» gir en total beregning ut fra faktiske målinger (peak to peak).
2. Velg startfrekvens til frekvensbåndet som overvåkes.
3. Velg slutfrekvens til frekvensbåndet som overvåkes.
4. Legg inn verdier for når man ønsker «Warning level» og «Alarm level».

Tips

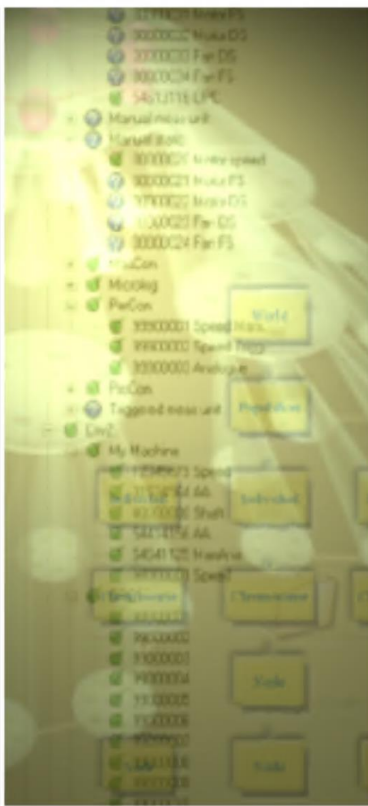
Et lite tips mottatt av Erik Solberg (Solberg 2024) fra SKF er å bruke «Multiple point update wizard», dette gir mulighet til å redigere verdier på flere punkt samtidig uten å måtte hoppe fram og tilbake for å sjekke verdier. Hvis man følger oppskriften under vil dette kunne gjøre endringer veldig kjapt og enkelt.



1. Trykk på portabel måle enhet slik at den er markert.
2. Velg edit og så «Multiple point update wizard»

Welcome to the Multiple point update wizard





This wizard will help you configure common parameters and properties in a few simple steps.



Selecting data to modify

Select if you wish to update the entire database or update what is currently selected in the hierarchy and select the type of measurement point you wish to update.

Meas. point type

 IMx
 MasCon16
 OPC Server
 Microlog Analyzer

Dynamic

Time Wavefo...

Hamonic

Process

Speed

Running hours

Digital

Shaft centreline

Gear inspector

Counter

Counter rate

Derived point

Data source

Based on my current selection in the hierarchy All measurement points in all databases

Measurement points to update

Additional filter by name

Point	Location
<input checked="" type="checkbox"/> Vib vertikalt El motor - no 3 ACC	NTNU_Valgrinda\PORTABEL MALE ENHET - Nidar opp...
<input checked="" type="checkbox"/> Vib vertikalt - no 2 VEL	NTNU_Valgrinda\PORTABEL MALE ENHET - Nidar opp...
<input checked="" type="checkbox"/> Vib vertikalt - no 2 ENV	NTNU_Valgrinda\PORTABEL MALE ENHET - Nidar opp...
<input checked="" type="checkbox"/> Vib vertikalt - no 3 VEL	NTNU_Valgrinda\PORTABEL MALE ENHET - Nidar opp...
<input checked="" type="checkbox"/> Vib vertikalt - no 3 ENV	NTNU_Valgrinda\PORTABEL MALE ENHET - Nidar opp...

Her velger man de punktene man vil se på under «Measurement points to update».

Attribute selection

Select the attributes you wish to update. You have the option of changing one measurement point at a time or all at once.

Attribute

- [-] Acquisition
 - Trigg.
 - No. of lines**
 - No. revolutions
 - Window
 - Frequency range
 - Spectra low freq. Cutoff
 - Storage
 - No. of lines
 - Exp. averaging
 - Scaling
- [+] Operating and Storage Conditions
 - Average
 - Storage Filter 1
 - Storage Filter 2
 - Spike filter
 - Scheduled Dynamic Data Storage
 - Scheduled Trend Storage
 - Operating Condition 1
 - Operating Condition 2
 - Measurement range
- [+] General
- [+] Monitoring

Update type

- One by one
 All

	Point	No. of lines	
▶	Vib vertikalt mølle no 1 ACC	3200	▼
	Vib vertikalt - no 2 ACC	3200	▼
	Vib vertikalt - no1 VEL	3200	▼
	Vib vertikalt - no 1 ENV	3200	▼
	Vib vertikalt El motor - no 3 ACC	400	▼
	Vib vertikalt -no2 VEL	3200	▼
	Vib vertikalt - no 2 ENV	400	▼
	Vib vertikalt - no 3 VEL	3200	▼
	Vib vertikalt - no 3 ENV	3200	▼

Attribute selection

Select the attributes you wish to update. You have the option of changing one measurement point at a time or all at once.

Attribute

- [-] Acquisition
 - Trigg.
 - No. of lines
 - No. revolutions
 - Window
 - Frequency range
 - Spectra low freq. Cutoff
 - Storage
 - No. of lines
 - Exp. averaging
 - Scaling
- [-] Operating and Storage Conditions
- [-] General
 - Rotation direction
 - Name
 - Description
 - Enabled
- [-] Monitoring

Update type

One by one
 All

	Point	Scaling	
▶	Vib vertikalt mølle no 1 ACC	rms	▼
	Vib vertikalt - no 2 ACC	rms	▼
	Vib vertikalt - no 1 VEL	rms	▼
	Vib vertikalt - no 1 ENV	PtP	▼
	Vib vertikalt El motor - no 3 ACC	rms	▼
	Vib vertikalt - no2 VEL	rms	▼
	Vib vertikalt - no 2 ENV	PtP	▼
	Vib vertikalt - no 3 VEL	rms	▼
	Vib vertikalt - no 3 ENV	PtP	▼

Bibliografi

Clas Ohlson. 2024. *Clasohlson.no*. <https://www.clasohlson.com/no/p/41-1730>.

Karzon, Abbas, Kjersti Drugli, Marthe Solvåg, Roy Kevin Wang, og Hynne Ingrid. 2022. *Bruk av vibrasjonssensorer i prediktivt vedlikehold*. Prosjektoppgave, Trondheim: NTNU.

SKF. 2020. *cdn.skfmediahub.skf.com*. sept. Funnet mai 06, 2024.

https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d196807f1a10/pdf_preview_medium/0901d196807f1a10_pdf_preview_medium.pdf.

Solberg, Erik, intervjuet av Kenneth Madsen. 2024. *SKF IMx8* (26 Mars).

